



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

De Resíduo a Elemento Arquitetónico: Construção a partir de
Resíduos Industriais e Urbanos

Sara Margarida Cabral Parece

Mestrado Integrado em Arquitetura

Orientador:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado

ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar

ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

De Resíduo a Elemento Arquitetónico: Construção a partir de
Resíduos Industriais e Urbanos

Sara Margarida Cabral Parece

Mestrado Integrado em Arquitetura

Orientadores:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado

ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar

ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020

“As an architect you design for the present, with an awareness of the past, for a future which is essentially unknown”.

Norman Foster TED Talk DLD 2007



Fotografia do Projeto *Hi-fy*, Nova York (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

RESUMO

O sistema económico atual baseia-se no consumo e no uso de recursos naturais através da abordagem Linear: *take, make, and waste*. Este modelo, que contribuiu durante décadas para o crescimento da economia, não equaciona os limites do nosso planeta e revela atualmente os efeitos colaterais no ambiente e nas comunidades, devido à excessiva acumulação de resíduos e à enorme pressão sobre os recursos do planeta.

Como alternativa, a Economia Circular é uma abordagem inspirada nos sistemas naturais, que desvincula o crescimento económico da extração de novas matérias-primas e propõe que os materiais circulem em *Loops* contínuos, onde o valor intrínseco dos recursos é mantido e aprimorado, e o conceito de resíduo é eliminado.

Esta dissertação foca-se na exploração de estratégias de construção para uma economia circular. Neste contexto, apresenta soluções construtivas inovadoras centradas na otimização dos resíduos, atribuindo-lhes um novo valor funcional, estético e arquitetónico.

Conclui-se que a reutilização e a reciclagem *Upcycling* de subprodutos industriais e resíduos pós-consumo são estratégias viáveis e promissoras que se tornarão mais dinâmicas na cidade de Lisboa, apesar da ausência de uma estrutura logística e de um mercado adequado.

As soluções construtivas foram funcional e esteticamente integradas na Escola de Sustentabilidade, revelando pistas no que se pode vir a tornar a Arquitetura e a Construção num futuro próximo.

Palavras-chave: Economia Circular, Arquitetura Regenerativa, Edifício Circular, Reutilização, Reciclagem, Resíduos Industriais, Resíduos Urbanos

ABSTRAT

The current economic system is based on the consumption and use of natural resources through the Linear approach: take, make, and waste. This model that has contributed for decades to the growth of the economy now reveals the side effects on the environment and communities.

The growing concern about climate change and the recognition of the limits of our planet earth led society to look for alternatives that promote the balance between the natural and the built environment.

Circular Economy appears as an alternative to the linear economic model, with an approach inspired by natural metabolisms. It decouples economic growth from the extraction of new raw materials and proposes that components and materials circulate in continuous loops, where the intrinsic value of resources is maintained and improved, and the concept of waste is eliminated.

This dissertation focuses on exploring strategies for the circular economy in the built environment and innovative constructive solutions that aim to find use, value, and inspiration in what until then was considered a waste.

By-products from industries and post-consumer waste are widely available resources and through Upcycling reuse and recycling, it is possible to assign them a new functional, aesthetic, and architectural value.

The Final Design of Architecture had as the main premise to conceive a Circular Building that was guided by circular design strategies and that delivered functionally and aesthetically new construction solutions with waste resources.

Keywords: Circular Economy, Regenerative Architecture, Circular Building, Reuse, Recycling, Industrial Waste, Urban Waste

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao Professor Vasco Rato pelo acompanhamento incansável e imprescindível do meu trabalho. Pela motivação, disponibilidade e bom humor com que ouviu e esclareceu as minhas dúvidas.

Agradeço ao professor Pedro Pinto os seus conselhos e a partilha de conhecimentos ao longo do desenvolvimento do trabalho prático.

Agradeço ao apoio emocional da minha família e amigos, durante a elaboração deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE ITABELAS.....	IX
INTRODUÇÃO	XI
ENQUADRAMENTO E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	XII
OBJETIVOS E METODOLOGIA	XVI
ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	XVII
I. ECONOMIA CIRCULAR.....	1
1.1. MODELO LINEAR, RECURSOS E RESÍDUOS	1
1.2. O CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR.....	9
1.3. THE PERFORMANCE ECONOMY DE WALTER STAHEL	12
1.4. <i>CRADLE TO CRADLE</i> DE BRAUNGART E MCDONOUGH.....	14
1.5. INFOGRÁFICO DA ECONOMIA CIRCULAR.....	16
1.6. ECOLOGIA INDUSTRIAL E SIMBIOSE INDUSTRIAL	20
1.7. ESTRATÉGIAS DE DESIGN PARA MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES	22
1.8. POLÍTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS E PLANO DE AÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR.....	26
II. CIRCULARIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO E NA CONCEÇÃO DE ESPAÇO ARQUITETÓNICO	31
2.1. ESTRATÉGIAS DO DOMÍNIO DO PROJETO DE ARQUITETURA E DESIGN	35
2.1.1. DESIGN PARA ADAPTABILIDADE	45
2.1.2. DESIGN PARA A DESMONTAGEM	51
2.1.3. DESIGN COM MATERIAIS SUSTENTÁVEIS	63
2.2. ESTRATÉGIAS DO DOMÍNIO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	70
2.2.1. CONSTRUIR COMO UM BANCO DE MATERIAIS E PASSAPORTE DE MATERIAIS	76
2.2.2. UM MERCADO PARA MATERIAIS RECUPERADOS	79
2.2.3. VENDA DE SERVIÇOS EM VEZ DE BENS FÍSICOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	88
III. MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS INDUSTRIAIS E RESÍDUOS URBANOS.....	93
3.1. REUTILIZAÇÃO VS RECICLAGEM.....	99
3.2. PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO INDIRETA E RECICLAGEM UPCYCING	101
3.3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO INVENTÁRIO DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	106
3.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE PLÁSTICO.....	110
3.5. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE PAPEL	147
3.6. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE MADEIRA	169
3.7. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE AÇO E DO ALUMÍNIO.....	192
3.8. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS AGRÍCOLAS	210
3.9. RECURSOS NA CIDADE DE LISBOA	242
IV. PROJETO DE ARQUITETURA	258
4.1. O LOCAL.....	258
4.1.1. BREVE ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	259
4.1.2. ANÁLISE DA ÁREA URBANA.....	264

4.2.	MASTER-PLAN	268
4.3.	A ESCOLA DE SUSTENTABILIDADE E O CENTRO DE INCUBAÇÃO DE EMPRESAS.....	272
4.3.1.	VOLUMETRIA E PROGRAMA	272
4.3.2.	SISTEMA CONSTRUTIVO SELEÇÃO DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS.....	281
4.4.	ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS	290
	CONCLUSÃO	291
	WORKSHOP	294
	BIBLIOGRAFIA	299
	ANEXO I -PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL E FUNCIONAL.....	314

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Lixeira de São Paulo Brasil, fotografia do documentário WASTELAND do Artista Vik Muniz 2010 (Alloi, 2018).....	XI
Figura 2 Cenário de crescimento que previa o colapso do sistema industrial no livro <i>The Limits of Growth</i> de Dennis L. Meadows (1972) Previu (Bardi, 2014).....	XIV
Figura 3 Esquema definição de Sustentabilidade, <i>Design Restaurador e Regenerativo</i>	XV
Figura 4 Representação gráfica da organização da dissertação.....	XVIII
Figura 5 Extração de material de combustíveis fósseis, minérios, minerais e biomassa global entre 1900 e 2050 Fonte: (Wit, Hoogzaad, Ramkumar, Friedl, & Douma, 2018).....	2
Figura 6 Extração de materiais em Portugal, entre 1995 e 2017 (INE, 2018).....	2
Figura 7 Caracterização e Destino dos resíduos sólidos internacionais. Fonte: The World Bank, <i>What a Waste 2.0</i>	3
Figura 8 Distribuição de resíduos setoriais não perigosos gerados por setores económicos (%) (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018).....	4
Figura 9 Distribuição de resíduos setoriais perigosos gerados por setores económicos (%) (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018).....	4
Figura 10 Caracterização física dos resíduos urbanos produzidos em 2018 (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).....	6
Figura 11 Destino dos resíduos urbanos produzidos em 2018 (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).....	6
Figura 12 Preço mundial das matérias-primas em perspetiva 1980-2014 (EY-AM&A & Drivers, 2018).....	7
Figura 13 Desequilíbrio entre procura e disponibilidade de recursos (EY-AM&A; 3Drivers, 2018).....	7
Figura 14 O silo de lixo de um novo incinerador em Copenhague (KUNZIG, 2020).....	8
Figura 15 We Made Plastic, We Depend on it. Now we're drowning in it Fontography de RANDY OLSON para o National Geographic. (PARKER, 2018).....	8
Figura 16 Metabolismo linear versus Circular das Cidades (Bioazul, 2015).....	10
Figura 17 Incinerador de Resíduos Copenhague com 24000 toneladas de resíduos para obtenção de energia. National Geographic.....	10
Figura 18 Categorização de abordagens lineares e circulares para reduzindo o uso de recursos. (Bocken, Pauwc, Bakker, & Grintenc, 2017).....	13
Figura 19 Circulação dos Nutrientes Tecnológicos e Biológicos dentro da Economia Linear e da Economia Circular baseado em (Arup, 2016).....	14
Figura 20 Infográfico da Economia Circular EMF baseado em (Ellen Macarthur Foundation, 2013).....	16
Figura 21 Esquema a representar os 4 princípios para a criação de valor em (Ellen Macarthur Foundation, 2013).....	18
Figura 22 Exemplo de uma simbiose 3-2 que envolve 3 entidades e a troca de 2 recursos (Chertow, 2017).....	20
Figura 23 Mapa das trocas de energia, água e material entre as empresas do parque eco-industrial da simbiose Kalundborg, na Dinamarca. Imagem: Energy Crossroads.....	21
Figura 24 A empresa Bueo fabrica skates, a partir de redes de pesca usadas. (Baker-Brown, 2017).....	25
Figura 25 A empresa emov e disponibiliza 150 veículos Citroën C-Zero, 100% elétricos em regime de <i>free-floating</i> , Operam em Lisboa desde 2018. (Revista Veículos Elétricos, 2018).....	25
Figura 26 As malas de Elvis & Kresse, feitas 100% de mangueiras de incêndio usadas. (Baker-Brown, 2017).....	25
Figura 27 Hierarquia de resíduos, Fonte: Plano Nacional de Gestão de Resíduos para o horizonte 2014-2020.....	27
Figura 28 Etapas do Ciclo de Vida de Um edifício Circular e dos Seus Componentes (EY-AM&A; 3Drivers, 2018) (Arup, 2016).....	32
Figura 29 Fotografias que ilustram a dicotomia ente a fase de projeto e a fase de construção (Arup, 2016).....	34
Figura 30 Diferentes Níveis que definem a circularidade no ambiente construído.....	36
Figura 31 Representação do <i>Support</i> e do <i>Infill</i> defendidos por Habraken.....	36
Figura 32 <i>Shearing Layer</i> de Steward Brand (Brand, 1994).....	37
Figura 33 Hierarquia de produtos de construção de Eekhout (Eekhout, 1997) (Beurskens & Bakx, 2015).....	38

Figura 34 Comparação do edifício circular definido níveis de produto com a hierarquia de construção produtos (Eekhout, 2006) e a hierarquia de níveis de material (Durmisevic, 2006) e hierarquia de construção produtos circulares (Beurskens & Bakx, 2015).....	40
Figura 35 Relação entre as estratégias de projeto de arquitetura e design, os princípios da economia circular da EMF e as estratégias base definidas no capítulo- 2.4.	42
Figura 36 Princípios de design de construção circular relacionados aos níveis de produto de construção circular (Beurskens & Bakx, 2015).....	44
Figura 37 Relação entre as os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4.....	45
Figura 38 <i>Adaptive Capacity Method</i> de Gerealts et al. (2014) (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014).....	46
Figura 39 <i>Transformation Dynamics</i> (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014).....	48
Figura 40 Relações entres os tipos de adaptabilidade e o <i>shearing layers adaptado de</i> (Beurskens & Bakx, 2015). Dois pontos: muito prováveis; 1 ponto: menos provável; 0 pontos pouco provável.....	49
Figura 41 Configurações de fachada baseadas no uso: residencial (superior), escritório (central) e estúdio (inferior) Tipo de adaptabilidade: Ajustável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010).....	50
Figura 42 <i>Industrial Democratic Design (IDD)</i> Vandkunsten Architects. (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010).....	50
Figura 43 Mudança de espaços de trabalho e espaços residenciais. Tipo de adaptabilidade: Conversível (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010).....	50
Figura 44 Sistema estrutural e os elementos da fachada. Tipo de adaptabilidade: Retificável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010).....	50
Figura 45 Cenários de transformação da <i>Industrial Democratic Design</i> . Tipo de adaptabilidade: Escalável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010).....	50
Figura 46 Relação entre as os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4.....	51
Figura 47 Exemplificação Hierarquia da reciclagem e comparação com o modelo linear (Crowther, 2005).....	52
Figura 48 Hierarchy of re-life options (Beurskens & Bakx, 2015).....	53
Figura 49 Princípios de design para desmontagem e sua relevância para os níveis hierárquicos de reciclagem (Crowther, 2005).....	54
Figura 50 Opções de dependência funcional baseado em (Gamerschlag, 2020).....	55
Figura 51 Opções de sistematização baseado em (Gamerschlag, 2020).....	56
Figura 52 Opções do elemento base baseado em (Gamerschlag, 2020).....	57
Figura 53 Opções de Padrão Relacional baseado em (Durmisevic, 2006) O círculo representa um sistema e o quadrado um componente ou elemento.....	57
Figura 54 Hierarquia estática vs Hierarquia. dinâmica (Durmisevic, 2006).....	57
Figura 55 Opções de Sequência de montagem baseado em (Durmisevic, 2006).....	58
Figura 56 Opções de Geometria de Interface por grau de preferência baseado em (Durmisevic, 2006).....	59
Figura 57 Opções de tipos de conexão por grau de preferência baseado em (Gamerschlag, 2020).....	59
Figura 58 Esquema de capacidade de transformação (Durmisevic, 2006).....	60
Figura 59 Exemplo de conexões entre os componentes com parafusos de transferência de carga acessíveis, colocados em caixas de ancoragem pré-moldadas incorporadas no componente. São Fácéis de apertar e desmontar. (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	61
Figura 60 Um método de desmontagem otimizado para uma ação muito rápida e simples. As conexões são unidas por um mandril com duas fendas e arruelas estabilizadoras, que podem ser desfeitas para desmontar a peça. (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	61
Figura 61 As conexões são fixadas usando parafusos e arruelas de aço com porcas em madeira lamelada. (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	61
Figura 62 Estratégias a que ao consideram o design para desmontagem. (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	61
Figura 63 A arquitetura clássica Japonesa utilizava uma técnica antiga de conexões de madeira que não utilizava parafusos, pregos, cola ou elementos metálicos; o encaixe entre as peças era conseguido através de entalhes (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	61
Figura 64 Fase de construção WikiHouse 3D (Wikihouse, 2019).....	62
Figura 65 Relação entre as os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4.....	63
Figura 66 Representação esquemática dos fluxos de energia, biomassa e material na Terra e três estratégias diferentes de eficiência, (Ashby, 2009).....	64

Figura 67 A estratégia. Existem quatro etapas: tradução, triagem, classificação e documentação (Ashby, 2009).....	65
Figura 68 Exemplo de restrições e objetivos comuns (Ashby, 2009)	66
Figura 69 Representação gráfica do sistema de apoio à decisão (Yang & Ogunkay, 2013).....	66
Figura 70 Estrutura da seleção de materiais para selecionar materiais sustentáveis, subdivisão: objetivo - principais fatores - subfatores (Akadiri & Olomolaiye, 2012) (Beurskens & Bakx, 2015)	67
Figura 71 Estrutura da seleção de materiais para selecionar materiais de construção ecológicos de baixo custo (Yang & Ogunkay, 2013) (Beurskens & Bakx, 2015)	68
Figura 72 Critérios para a seleção de materiais e sua relevância para para <i>Hierarchy of re-life options</i> uma economia circular no ambiente construído, traduzido e adaptado pela autora. (Beurskens & Bakx, 2015).....	69
Figura 73 Principais agentes interessados no ambiente construído (Thelen, et al., 2018).....	70
Figura 74 <i>Circular building construction model</i> de Beurskens & Bakx, (Beurskens & Bakx, 2015).....	74
Figura 75 Modelo de 3 Fluxos Ilustra a possível relação entre o Setor da Construção e outros setores Industriais baseado em (Corte, 2016, p. 11).....	75
Figura 76 <i>Her- en verbouw gemeentehuis Brummen</i> (Reabilitação da sede do Município de Brummen) 2013 (BAM, s.d.).....	76
Figura 77 - Diferentes níveis hierárquicos do Passaporte dos materiais (Heinrich & Lang, 2019).....	77
Figura 78 Cinco princípios a considerar no passaporte dos materiais (Danish Environmental Protection Agency, 2019).....	78
Figura 79 - Um mercado online para materiais, proposto pelo UK-GBC. (Cheshire, 2016).....	79
Figura 80 Harvest map Super reuse studios (Cheshire, 2016).....	81
Figura 81 Elevador Industrial e Bobinas de enrolar cabos	82
Figura 82 Ripas da Fachada recuperadas e Interior Villa Welpeloo Mesa com painéis reutilizados (Archello, Villa Welpeloo)	82
Figura 83 Interior Villa Welpeloo (Archello, Villa Welpeloo).....	82
Figura 84 Exterior Villa Welpeloo (Archello, Villa Welpeloo).....	82
Figura 85 Pormenor construtivo Villa Welpeloo (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2019)	83
Figura 86 Etapas da cadeia produtiva	85
Figura 87 Exemplo de um Balanceamento de massa de um autor (Geldermans, et al., 2017).....	86
Figura 88 Exemplo de um diagrama de fluxos Sankey (Geldermans, et al., 2017).....	86
Figura 89 Exemplo de um mapa de AS.MFA de uma região	87
Figura 90 Vista exterior do <i>People's Pavilion</i> ; Produtos emprestados por diversas empresas; Vista Interior (Archdaily)	90
Figura 91 Desenho Técnico Corte <i>People's Pavilion</i> (Archdaily)	90
Figura 92 Sala de entrada da Bienal de Arquitetura Veneza 2016. (Gorgolewski, 2018).....	91
Figura 93 Sala de entrada da Bienal de Arquitetura de Veneza, 2016 (Gorgolewski, 2018).....	92
Figura 94 As colunas da Catedral de Córdoba construída no séc. X, na Espanha foram construídas partir de várias estruturas já existentes (Josefsson, Spring 2019).....	95
Figura 95 As Fotografias das casas da empresa Phoenix Commotion.....	96
Figura 96 garrafa Heineken WOBO projetada por John Harbraken em 1963, serviu para fazer paredes nas comunidades em desenvolvimento (Pinho, 2018).....	96
Figura 97 Building block of empty cans, sistema construtivo de Michael Reynolds para construção de paredes com latas de cerveja vazias da Thumb House (1973) (United States Patent Patente N ^o 3,721,059, 1971) (Pinho, 2018)	96
Figura 98 Detalhes do Protótipo com Telhas (Vandkunsten Architects, 2016) O protótipo explora as qualidades da telha como revestimento de fachada. Foi desenvolvido um suporte onde as telhas assentavam na vertical (Vandkunsten Architects, 2016).....	97
Figura 99 Casa de campo projetada em 1960 pelo arquiteto Juan Luis Martínez Nahuel no Chile, apresenta eucalipto e rauli reutilizados de locais próximos. (Gorgolewski, 2018).....	97
Figura 100 Storywood - madeira com uma história pode assumir várias formas (Gorgolewski, 2018).	97
Figura 101 O primeiro protótipo é a fachada projeto <i>Sømærk</i> de Vandkunsten, foi construído com chapas metálicas de ductos de ventilação, através de um sistema <i>slate cladding</i> , sem comprometer e furar nenhum painel, permitindo a reutilização futura (Vandkunsten Architects, 2016).....	98
Figura 102 Protótipo de Madeira e detalhes de conceção. Tem como matéria prima madeira de pisos, janelas portas e painéis usados (Vandkunsten Architects, 2016)	98
Figura 103 O 3 Protótipo e material de revestimento exterior permeável com ladrilhos de Betão usado previamente cortado (Vandkunsten Architects, 2016).....	98

Figura 104 Protótipos construídos a partir de resíduos de vidro e janelas usadas (Vandkunsten Architects, 2016).....	98
Figura 105 <i>Loops</i> de materiais de construção: Reutilização; Reciclagem; <i>DownCycling</i> (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2019).	100
Figura 106 O conjunto de Apartamentos Resource Rows em Compenhaga projetado pelo Lendeger Group. (Cousins, 2020).....	100
Figura 107 O The Beehive é o estúdio de arquitetura dos Arquitetos Luigi Rosselli, e construído em 2018, na cidade de Sydney. (Rossell, 2018).....	101
Figura 108 Os resíduos de palha compactados. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	102
Figura 109 Garrafas PET descartadas de um elemento estrutural de construção por vácuo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	102
Figura 110 WaterBrick de Wendell Adams (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	103
Figura 111 Amostra de betão com Bactérias (Hebel & Heisel, 2017).....	104
Figura 112 Bio tijolo feito a partir de urina humana (Swingler, 2018).....	104
Figura 113 O Material <i>UltraTouchDemin</i> é produzido pela empresa BondeyLogie, (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	104
Figura 114 Lajetas StoneCycling (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	105
Figura 115 Produção das Lajetas StoneCycling (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	105
Figura 116 Representação gráfica de um corte temporário no fluxo normal de um determinado resíduo para ser aplicado como material de construção.	106
Figura 117 Parâmetros de seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo..	108
Figura 118 Seção transversal de uma estrutura possível 1- Tubo 2 Garrafas PET 3 Membrana (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	112
Figura 119 Sistema construtivo Airless de Dirk E. Hebel, Membrana (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	112
Figura 120 Pormenor construtivo e Arco depois de aspirado. As garradas comprimidas criam um sistema estrutural robusto (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	113
Figura 121 As Garrafas PET são colocadas dentro dos tubos e detalhe de conexão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction, 2014)	113
Figura 122 A Prensa (permite o transporte) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	115
Figura 123 Resíduos da Fábrica de Impressão e os compósitos da UPM (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	117
Figura 124 Os perfis L são aparafusados juntos para formar elementos em forma de T ou X que suportam carga. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	118
Figura 125 Fotografias do exterior do Artek Pavilion (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	118
Figura 126 Pormenor construtivo que mostra a estrutura do Pavilhão com perfis da UPM (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	118
Figura 127 Interior do Artek Pavilion exterior (Zinger & Snead, 2009).....	119
Figura 128 Perfis UPM do Artek Pavilion (Zinger & Snead, 2009).....	119
Figura 129 BYBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	120
Figura 130 COMMUNITY BLOCKER - Processa até 30 toneladas por mês. INDUSTRIAL BLOCKER - Processa mais de 90 toneladas por mês (ByFusion Global, 2020).	121
Figura 131 O processo e produção. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	121
Figura 132 Tipos de Revestimento (ByFusion Global, 2020).....	121
Figura 133 BYBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	122
Figura 134 ByBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	122
Figura 135 A forma do <i>POLLI-Brick</i> permite a construção de estruturas modulares. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	123
Figura 136 EcoARK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	123
Figura 137 EcoARK O conceito de ciclo de vida do POLLI-Brick. 1 - Reciclagem 2 - Remodelagem 3 - Montagem 4 - Construir módulos pré-fabricados 5 - Construção(Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	124
Figura 138 Exterior EcoARK (Inhabitat, s.d.).....	125
Figura 139 Exterior <i>EcoARK</i> (Inhabitat, s.d.)	125
Figura 140 Exterior <i>EcoARK</i> (Inhabitat, s.d.)	125
Figura 141 Exterior <i>EcoARK</i> (Inhabitat, s.d.)	125
Figura 142 Exterior <i>EcoARK</i> (Inhabitat, s.d.)	125
Figura 143 Exterior <i>EcoARK</i> (Inhabitat, s.d.)	125
Figura 144 Módulo padrão POLLI-Brick (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	126
Figura 145 PET (b) rick. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	127
Figura 146 PET (b) rick (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017)	127

Figura 147 Ilustração e os vários tipos de conteúdo das Garrafas <i>United Bottle</i> , (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	128
Figura 148 Testes de Stress das Garrafas Pet(b)irck (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).....	129
Figura 149 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	130
Figura 150 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	130
Figura 151 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	131
Figura 152 Vista Exterior <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	132
Figura 153 Vista Exterior <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	133
Figura 154 Vista Interior <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	133
Figura 155 Interior <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	133
Figura 156 Desenho Técnico -Vista Exterior <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	133
Figura 157 Código <i>Bima's Microlibrary</i> (Griffiths, 2016).....	133
Figura 158 Textura dos painéis com Garrafas Pet/ Vista exterior do Pet Pavilion.....	135
Figura 159 Vista exterior Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	136
Figura 160 Textura Parede Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	136
Figura 161 Vista Exterior Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	136
Figura 162 Pormenor de União de painéis Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	136
Figura 163 Testes parara as Paredes Pet Pavilion e os Gargalos usados para unir os painéis (Loos.FM, 2014).....	136
Figura 164 Interior Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	136
Figura 165 Axonometria Pet Pavilion (Archdaily, 2014).....	137
Figura 166 Vista Exterior <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	138
Figura 167 Vista Exterior do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	138
Figura 168 Vista Exterior do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	138
Figura 169 Vista Interior do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 170 Vista Exterior do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 171 Vista Exterior do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 172 Pormenor fachada do <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 173 Desenhos <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 174 Desenhos <i>Rising Moon Pavilion</i> (Designboom, 2013).....	139
Figura 175 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.) e Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.).....	141
Figura 176 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.).....	142
Figura 177 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.).....	142
Figura 178 Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.).....	142
Figura 179 People's Pavilion (Tailored Tile, s.d.).....	142
Figura 180 Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.).....	142
Figura 181 Lã de Pet (Supa soft insulation, 2020).....	144
Figura 182 O Corrugated Cardboard Pod construído por estudantes do Estúdio Rural da Universidade de Auburn, AL, EUA. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	149
Figura 183 Blocos de construção para o <i>Corrugated Cardboard Pod</i> . (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	150
Figura 184 <i>Corrugated Cardboard Pod</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	150
Figura 185 A secção transversal e planta <i>Corrugated Cardboard Pod</i> . (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	150
Figura 186 PHZ2 Dratz & Dratz Architects.....	152
Figura 187 Planta do Piso térreo e Alçado do PHZ2 (Hebel, Wisniewska, & Heisel, Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction, 2014).....	153
Figura 188 Ciclo de Vida do Cartão do Edifício (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	153
Figura 189 O PHZ2 era uma estrutura temporária para abrigar empresas iniciantes no Patrimônio Mundial de Zollverein em Essen, Alemanha." (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	153
Figura 190 Proposta estrutura temporária abobadada com <i>PAPER TILE VAULT</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	155
Figura 191 Axonometria explodida da estrutura abobadada temporária (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	155
Figura 192 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	156
Figura 193 No processo de produção, o papel picado é adicionando água para dissolvê-lo. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	156
Figura 194 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	156
Figura 195 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	156
Figura 196 O ciclo de produção do Paper Tile VAULT (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	157
Figura 197 Amostras NewsPaperWood (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).....	158

Figura 198 Ciclo de vida do <i>NewspaperWood</i>	159
Figura 199 <i>Newspaperwood</i> . (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).....	159
Figura 200 <i>Tuff Roof, telha ondulada de embalagens Tetrapack</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	161
Figura 201 Embalagens TetraPack <i>TuffRoof</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	162
Figura 202 Montagen telhas <i>TuffRoof</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	162
Figura 203 <i>TuffRoof</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	162
Figura 204 <i>TuffRoof</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	162
Figura 205 Desenho Telha ondulada <i>TuffRoof</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	162
Figura 206 <i>ReMaterials Roof Panels</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	164
Figura 207 <i>ReMaterials Roof Panels</i> (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	164
Figura 208 Pormenor dos painéis modelares 1 parede de rolamentos 2 painéis de telhado 3 subestrutura de madeira 4 parafusos 5 sobreposição de painéis de telhado.....	165
Figura 209 Superfícies decorativas e painéis de parede (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	166
Figura 210 Superfícies decorativas e painéis de parede (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).	167
Figura 211 Exterior do <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	171
Figura 212 Camadas do <i>Pavillon Circulaire</i> Desenhos Técnicos do <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 213 Desenhos Técnicos do <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 214 Interior <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 215 Exterior <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 216 Materiais Reutilizados no <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 217 Materiais Reutilizados no <i>Pavillon Circulaire</i> (Heureux, 2015).	172
Figura 218 Materiais Reutilizados (Heureux, 2015).....	172
Figura 219 Vista exterior do <i>Polish Pavilion at Milan Expo 2015</i> e Maquete <i>Polish Pavilion at Milan</i> <i>Expo 2015</i> (Architekci, 2015)	174
Figura 220 Fotografia Maquete (Architekci, 2015)	174
Figura 221 Vista exterior do <i>Pavilão Polish Pavilion at Milan Expo 2015</i> (Architekci, 2015)	175
Figura 222 Interior <i>Pavilão Polish Pavilion at Milan Expo 2015</i>	175
Figura 223 Fachada Exterior <i>Ami-Lot</i> (Malka, 2011)	176
Figura 224 Exterior <i>Ami-Lot</i> (Malka, 2011)	177
Figura 225 Exterior <i>Ami-Lot</i> (Malka, 2011)	177
Figura 226 Pormenor da fachada <i>Ami-Lot</i> (Malka, 2011)	177
Figura 227 Exterior <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	179
Figura 228 Axonometria <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015).....	180
Figura 229 Axonometria explodida com os principais materiais utilizados <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015).....	180
Figura 230 Cobertura <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015).....	180
Figura 231 3º Piso <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	180
Figura 232 Piso térreo <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	180
Figura 233 1º Piso <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	180
Figura 234 Divisória com Persianas <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	180
Figura 235 2º piso <i>Vegan House</i> (Frearson, 2015)	180
Figura 236 Exterior e Interior da <i>Collage house</i> (S+PS Architects, 2015).....	182
Figura 237 Exterior e Interior <i>Collage house</i> (S+PS Architects, 2015).....	183
Figura 238 Interior <i>Collage house</i> (S+PS Architects, 2015).....	183
Figura 239 Axonometria <i>Collage house</i> (S+PS Architects, 2015).....	184
Figura 240 Pormenor fachada Principal <i>Collage house</i> (S+PS Architects, 2015).....	184
Figura 241 <i>Song Wood</i> (Admin, 2011)	186
Figura 242 Espuma de madeira (Hebel & Heisel, 2017)	188
Figura 243 Produção da espuma de madeira (Hebel & Heisel, 2017).....	189
Figura 244 Exterior <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017)	194
Figura 245 Montagem <i>D3 Abwab Pavilion</i>	195
Figura 246 Alçados <i>Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017).....	195
Figura 247 Piso Térreo <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017)	195
Figura 248 Fachada para o interior do lote <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017).....	195
Figura 249 Desenho técnico da Planta e Alçado tipologia <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017).....	196
Figura 250 Vistas exteriores e desenhos <i>Carroll House</i> (Archdaily, 2017)	196
Figura 251 Axonometria Explodia <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Archdaily, 2017)	196
Figura 252 Exterior <i>D3 Abwab Pavilion</i> (Fahed Architect, 2017).....	198
Figura 253 Interior do <i>Dubai Design Week 2015 Pavilion</i> (Fahed Architect, 2017)	198
Figura 254 Exterior do <i>Dubai Design Week 2015 Pavilion</i> (Fahed Architect, 2017)	198

Figura 255 Interior do <i>Dubai Design Week 2015 Pavilion</i> (Fahed Architect, 2017)	199
Figura 256 Interior do <i>Dubai Design Week 2015 Pavilion</i> (Fahed Architect, 2017)	199
Figura 257 Paineis Fachada com Latas de Alumínio <i>Can Cube</i> (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010).....	200
Figura 258 Vista exterior Paineis Fachada <i>Can Cube</i> (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010).....	201
Figura 259 Vista exterior <i>Can Cube</i> (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010).....	201
Figura 260 Pormenor Paineis com Latas e Axonometria explodida <i>Can Cube</i> (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)	201
Figura 261 Perfil <i>Can Cube</i> (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)	201
Figura 262 Akimi aplicação bancada (Renewed Materials Inc.)	203
Figura 263 Alkimi Catálogo (Renewed Materials Inc.)	204
Figura 264 Alkimi Catálogo (Renewed Materials Inc.)	204
Figura 265 Aplicação ALkimi em Bancada (Renewed Materials Inc.)	204
Figura 266 Aplicação ALkimi em Bancada (Renewed Materials Inc.)	204
Figura 267 ALUSION– STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). ...	206
Figura 268 ALUSION– STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)....	207
Figura 269 Montagem, possível aplicação (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	207
Figura 270 ALUSION– STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	207
Figura 271 ALUSION– STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	207
Figura 272 Resina de goma laca	212
Figura 273 Resina do pinheiro.....	212
Figura 274 Pasta de amido de batata com aroma de amêndoa (Peters, 2012)	212
Figura 275 Biocompósito feito com adesivo de soja (Peters, 2012).	212
Figura 276 Amido como um pó branco (Peters, 2012).....	212
Figura 277 Mexilhões (Peters, 2012).	213
Figura 278 Blood Brick (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	213
Figura 279 Cola animal em grânulos (Ardec, s.d.).....	213
Figura 280 TRAshell diferentes texturas e transparências (Dahy, 2017).....	214
Figura 281 , Processo de Moldagem 'TRAshell' e produto final fixados num pavilhão para testar como elemento de revestimento (Dahy, 2017)	215
Figura 282 Ilustração da flexibilidade do painel Bio-flexi quando folheado de um lado e como ele pode ser folheado de ambos os lados.....	216
Figura 283 Ilustração dos seis necessários processos de fabricação <i>Plant Culture</i>	216
Figura 284 As fibras lignocelulósicas vegetais recuperadas de resíduos agrícolas são um recurso para a produção de bioplásticos e bio-compósitos eficientes.	217
Figura 285 Resíduos agrícolas que podem ser usados no processo: talos de milho, espigas de milho, cascas de trigo ou cascas de cevada. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	219
Figura 286 Os resíduos agrícolas são compactados (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	220
Figura 287 Os resíduos agrícolas são compactados (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	220
Figura 288) Um misturador de baixa tecnologia mistura o lixo agrícola com o aglutinante de tanino (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	220
Figura 289 Paineis de isolamento com resíduos agrícolas. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	220
Figura 290 Propriedades de vários painéis com resíduos agrícolas (T.O.OdoziO & AkarantaP.N.Ejike, 1986).....	220
Figura 291 Blocos utilizados no Projeto Hi-Fy (The Creators Project, 2014).....	222
Figura 292 Edifício Hi-fy (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)	224
Figura 293 Edifício hi-fy (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	224
Figura 294 - Reintrodução dos Tijolos no ciclo metabólico regular através da compostagem.	225
Figura 295 Construção do Hy-Fi (The Creators Project, 2014).....	225
Figura 296 Hy-Hi vista interior (The Creators Project, 2014).....	225
Figura 297 Hy-Fi (The Creators Project, 2014).....	225
Figura 298 Bloco projetado por Kazuyo Sejima e Ryue Nishizawa / SANAA. (Terreform, sd).....	227
Figura 299 O bloco de construção Mycoform é feito dos micélios de cogumelos envoltos em folhas de alumínio recicladas (Terreform).....	228
Figura 300 Cidades do futuro poderiam ser construídas a partir de resíduos sólidos municipais (Terreform, sd).....	228
Figura 301 Diferentes etapas do crescimento do micélio (Terreform, sd)	228
Figura 302 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)	230
Figura 303 Eco-Boards, Fiction Factory (Belle & Robben, 2019).....	230

Figura 304 Exemplo Painéis de construção leve feitos de uma estrutura esponjosa à base de Typha (Peters, 2012).....	230
Figura 305 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)	231
Figura 306 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)	231
Figura 307 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019).....	231
Figura 308 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019).....	231
Figura 309 DECAFÉTILES (Peters, 2012).....	233
Figura 310 Mesa feita de pó de café (design: Julian lechner) (Peters, 2012)	233
Figura 311 Abajures de borra de café (desenho: Raúl laurí) (Peters, 2012).....	233
Figura 312 WINE CORK TILES (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	235
Figura 313 Processo de produção WINE CORK TILES. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).....	235
Figura 314 <i>Sunflower Entreprise</i> (Hitti, 2019)	237
Figura 315 <i>Sunflower Entreprise</i> (Hitti, 2019).....	238
Figura 316 <i>Sunflower Entreprise</i> (Hitti, 2019).....	238
Figura 317 Ciclo de vida dos <i>SUNFLOWER ENTREPRISE</i> (Hitti, 2019).	238
Figura 318 <i>Chip [s] Board</i> (Minkley & Nicoll, 2018)	240
Figura 319 <i>Chip [s] Board</i> (Minkley & Nicoll, 2018).....	240
Figura 320 Bioplásticos desenvolvidos pela empresa <i>Chip [s] Board</i> de Rowan Minkley e Robert Nicoll	241
Figura 321 Ortofotomapa da área de intervenção Google Maps.....	258
Figura 322 O Anteprojeto da Cidade Universitária de Lisboa proposto por Pardal Monteiro, em 1939 DGEMN/Arquivo Pessoal de Porfírio Pardal Monteiro PPM NT10 UAC15 e UAC15.1.....	260
Figura 323 O Anteprojeto da Cidade Universitária. Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU).....	260
Figura 324 Desenhos da Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa. Planta, Alçado Poente e Principal Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)	260
Figura 325 Fotos da maquete da Biblioteca nacional. Foto do Arquivo do forte de Sacavém e perspetiva da Biblioteca Nacional, próxima da final. Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU).....	261
Figura 326 Desenhos da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Planta, Alçado Nascente e Principal Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)	261
Figura 327 Padrão Relacional dos sistemas da Escola de Sustentabilidade. P-Envolvente E-Estrutura PE-plano espacial S-Serviços	286
Figura 328 Alçados e Plantas Originais de Alberto Reaes Pinto.	295
Figura 329 Complexo Habitacional da Quinta do Morgado Fotografia de Arq ^o . João Carmo Simões ...	295
Figura 330 Desenhos da Proposta.	296
Figura 331 Fotomontagem da proposta para o Complexo Habitacional da Quinta do Morgado	296
Figura 332 Fotomontagem da proposta para o Complexo Habitacional da Quinta do Morgado Fotografia de João Carmo Simões	297
Figura 333 Plantas da proposta de grupo.....	297
Figura 334 Diagrama de Complexidade de processo.....	314
Figura 335 Raios de proximidade que serão considerados para a avaliação da disponibilidade Local	319
Figura 336 Euro classes de reação ao fogo (Santos E. C., 2012).....	324

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Estratégias para Regenerar, Estreitar, Descelarar e Fechar fluxos baseado em (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).....	24
Tabela 2 Os principais fluxos são especificados e limitados por meio de aspetos de seleção	85
Tabela 3 Atividades de uma cadeia produtiva.....	85
Tabela 4 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Airless</i>	114
Tabela 5 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo.: Caso de estudo UBUNTUBLOX.....	116
Tabela 6 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Artek Pavilion</i>	119
Tabela 7 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo.: Caso de estudo <i>BYFUSION BYBLOCK</i>	122
Tabela 8 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Polli-Brick</i>	126
Tabela 9 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>United_Bottle e PET (b) rick</i>	129
Tabela 10 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>RECY BLOCKS</i>	131
Tabela 11 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Bima's Microlibrary</i>	134
Tabela 12 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Pet Pavilion</i>	137
Tabela 13 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Rising Moon Pavilion</i>	140
Tabela 14 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Tailored Tile e Pretty Plastic</i>	143
Tabela 15 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Lã de PET</i>	145
Tabela 16 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Corrugated Cardboard Pod</i>	151
Tabela 17 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo PHZ2.....	154
Tabela 18 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>PAPER TILE VAULT</i>	157
Tabela 19 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>NewsPaperWood</i>	160
Tabela 20 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>TUFF ROOF</i>	163
Tabela 21 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>REMATERIALS ROOF PANELS</i>	165
Tabela 22 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>ECOR</i>	167
Tabela 23 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>PAVILLON CIRCULAIR</i>	173
Tabela 24 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Polish Pavilion at Milan Expo 2015</i>	175
Tabela 25 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Ami-Lot</i>	178
Tabela 26 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Vegan House</i>	181
Tabela 27 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Collage house</i>	185
Tabela 28 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo	187
Tabela 29 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Espuma de Madeira</i>	190
Tabela 30 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>D3 Abwab Pavilion</i>	197

Tabela 31 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo Dubai Design Week 2015 Pavilion	199
Tabela 32 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Can Cube</i>	202
Tabela 33 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>Alkimi</i>	205
Tabela 34 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS</i>	208
Tabela 35 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo TRAshell (preto) Bio-flexi (laranja) Plant Culture (azul)	218
Tabela 36 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>AGRICULTURAL WASTE PANELS</i>	221
Tabela 37 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>HY-FI</i>	226
Tabela 38 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>MyCoform</i>	229
Tabela 39 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo THE GROWING PAVILION.....	232
Tabela 40 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>HY-FI</i>	234
Tabela 41 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>WINE CORK TILES</i>	236
Tabela 42 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo <i>SUNFLOWER ENTREPRISE</i>	239
Tabela 43 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo	241
Tabela 44 Identificação das etapas relevantes da cadeia produtiva, autores envolvidos, e locais para se obter a matéria prima em Lisboa.....	244
Tabela 45 Identificação das necessidades funcionais da Estrutura.	282
Tabela 46 Identificação das necessidades funcionais da Envolvente.	282
Tabela 47 Identificação das necessidades funcionais do Plano Espacial.	283
Tabela 48 Casos de estudo que podem cumprir as funções estabelecidas.....	284
Tabela 49 Avaliação do Parâmetro de Complexidade do cada processo de Transformação.....	315
Tabela 50 Avaliação do Parâmetro Potencial de Reintegração no Ciclo Tecnológico e Biológico.....	316
Tabela 51 Avaliação do Parâmetro Conteúdo Químico	317
Tabela 52 Avaliação do Parâmetro Disponibilidade e Proximidade Local	319
Tabela 53 Condutibilidade térmica de alguns materiais (Mendonça, 2005).....	321
Tabela 54 Calor específico de alguns materiais (Mendonça, 2005)	321
Tabela 55 Coeficientes de absorção de alguns materiais (Jadir & Lima, 2009).....	322

INTRODUÇÃO

“Waste and its meticulous handling are valued as gifts, offered by society to itself. Where we turn the parable’s missed opportunity to our advantage, a modified economy would be set into motion. Perhaps then we would come full circle in being sustained by the constant transformation of matter and energy at hand, without beginning and without end” Georges Bataille (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014, p. 7).



Figura 1 Lixeira de São Paulo Brasil, fotografia do documentário WASTELAND do Artista Vik Muniz 2010 (Alloi, 2018)

ENQUADRAMENTO E RELEVÂNCIA DO TEMA

O tema da presente dissertação nasce de uma preocupação ambiental e da necessidade de uma mudança de paradigma da sociedade de consumo, perante a gestão insustentável de recursos do nosso planeta e a produção e acumulação de resíduos.

O desenvolvimento da sociedade industrial caracterizou-se por um modelo capitalista e consumista, um modelo linear, *Take, make, and waste*, o qual consome grandes quantidades de recursos e produz grandes quantidades de resíduos (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Com este modelo as indústrias prosperaram. Através da evolução da máquina e de outras inovações tecnológicas (Humbert, December 2007), os métodos de produção tornaram-se rápidos e em grande escala, movidos por energias fósseis. Estes processos de inovação abrangeram diversas áreas, como por exemplo, no setor dos transportes, facilitou a circulação de pessoas e bens pelo mundo; no setor da saúde, com a descoberta de novos tratamentos e medicamentos; no setor da agricultura com novos equipamentos, produtos e sistemas agrícolas como as monoculturas; no setor da construção, onde surgem novos materiais e sistemas construtivos mais eficazes como o ferro, o aço, o vidro e o betão armado que permitiram melhorar a qualidade dos espaços e resultaram em novas linguagens arquitetónicas como a arquitetura do vidro e as construções em altura.

O avanço tecnológico e a reorganização da produção trouxeram um acréscimo exponencial da produtividade e uma melhoria das condições de vida da sociedade (Humbert, 2007); contudo, a forma como produzimos e consumimos os produtos e recursos não equaciona os limites do nosso planeta e contribui radicalmente para a aceleração das alterações climáticas, comprometendo a saúde e o bem-estar das gerações presentes e a vida das futuras, para além de causar uma enorme pressão nos ecossistemas (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Os impactes da atividade humana no planeta são tão intensos que os cientistas defendem que se entrou numa nova era geológica – o Antropoceno (Weetman, 2006).

No dia 29 de julho de 2019¹ foi ultrapassada a capacidade do nosso Planeta fornecer os recursos que necessitamos e absorver resíduos que produzimos. Atualmente², consumimos recursos equivalentes a 1.75 planetas Terra, e em 2030 serão necessários 2 planetas para sustentar o nosso estilo de vida (The World Counts, 2020).

“We are consuming the future. We only have one planet.” (The World Counts, 2020)

Nos últimos anos, a par de outras cidades no mundo, Lisboa tem assistido a vários fenómenos que comprometem a saúde dos cidadãos, o desenvolvimento económico, a agricultura, a segurança dos alimentos e da água, como “ondas de calor, vagas de frio, inundações, secas, tempestades, falta de água potável, incêndios, que conduziram a mortes e a sofrimento humano” (ARSLVT, 2012, p. i).

¹ “Earth Overshoot Day”

² Maio de 2020

Para além dos impactes ambientais, o modelo linear é pouco eficiente em termos económicos, pois, qualquer sistema com base no consumo e não na valorização dos recursos está sujeito a riscos de fornecimento de materiais, volatilidade de preços e dependência internacional para abastecimento, devido à escassez de matérias primas e ao aumento global da procura de produtos (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

A noção de limites de crescimento e os primeiros discursos de sustentabilidade não são recentes; já em 1896 alguns cientistas mostravam-se preocupados com “o efeito da industrialização, da poluição da natureza e os limites do nosso planeta” (Silva V. R., 2012, p. 12). Ao longo do século XX, são introduzidos diversos conceitos ao redor das questões de crescimento populacional e esgotamento de recursos, como as publicações *The Population Bomb* de Paul Erlich em 1968 e *The Limits of Growth* de Dennis L. Meadows em 1972, que contribuíram para enfatizar de forma clara que estamos perante uma necessidade eminente de mudança industrial e económica, uma nova revolução industrial, que ao contrário da anterior, que tinha como base a produtividade humana, deverá ter como base o capital natural (figura 2)(Weetman, 2006).

A Sustentabilidade é entendida como o equilíbrio entre a atividade humana e a saúde dos ecossistemas. As estratégias com foco na minimização dos impactes do modelo económico atual não serão suficientes para alcançar o ponto de equilíbrio. “We no longer have the luxury of just being less bad” (Brown, et al., 2018, p. 8). Será necessário criar estratégias de design que tenham efeitos positivos e permitam restaurar e regenerar ambientes e comunidades contribuindo para o crescimento económico, ambiental e social saudável e resiliente a longo prazo (figura 3) (Brown, et al., 2018) &. (Mang & Reed, 2011).

A economia circular impulsiona a mudança do sistema industrial atual para um sistema industrial regenerativo e restaurador por *design*³ (Ellen Macarthur Foundation, 2013), através de ciclos contínuos de materiais e produtos por meio de reparação, remanufatura, reutilização e reciclagem. Assim, é descontinuada de extração de matérias-primas e o conceito de resíduo é eliminado passando a ser visto como um novo recurso (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Uma arquitetura e construção circulares têm um papel importante na transformação de cidades, uma vez que o setor de construção é um grande consumidor de recursos e produtor de resíduos na cidade (EMF, 2019). A evolução de processos construtivos, do design e da

³ Entende-se o design restaurador como um conjunto de estratégias de design que tem o intuito de restabelecer a saúde do ambiente natural, ambiente construído, subsistema ou comunidade, através da ação do homem; quando esta é concluída, espera-se que o sistema tenha a capacidade de se auto-organizar e de permanecer saudável (Brown, et al., 2018) &. (Mang & Reed, 2011). E entende-se por design regenerativo o conjunto de estratégias e abordagens que permitem que sistemas saudáveis floresçam, evoluam e contribuam positivamente para o meio. O homem considera-se parte da natureza e esta relação é benéfica e essencial para ambos. São estratégias que pretendem reconstruir um todo (a vida), e não apenas partes do sistema (Brown, et al., 2018) &. (Mang & Reed, 2011) & (Dias, 2013).

conceção do espaço arquitetónico com o objetivo de tornar o setor da construção regenerativo, são práticas emergentes.

Nos últimos anos, têm surgido diversas abordagens que resultaram em soluções mais eficientes do ponto de vista ambiental, a saber: a implementação de painéis solares e outros sistemas de energia renovável nos edifícios; a aplicação de conceitos de flexibilidade e modularidade dos espaços; a aplicação de técnicas de construção que permitem a desmontagem e a reciclagem de resíduos de construção e demolição (Arup, 2016).

Este trabalho apresenta uma solução inovadora circular que pretende tornar os resíduos parte integrante da filosofia de projeto arquitetónico, ao invés de excluí-los do processo criativo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Pretende-se expor alternativas eficientes à construção convencional marcada pela má gestão de resíduos e utilização excessiva de recursos, e deste modo reintegrar resíduos de indústrias e resíduos pós consumo em ciclos de uso, através da reutilização e da reciclagem e de acordo com os princípios da economia circular.

A oportunidade de criar sinergias urbanas em Lisboa a partir da reutilização e reciclagem de materiais de outras indústrias no setor da construção, prolongando o seu valor intrínseco, para além de alterar o metabolismo da cidade através da gestão de stocks de recursos (*inputs*) e de resíduos (*outputs*), contribui para a estabilidade económica e social, propondo soluções de construção mais flexíveis, igualmente eficientes e com menor custo, comparativamente com as técnicas convencionais numa altura em que o mercado imobiliário em Lisboa é extremamente especulativo e com custos muito elevados.

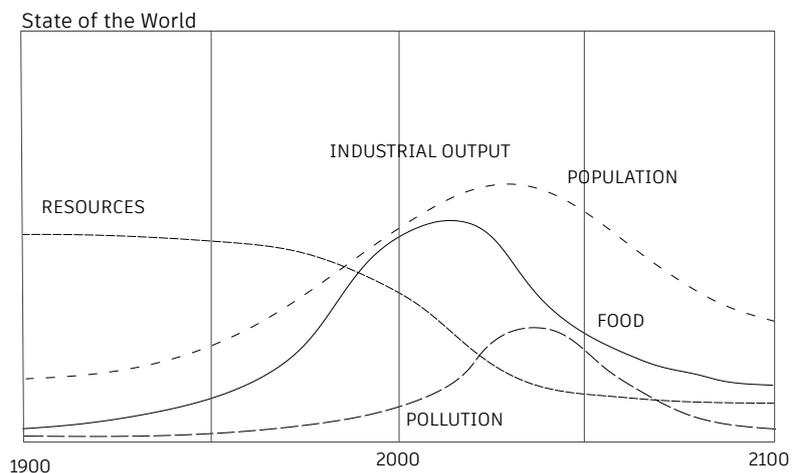


Figura 2 Cenário de crescimento que previa o colapso do sistema industrial no livro *The Limits of Growth* de Dennis L. Meadows (1972) Previu (Bardi, 2014).

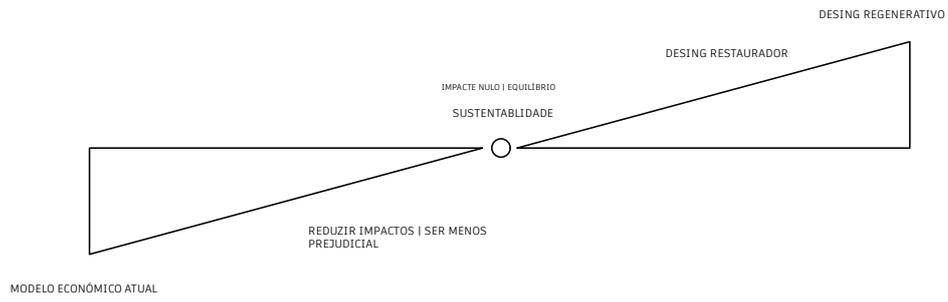


Figura 3 Esquema definição de Sustentabilidade, *Design* Restaurador e Regenerativo.

OBJETIVOS E METODOLOGIA

A presente dissertação tem como objetivo o estudo da viabilização de sistemas construtivos eficientes com recurso a resíduos urbanos e industriais, como estratégia para a criação de novos ciclos de valor no contexto da cidade de Lisboa tendo em conta princípios da Economia Circular. Neste sentido, para atingir estes objetivos serão abordados os seguintes temas:

- Compreender os motivos que levam à necessidade de mudança do modelo económico atual para um modelo económico circular.
- Identificar o problema da acumulação de resíduos na cidade de Lisboa, em Portugal e no Mundo.
- Estudar as bases teóricas que apoiam o conceito de Economia Circular
- Compreender os conceitos de Ambiente Construído Circular, Edifício Circular e Setor da Construção Circular.
- Estudar estratégias de *design* e projeto de Arquitetura que permitem a gestão circular de fluxos de material no setor.
- Compreender qual o papel de cada agente ativo nesta transição.
- Compreender as tipologias da reutilização e da reciclagem de resíduos como material de construção.
- Estudar, a partir de casos de estudo, soluções construtivas com base em resíduos industriais e urbanos que se enquadrem no contexto regional da cidade de Lisboa, contribuindo para uma arquitetura sustentável e regenerativa e como forma de prolongar o valor intrínseco dos resíduos.
- Elaborar critérios de seleção de materiais para avaliação de sistemas construtivos com recurso a resíduos de acordo com os princípios da Economia Circular.
- Identificar os locais onde os resíduos em estudo são produzidos ou depositados na cidade de Lisboa num raio máximo de 40 km com centro na área de intervenção.
- Integrar arquitetonicamente, tendo em conta a eficiência funcional e estética das soluções construtivas no projeto de arquitetura.
- Integrar estratégias de *design* e projeto circular na conceção do projeto final de arquitetura.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em quatro partes e inicia-se com dois capítulos de estado da arte, onde são investigadas as bases teóricas relacionadas com a Economia Circular, Metabolismo Urbano, o Ambiente Construído Circular, Arquitetura Circular e a Gestão de Fluxos Circulares.

Estes capítulos de investigação são um apoio teórico para o desenvolvimento do terceiro capítulo onde são estudadas formas de reaproveitar, por meio da reutilização e reciclagem, fluxos de resíduos de setores industriais e pós consumo no setor da construção. Os casos de estudos são avaliados por parâmetros de desempenho ambiental e funcional, tendo em conta os princípios da Economia Circular.

Os locais e as empresas que operam com os fluxos de resíduos em estudo são identificados e mapeados, tendo em conta critérios de proximidade, viabilizando assim as soluções construtivas no contexto metabólico da cidade de Lisboa.

Por fim, os resultados da pesquisa são aplicados de forma prática no projeto final de arquitetura, nomeadamente os princípios de projeto e *design* de edifícios circulares e as soluções construtivas estudadas.

CAPÍTULO I - ECONOMIA CIRCULAR

No primeiro capítulo, são aprofundadas as consequências ambientais associadas à extração de matérias-primas e à produção de resíduos a nível mundial e a nível nacional. E são definidos os conceitos e os princípios base da economia circular, as estratégias gerais que facilitam a sua aplicação prática, assim como as políticas que apoiam a transição para um modelo circular.

CAPÍTULO II - CIRCULARIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

No segundo capítulo são definidos os conceitos de ambiente construído circular e as estratégias para atingir a circularidade integrada no setor da construção. Para o efeito são definidas duas vertentes estratégicas, as estratégias do domínio do *design* e as estratégias do domínio da indústria de construção.

CAPÍTULO III- SISTEMAS CONSTITUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS

No terceiro capítulo são estudadas as tipologias de reutilização e reciclagem, os processos de transformação de resíduos e são definidos os parâmetros de seleção de soluções construtivas com base nos princípios da economia circular. Os casos de estudo são divididos em cinco fluxos de resíduos, nomeadamente o plástico, o papel, a madeira, o aço e o alumínio e por fim resíduos agrícolas.

Foi realizada uma análise da cadeia produtiva de cada um destes fluxos e selecionados casos de estudo que utilizem como recurso estes resíduos. Posteriormente as soluções construtivas são avaliadas pelos parâmetros de desempenho ambiental e funcional definidos e são identificados os agentes que operam com estes fluxos de resíduos e os potenciais locais

onde podem ser obtidos na cidade de Lisboa, viabilizando a sua replicação no contexto do projeto de arquitetura.

CAPÍTULO IV – PROJETO FINAL DE ARQUITETURA

O quarto capítulo é uma memória descritiva do projeto final de arquitetura, onde são postas em prática as estratégias de *design* da economia circular e soluções construtivas com resíduos identificados na dissertação.

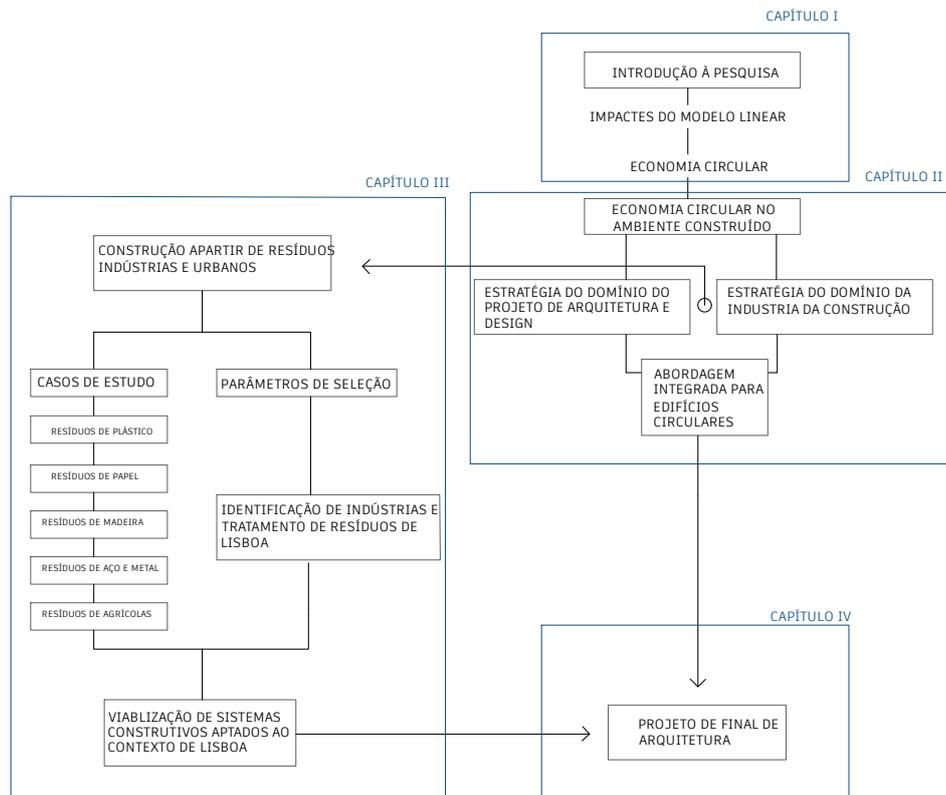


Figura 4 Representação gráfica da organização da dissertação.

I. ECONOMIA CIRCULAR

1.1. MODELO LINEAR, RECURSOS E RESÍDUOS

O modelo linear, como já foi referido, não equaciona os limites do nosso planeta, nem o meio ambiente. Neste sentido, causa uma pressão enorme sobre os recursos e os ecossistemas, acelera drasticamente o processo das alterações climáticas e compromete as gerações futuras. Este modelo está associado a grandes quantidades de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), ao consumo insustentável de água, à contaminação e poluição dos cursos fluviais, oceanos e solos e ao elevado risco de extinção de espécies (Ellen Macarthur Foundation, 2013). As suas repercussões implicam um risco para todas as regiões do planeta em todos os setores, quer no sistema humano quer no sistema natural (IPCC, 2014).

A população mundial está a aumentar, sobretudo nas cidades dos países em desenvolvimento. Prevê-se um aumento da população urbana mundial, de 2.5 a 3 milhares de milhões de pessoas em 2050; este valor é cerca de 64 a 69% superior ao valor registado em 2009 (ECF European Climate Foundation, 2014). Atualmente em Portugal, 43% dos cidadãos vivem nas cidades (INE) (Grupo Marktest, s.d.). A população urbana é responsável por 75% do consumo de recursos naturais, produz “50% dos resíduos globais e 60-80% das emissões de gases com efeito de estufa” (Ellen MacArthur Foundation, 2019, p. 5). Neste sentido, é nas cidades que circula a maioria dos materiais, e onde grande parte deles é desperdiçada e descartada (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

O cenário climático agrava-se com o aumento previsto da população urbana, que traz como consequências o aumento da extração mundial de matéria-prima e da produção de resíduos. As indústrias extrativas e de tratamento de resíduos são responsáveis por 50% do total das emissões de GEE (IRP, 2019). Estas emissões resultam no aumento da temperatura da atmosfera e dos oceanos, e trazem como consequência a subida do nível dos oceanos. Estima-se que, no final do séc. XXI, se verifique um aumento da temperatura global de 2.6 a 4.8 °C e um aumento de 0.45 a 0.82 metros do nível da água do mar (ECF European Climate Foundation, 2014).

Em 2017, foram extraídos cerca de 92 milhares de milhões de toneladas de matérias-primas, o que representa um aumento para o triplo em comparação com o ano de 1970 (Figura 5). Para além disso, prevê-se que este valor chegue aos 170 milhares de milhões de toneladas em 2050 (Wit, Hoogzaad, Ramkumar, Friedl, & Douma, 2018) & (Wit, Hoogzaad, & Daniels, 2020).

Os 92 milhares de milhões de toneladas de matérias extraídas mundialmente foram complementados pelos 8.6 milhares de milhão de toneladas de materiais reciclados, que equivalem apenas a 4.2 % dos 36 milhares de milhão de toneladas de resíduos produzidos e recolhidos (Wit, Hoogzaad, Ramkumar, Friedl, & Douma, 2018).

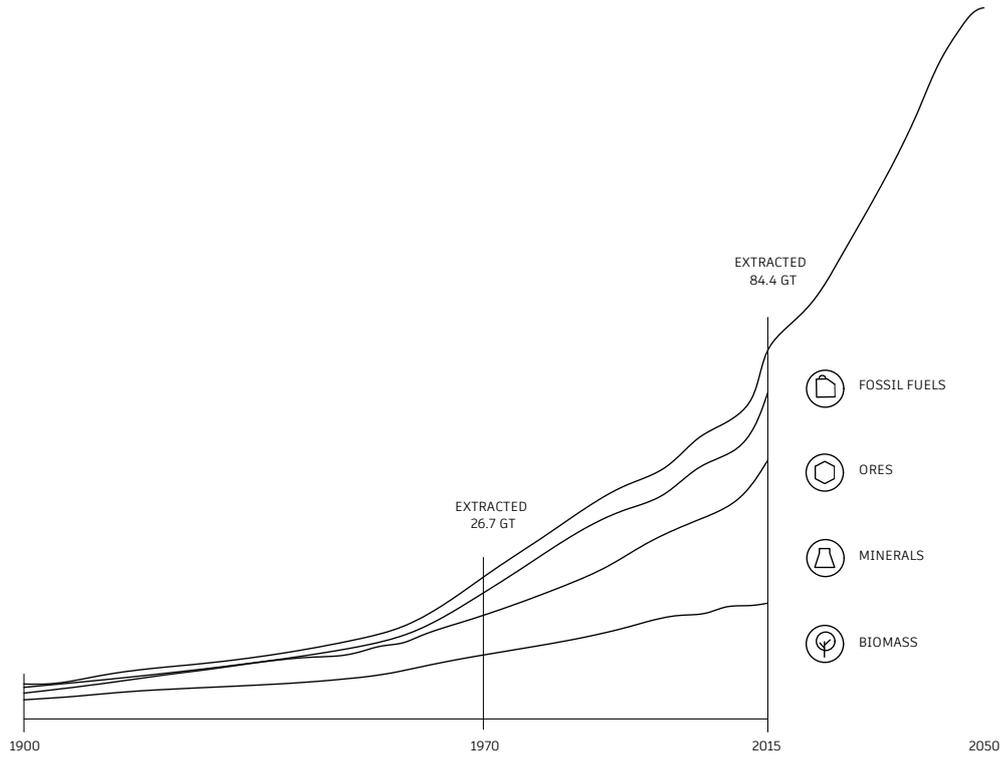


Figura 5 Extração de material de combustíveis fósseis, minérios, minerais e biomassa global entre 1900 e 2050 Fonte: (Wit, Hoogzaad, Ramkumar, Friedl, & Douma, 2018)

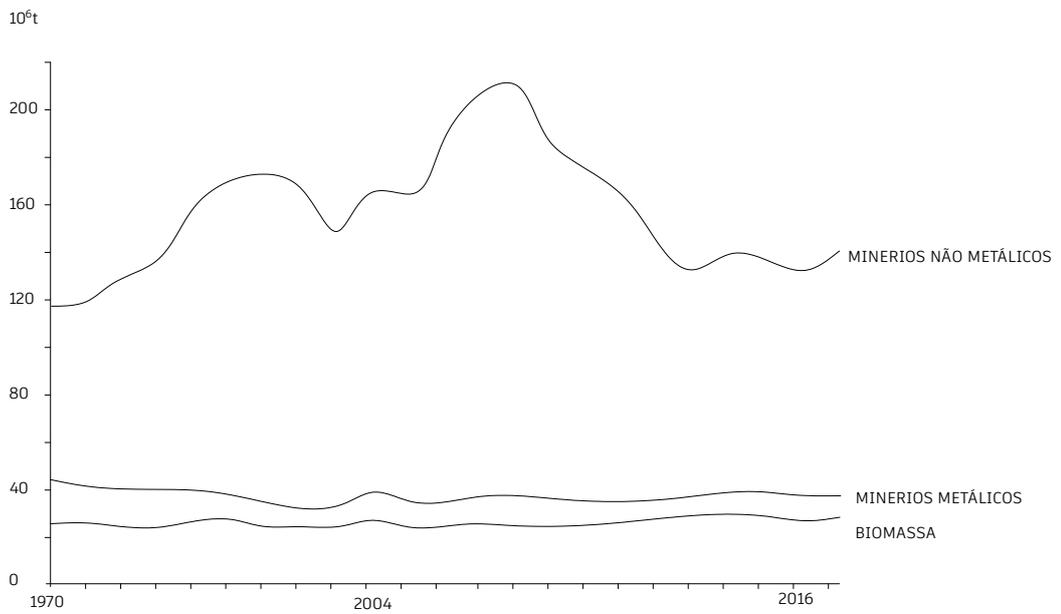


Figura 6 Extração de materiais em Portugal, entre 1995 e 2017 (INE, 2018)

Estes resíduos são maioritariamente gerados pelas sociedades urbanas nas suas atividades diárias, resíduos pós-consumo (sólidos urbanos (RU)) e por várias indústrias transformadoras, subprodutos e resíduos provenientes dos processos produtivos da indústria (resíduos industriais (RI)).

De acordo com o Banco Mundial, foram produzidos 2.01 milhares de milhão de resíduos sólidos municipais e apenas 33% dos resíduos sólidos gerados são devidamente tratados de forma segura, 37% de todos os resíduos gerados são despejados em aterro e 30% são despejados a céu aberto (Figura 7) (The World Bank, Silpa Kaza, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, Frank Van Woerden, 2018)

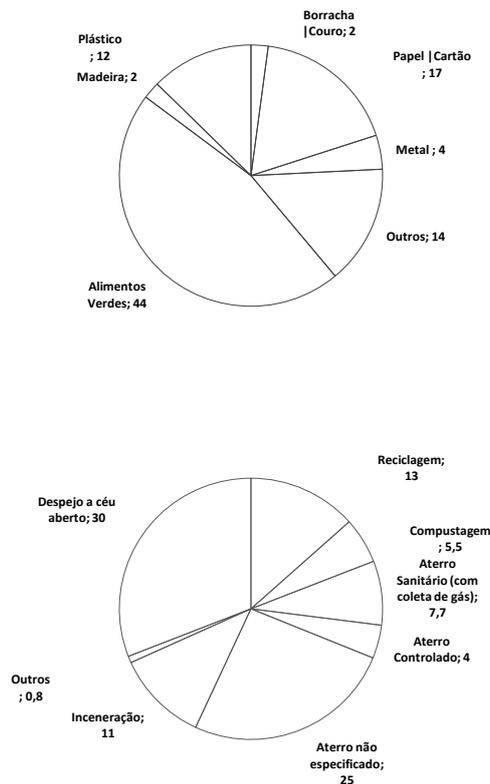


Figura 7 Caracterização e Destino dos resíduos sólidos internacionais. Fonte: The World Bank, What a Waste 2.0

Os resíduos industriais em Portugal são definidos pelo Regime Geral de Gestão de Resíduos, instituído pelo Decreto-Lei n.º 178/2006 atualizado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, como “os resíduos gerados em processos produtivos industriais, bem como os que resultam das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás e água”. Estes dividem-se em três grupos de acordo com as suas características: resíduos industriais perigosos, resíduos industriais inertes, e resíduos industriais não perigosos. (Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2006, p. 6530) (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2011)

Os resíduos industriais perigosos são resíduos que apresentam na sua constituição algum risco de perigosidade para o ambiente e para a saúde humana. Os resíduos industriais

inertes são resíduos que não apresentam riscos para a saúde humana, para o ambiente e para a qualidade da água, neste sentido não são biodegradáveis, inflamáveis ou solúveis. Os resíduos industriais não perigosos podem ser biodegradáveis, inflamáveis e solúveis e não apresentam riscos para a saúde pública e para o ambiente devido à sua degradação enquanto resíduos (Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2006).

Segundo a estimativa média anual entre os anos 2010 e 2014, produziram-se anualmente 11.3 milhões de toneladas de resíduos setoriais, e em 2018 registou-se uma diminuição para os 9 milhões de toneladas (Instituto Nacional de Estatística, 2014) & (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018). Este valor traduz-se em 4,0 kg de resíduos por trabalhador, um valor que é cinco vezes menor do que a média europeia (EY-AM&A; 3Drivers, 2018).

O setor da indústria transformadora destacou-se produzindo 3.6 milhões de toneladas de resíduos em 2018 (figuras 8 e 9) (Instituto Nacional de Estatística, 2014). Dentro deste setor, os principais geradores de resíduos não perigosos foram as indústrias de Pasta, Papel e Cartão, que produziram 577.8 mil toneladas de resíduos e as Metalúrgicas de Base que produziram 417.2 mil toneladas de resíduos. (Instituto Nacional de Estatística, 2014) & (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018).

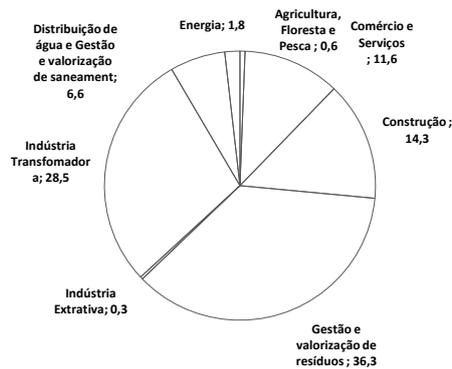


Figura 8 Distribuição de resíduos setoriais não perigosos gerados por setores económicos (%) (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018)

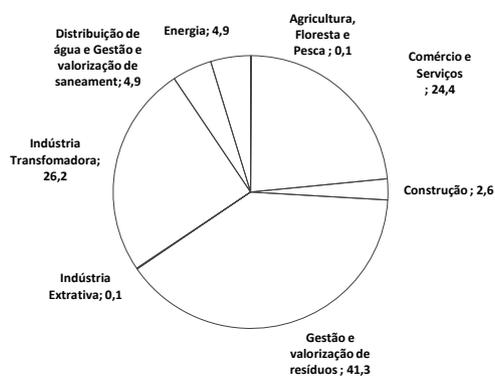


Figura 9 Distribuição de resíduos setoriais perigosos gerados por setores económicos (%) (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018)

Segue-se o setor da construção, responsável por 14% de todos os resíduos sectoriais não perigosos, ou seja, foram produzidas 1.3 milhões de toneladas de resíduos em 2018. Este valor é ligeiramente inferior à média registada entre os anos de 2010 e 2014 equivalente a 1.9 milhões toneladas. (Instituto Nacional de Estatística, 2014) & (Instituto Nacional de Estatísticas, 2018).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são definidos pelo Regime Geral de Resíduos, (Decreto-Lei n.º 73/2011) de 17 de junho, como “o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e de derrocada de edificações.”

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 60 % de todos os RCD não perigosos sofrem algum tipo de valorização (IST, APA, 2014). Estima-se que 10-20 % dos RCD resultam das atividades de construção, 30-50% das atividades de remodelação, reabilitação e reparação, e 40-50% das atividades de demolição (Costa, 2014).

A constituição dos resíduos de construção e demolição (RCD) pode-se subdividir em três grupos: resíduos inertes, onde se incluem o betão, tijolos, telhas, azulejos e vidro; resíduos orgânicos, como papel, cartão, madeira e plásticos, e resíduos compósitos, como tapetes, revestimentos de paredes de gesso, material elétrico, derivados de madeira e madeira envernizada (Costa, 2014).

Dadas as particularidades deste fluxo específico de resíduos, como a variedade da sua composição e os diferentes níveis de perigosidade, (IST, APA, 2014) em Portugal há um regime específico de gestão de RCD, instituído no Decreto-Lei n.º 46/2008 (IST, APA, 2014). Neste são definidas metodologias e normas que se devem adotar na fase de projeto, execução e demolição de obras em prol da gestão e valorização de RCD.

Os resíduos urbanos são definidos em Portugal pelo Regime Geral de Gestão de Resíduos, instituído pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, como: “resíduos provenientes de habitações, bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes de habitações” (Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2006, p. 6530). Nesse ponto de vista, são considerados os resíduos urbanos, domésticos e resíduos semelhantes produzidos quer por grandes, quer por pequenos produtores e exclui-se da definição “os óleos usados (OU), os pneus usados, as baterias e os resíduos de construção e demolição (RCD)” (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente, em 2018 produziram –se em Portugal 5.213 mil toneladas de resíduos urbanos, o que corresponde a um aumento de 4% em relação ao ano anterior. 58.3% destes resíduos foram depositados em aterro e apenas 41.7% sofreram algum tipo de valorização (Figura 11) (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2017) (APA,

Agência Portuguesa do Ambiente, 2019). Destacam-se, maioritariamente, os bio-resíduos, resíduos de plástico, papel e cartão (figura 10).

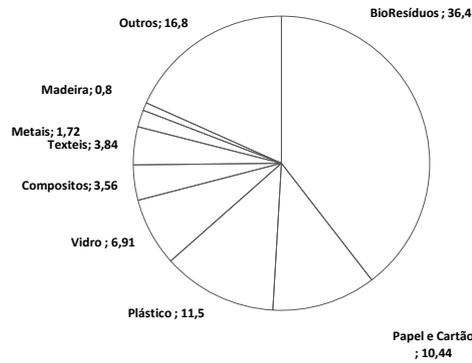


Figura 10 Caracterização física dos resíduos urbanos produzidos em 2018 (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2019)

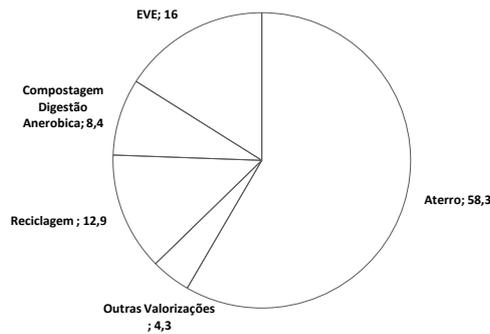


Figura 11 Destino dos resíduos urbanos produzidos em 2018 (APA, Agência Portuguesa do Ambiente, 2019)

As consequências da acumulação excessiva de resíduos são evidentes, e exigem uma mudança de paradigma. O modelo económico atual que contribuiu durante décadas para o crescimento da economia, revela agora os efeitos colaterais no ambiente e nas comunidades. Existe uma evidente incompatibilidade entre a extração excessiva de matérias primas e a capacidade que a natureza tem de as assegurar, assim como as grandes quantidades de resíduos que a natureza não tem a capacidade de absorver (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Para além dos custos ambientais, a quantidade de resíduos produzidos não valorizados ilustra as oportunidades económicas perdidas. De acordo com o Estudo sobre a Relevância e o Impacto do Setor dos Resíduos em Portugal na Perspetiva de uma Economia Circular, o valor

perdido em resíduos e subprodutos a nível mundial corresponde a 1.000 biliões de dólares americanos por ano (EY-AM&A; 3Drivers, 2018).

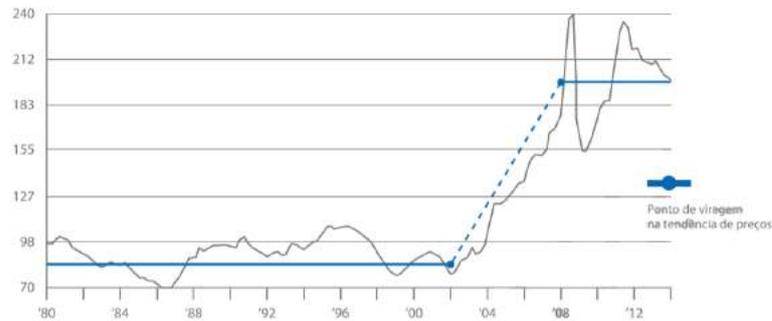


Figura 12 Preço mundial das matérias-primas em perspectiva | 1980-2014 (EY-AM&A & Drivers, 2018)

Entre os anos de 1975 e 2010 o aumento real do Produto Interno Bruto foi de 225 %, e a utilização de matérias primas aumentou 120 % (figura 12) (EY-AM&A; 3Drivers, 2018).

A indústria europeia apresenta uma enorme dependência de mercados internacionais para se abastecer de matéria prima. O consumo interno de Materiais em Portugal é equivalente a 70 milhões de toneladas, 132 toneladas de matérias primas são extraídas no ambiente interno, 39 são exportadas e 53 toneladas são importadas (EY-AM&A; 3Drivers, 2018, p. 28). As matérias primas importadas correspondem sobretudo a combustíveis fósseis e minerais metálicos e não metálicos isto deve-se à tendência dos setores industriais e à utilização intensiva de materiais não renováveis. Estima-se que 80 % dos materiais consumidos no país são recursos não renováveis (EY-AM&A; 3Drivers, 2018).

Para o bom funcionamento da economia e a inovação do emprego é necessário ter o acesso a mercados de matérias primas com custos acessíveis. A volatilidade constante e a ameaça de rotura na cadeia de abastecimento devido ao aumento da procura e escassez de recursos (por exemplo, materiais metálicos, crómio, lítio), resultam no aumento da concorrência global sobretudo por parte de países com mercados emergentes na economia, dando origem ao aumento dos preços e consequentemente a esforços redobrados para cobrir os riscos e prejuízos financeiros das empresas (EY-AM&A; 3Drivers, 2018)

A gestão dos stocks a partir da valorização de resíduos pode aliviar a pressão dos setores equilibrando a procura e a disponibilidade de recursos (EY-AM&A; 3Drivers, 2018)

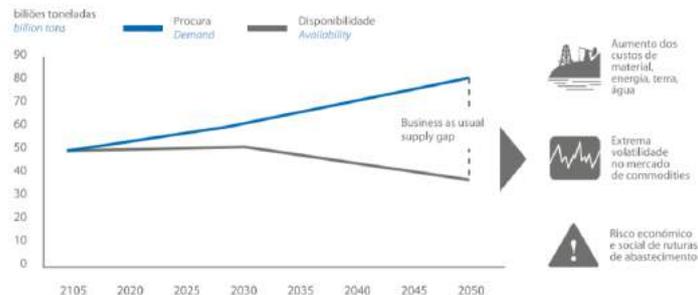


Figura 13 Desequilíbrio entre procura e disponibilidade de recursos (EY-AM&A; 3Drivers, 2018)



Figura 15 We Made Plastic, We Depend on it. Now we're drowning in it Fontography de RANDY OLSON para o National Geographic. (PARKER, 2018)



Figura 14 O silo de lixo de um novo incinerador em Copenhague (KUNZIG, 2020)

1.2. O CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular surge como alternativa ao modelo económico linear e aos impactes negativos a ele associados. Inspirada na natureza, a economia circular “constrói e reconstrói a integridade geral do sistema”⁴ (Ellen MacArthur Foundation, 2017), e desvincula o crescimento económico da extração de recursos e produção de resíduos, otimizando o metabolismo das cidades (Weetman, 2006). É necessário repensa a maneira como são produzidos, usados e descartados os materiais e os produtos, para assegurar as necessidades das gerações presentes e futuras em busca de um desenvolvimento sustentável.

O metabolismo Urbano, definido por Wolman em 1965, é “a soma total dos processos técnicos e socioeconómicos que ocorrem nas cidades, resultando no crescimento, na produção de energia e na eliminação de resíduos”⁵ (C. Kennedy, 2011, p. 1). O autor interpretou que os sistemas urbanos assim como os sistemas naturais vivos são alimentados por fluxos de material, energia e água (*inputs*) e expelem resíduos e poluentes (*outputs*). O autor verificou que à medida que a dimensão das cidades aumenta, os processos de entrada e saída aumentam em simultâneo, evidenciando a importância de quantificar os recursos necessários para sustentar a vida e analisar as relações entre os fluxos que fluem na cidade e os seus impactes ambientais (C. Kennedy, 2011). Neste contexto, em 1970, Kenneth E. Boulding com a publicação “*The Economics of the Coming Spaceship Earth*”, descreve a existência de um sistema aberto, a econosfera dentro de um sistema fechado (o planeta terra) e a relação entre estes só é sustentável, se a capacidade de fornecimento de recursos (*inputs*) e a capacidade de assimilação de resíduos (*outputs*) estiverem em equilíbrio (BOULDING, 1966, pp. 3; 8-9).

“Three important classes are matter, energy, and information. The present world economy is open in regard to all three. We can think of the world economy or “econsphere” as a subset of the “world set,” which is the set of all objects of possible discourse in the world. (...) the “cowboy economy,” the cowboy being symbolic of the illimitable plains and also associated with reckless, exploitative, romantic, and violent behavior, which is characteristic of open societies. The closed economy of the future might similarly be called the “spacesman” economy, in which the earth has become a single spaceship, without unlimited reservoirs of anything, either for extraction or for pollution, and in which, therefore, man must find his place

⁴ Tradução sugerida pela autora, do original “In a circular economy, economic activity builds and rebuilds overall system health”

⁵ Tradução sugerida pela autora do original, “the sum total of the technical and socio-economic processes that occur in cities, resulting in growth, production of energy, and elimination of waste”

in a cyclical ecological system which is capable of continuous reproduction of material form even though it cannot escape having inputs of energy.” (BOULDING, 1966, pp. 3; 8-9)

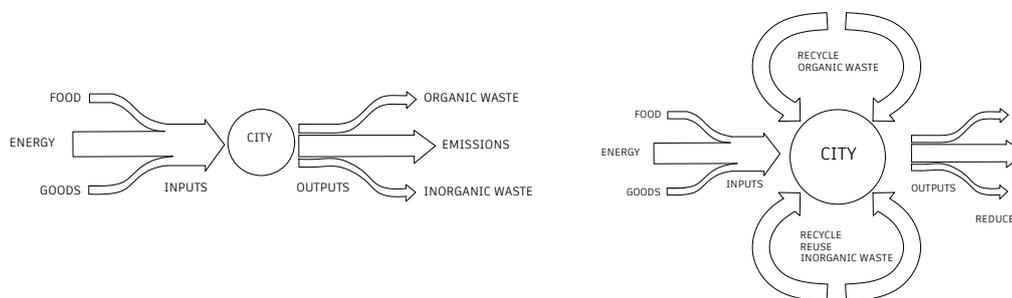


Figura 16 Metabolismo linear versus Circular das Cidades (Bioazul, 2015)

A Economia Circular corresponde a um sistema cíclico ecológico e realça a analogia entre as cidades e os metabolismos naturais. Os ecossistemas são auto-suficientes em termos de energia, promovem trocas mútuas benéficas entre vários subsistemas e toda a matéria é transformada e absorvida pela natureza em ciclos contínuos.

De acordo com a *Ellen MacArthur Foundation (EMF)*⁶, a economia circular pretende através do *design* regenerar subsistemas, ecossistemas e comunidades, e visa manter os produtos, componentes e materiais no seu valor e utilidade mais elevados (Webster, 2016), e tem três principais objetivos : “eliminar resíduos e a poluição, manter os produtos e matérias em ciclos de uso, e regenerar sistemas naturais”⁷ (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Desta forma, os fluxos de matérias e de produtos estão dentro de um sistema cíclico, e após a sua vida útil são reintroduzidos na economia, onde lhes é dado um novo valor, reduzindo a necessidade de extração de novas matérias primas. (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Nesta perspetiva, pretende-se criar cidades mais resilientes e com melhores condições de habitabilidade a longo prazo e assegurar a preservação da flora e da fauna do nosso planeta.

A construção e formulação do conceito de economia circular resultou da síntese de vários conceitos, como o *The Performance Economy de Walter Stahel*, a filosofia de *design Cradle to Cradle* de William McDonough e Michael Braungart e a Ecologia Industrial (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

⁶ A Ellen Foundation Macarthur é uma instituição sem fins lucrativos criada em 2010 no Reino Unido, com o objetivo de a transição para uma economia circular, desta forma, apoia governos, modelos de negócio e iniciativas circulares disponibilizando quadros estratégicos para a reformulação sistémica, regenerativa e criativa da economia.

⁷ Tradução sugerida pela autora, do original “Design out waste and pollution; Keep products and materials in use; Regenerate natural systems”

OS 5 PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR | ELLEN FOUNDATION MACARTHUR

Design out waste: O desperdício e o resíduo são conceitos que não existem. Os componentes do ciclo técnico ou biológico são projetados para retornar ao respetivo ciclo e para a sucessiva desmontagem e reaproveitamento (Ellen Macarthur Foundation, 2013, pp. 23,24).

Waste is Food: No que toca aos elementos biológicos, estes devem ser devolvidos com segurança à biosfera através de *loops* não tóxicos. No que toca aos nutrientes e elementos tecnológicos estes estão inseridos em *loops upcycling*, ou seja, *loops* que permitem aumentar o valor e a qualidade dos produtos (Ellen Macarthur Foundation, 2013, pp. 23,24).

Think in systems: Dentro da ecosfera nada existe fora do sistema natural e sem contexto, à semelhança dos sistemas naturais é necessário interpretar cada elemento como parte de um sistema e as suas relações. “Quando se considera um elemento deve-se ter em consideração o meio, a infraestrutura e os contextos sociais” (Ellen Macarthur Foundation, 2013, pp. 23,24).

Build resilience through diversity: O sistema urbano e industrial tem como modelo os ecossistemas naturais. À semelhança dos sistemas naturais, as cidades e as indústrias devem funcionar promovendo sistemas diversos a escalas variadas com muitas conexões e trocas benéficas. Através da versatilidade, adaptabilidade e diversidade (Ellen Macarthur Foundation, 2013, pp. 23,24).

Rely on energy from renewable sources.: Os sistemas são alimentados por fontes renováveis. As indústrias, os edifícios e as cidades devem ser autossuficientes em termos de energia e recursos (Ellen Macarthur Foundation, 2013, pp. 23,24).

1.3. THE PERFORMANCE ECONOMY DE WALTER STAHEL

Em *The Performance Economy*, Walter Stahel redefine o desenvolvimento económico em prol de uma economia do desempenho, através do *design* sistémico com foco na manutenção e exploração de *stocks* (Stahel W. R., 1984).

A riqueza dos países é definida pelos seus *stocks* de bens e capital. Os *stocks* são fluxos acumulados e os fluxos são movimentos constantes de matéria numa determinada direção, assim caracterizam a forma como os bens fluem na economia. Os fluxos conectam a origem, os caminhos e o fim de vida dos materiais caracterizando as cadeias de fornecimento e as atividades económicas (Geldermans, et al., 2017)

Segundo Stahel, nos próximos anos é expectável que os preços dos recursos e energia necessários para a sua extração subam exponencialmente, o que pode resultar numa série de conflitos políticos. Neste contexto, e de modo a assegurar a segurança na obtenção de recursos, as nações devem conter e gerir os seus *stocks* de bens (Stahel W. , 2012).

“(…) the goods of today are the resources of tomorrow at yesterday’s prices.” (Stahel W. R., 2006, p. 7)

A extração de matérias-primas gasta mais de metade da energia que o processo de remanufatura, desta forma a remanufatura e a reciclagem de produtos em pequenas escalas tornam-se uma maneira mais rentável de obter e assegurar matéria-prima. Esta troca cria mais postos de trabalho no setor e alivia os impactes associados às atuais práticas industriais, pois a energia associada à extração de matérias primas e à produção em grande escala é trocada por mão de obra, associada a processos de remanufatura e reciclagem em pequena escala (Stahel W. R., 1984).

Segundo Stahel, de modo a facilitar a remanufatura e potencializar a criação e gestão de fluxos de materiais e produtos, deve-se aplicar uma economia de serviços funcionais, ou seja, vender a funcionalidade em vez de bens materiais, desta forma o lucro é obtido não pela venda de mercadorias mas sim pela prestação de serviços (Stahel W. , 2012). As empresas ou as indústrias passam a ser detentoras, em todas as fases (venda, utilização e fim de vida), dos seus *stocks* de materiais e produtos, assegurando a sua manutenção e possíveis reparações até ao seu fim de vida. Quando um produto deixa de servir a sua função, retorna à fábrica como matéria-prima para a criação de outros produtos da empresa (Stahel W. , 2012).

Stahel também defende a aplicação de taxas sustentáveis, ou seja, taxar todos os recursos e produtos provenientes de fontes não-renováveis, em prol dos recursos e produtos renováveis; esta estratégia permite aumentar a competitividade entre empresas e incentiva modelos de negócio mais sustentáveis (Stahel W. , 2012).

De acordo com o autor, há a considerar na economia de desempenho três aspetos fundamentais no que diz respeito à maximização da economia e do lucro:

- os fluxos não devem ter princípio nem fim, e devem ser otimizados através do valor, da qualidade e da performance dos bens materiais;

Os fluxos de bens sem princípio ou fim que fluem num movimento cíclico, são conhecidos como *loops*⁸.

- quanto mais pequeno e lento for o *loop* mais rentável e mais eficiente é a nível de recursos e minimiza perda de material durante o processo;
- sempre que possível os *loops* devem funcionar à escala local e regional evitando os custos e as emissões de GEE associadas aos transportes (Stahel W., 2012).

“Do not repair what is not broken, do not remanufacture what can be repaired, do not recycle a product that can be remanufactured”. (Stahel W. R., 2006, p. 7)

Distinguem-se, assim, dois *loops* dentro dos sistemas circulares: a reutilização e a reciclagem de materiais, componentes e produtos (Bocken, 2017). A reutilização tem o objetivo de prolongar o tempo de utilização dos produtos, através de manutenção, reparação e recuperação (Bocken, 2017). Neste sentido, é caracterizada pela desaceleração do fluxo⁹ de materiais (Bocken, 2017). No segundo fluxo, a reciclagem não influencia a velocidade do fluxo de materiais através da economia, mas contribui para fechar os *loops* dos recursos¹⁰, desta forma a reciclagem marca a entrada do material, componente ou produto num novo ciclo de vida¹¹ (semelhante ou diferente do inicial). (Bocken, 2017).

Ainda introduz uma terceira abordagem, que não está ligada à forma como o fluxo se movimenta, mas sim com a quantidade de matéria que flui nesse fluxo. Visa usar menos recursos por produto, aumentando a eficiência dos recursos baseado na suficiência, desta forma estreitando os *loops*¹² (Bocken, 2017).

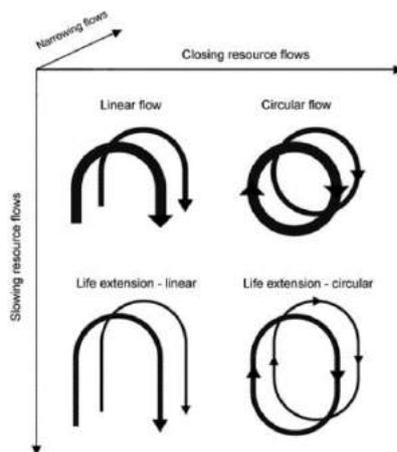


Figura 18 Categorização de abordagens lineares e circulares para reduzindo o uso de recursos. (Bocken, Pauwc, Bakker, & Grintenc, 2017)

⁸ O Termo Loop é definido pelo Dicionário Inglês como “a structure, series, or process, the end of which is connected to the beginning; a shape produced by a curve that bends round and crosses itself.” (Dictionary by Oxford Oxford University Press, s.d.)

⁹ Tradução sugerida pela autora, do original “slowing resource flows”

¹⁰ Tradução sugerida pela autora, do original “closing resource flows”

¹¹ O Ciclo de Vida de um material são todas as etapas, estágios e processos envolvidos durante vida de um produto ou material abrangendo, assim, a extração de matérias-primas, fabricação, uso de produtos, transporte, reciclagem e disposição final. (CALCAS)

¹² Tradução sugerida pela autora, do original “narrowing flows”

1.4. CRADLE TO CRADLE DE BRAUNGART E MCDONOUGH

Braungart e McDonough, no livro *Cradle to Cradle: Remaking The Way We Make Things* fazem uma analogia do “Berço ao Berço” com o modelo circular em oposição ao “Berço ao túmulo” relacionado com o modelo linear. É um conceito de design inspirado na natureza com o objetivo não só de minimizar os impactes das atividades humanas, mas também de deixar uma pegada ambiental positiva (Braungart & McDonough, 2002).

Braungart e McDonough idealizam os resíduos e o desperdício como recursos e estes devem estar inseridos em ciclos contínuos. Os ciclo de materiais e produtos dividem-se de acordo com a sua natureza: os ciclos biológicos - os recursos naturais que são absorvidos e eliminados pela biosfera, e os ciclos tecnológicos - os recursos produzidos pelo homem, que a natureza não tem a capacidade de eliminar (Braungart & McDonough, 2002).

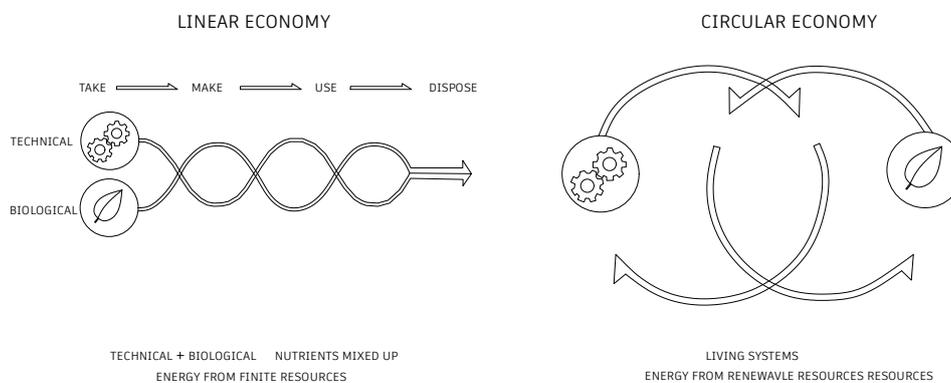


Figura 19 Circulação dos Nutrientes Tecnológicos e Biológicos dentro da Economia Linear e da Economia Circular baseado em (Arup, 2016)

“The first is the biological metabolism, or the biosphere - the cycles of nature. The second is the technical metabolism, or the technosphere - the cycles of industry, including the harvesting of technical materials from natural places. With the right design, all the products and materials manufactured by industry will safely feed these two metabolisms, providing nourishment for something new.” (Braungart & McDonough, 2002, p. 104)

Neste sentido, os materiais dos ciclos tecnológico e biológico são vistos como nutrientes e devem manter-se separados. Cada material ou produto é projetado para retornar ao ciclo a que pertence tendo em conta a eficiência, durabilidade e métodos de desmontagem. Os materiais que não se enquadram nos ciclos referidos são considerados não comercializáveis e perigosos, e devem ser evitados.

Os produtos e os materiais *Cradle to Cradle* são concebidos de forma saudável, sem químicos e substâncias perigosas para a saúde e para o ambiente em prol de manter os sistemas cíclicos seguros. Para além disso, Braungart e McDonough defendem que os produtos e a indústria também devem ter algum tipo de impacte positivo no sistema e não apenas ser menos prejudiciais. Os projetos, as indústrias ou as empresas devem utilizar energia

essencialmente renovável e responder às necessidades de cada local (meio envolvente) ao mesmo tempo que tiram proveito de oportunidades que este oferece. Desta forma idealiza que se deve estabelecer uma relação positiva entre ambos. (Braungart & McDonough, 2002).

“O lixo é um erro do design” (Circular, s.d.)

1.5. INFOGRÁFICO DA ECONOMIA CIRCULAR

O diagrama da Ellen Macarthur Foundation (EMF) ilustra (figura 20) o fluxo contínuo de materiais técnicos e biológicos. É definida uma hierarquia de *loops nos ciclos técnicos*: o primeiro *loop* “manter e prolongar” diz respeito ao *design*, produção e manutenção de um produto ou equipamento com o objetivo de prolongar a sua vida útil durante o seu primeiro ciclo de vida, (Weetman, 2006). Neste *loop*, deve-se sempre priorizar a partilha do mesmo por outros usuários; o segundo *loop* “reutilizar/ redistribuir”, refere-se à utilização repetida de um produto/material (Weetman, 2006); o terceiro *loop* “renovar/remanufaturar”, refere-se à reparação e renovação de um produto na sua totalidade ou parcialmente, e o *loop* reciclar refere-se à transformação total ou parcial de um produto noutros produtos semelhantes ou diferentes, iniciando um novo ciclo de vida (Weetman, 2006).

Nos ciclos biológicos é definida a prioridade do uso em cascata, ou seja, do uso destes materiais para diferentes finalidades (como por exemplo reaproveitar rolhas de cortiça para isolamento de edifícios, e posteriormente para o artesanato), antes de retornarem à biosfera.

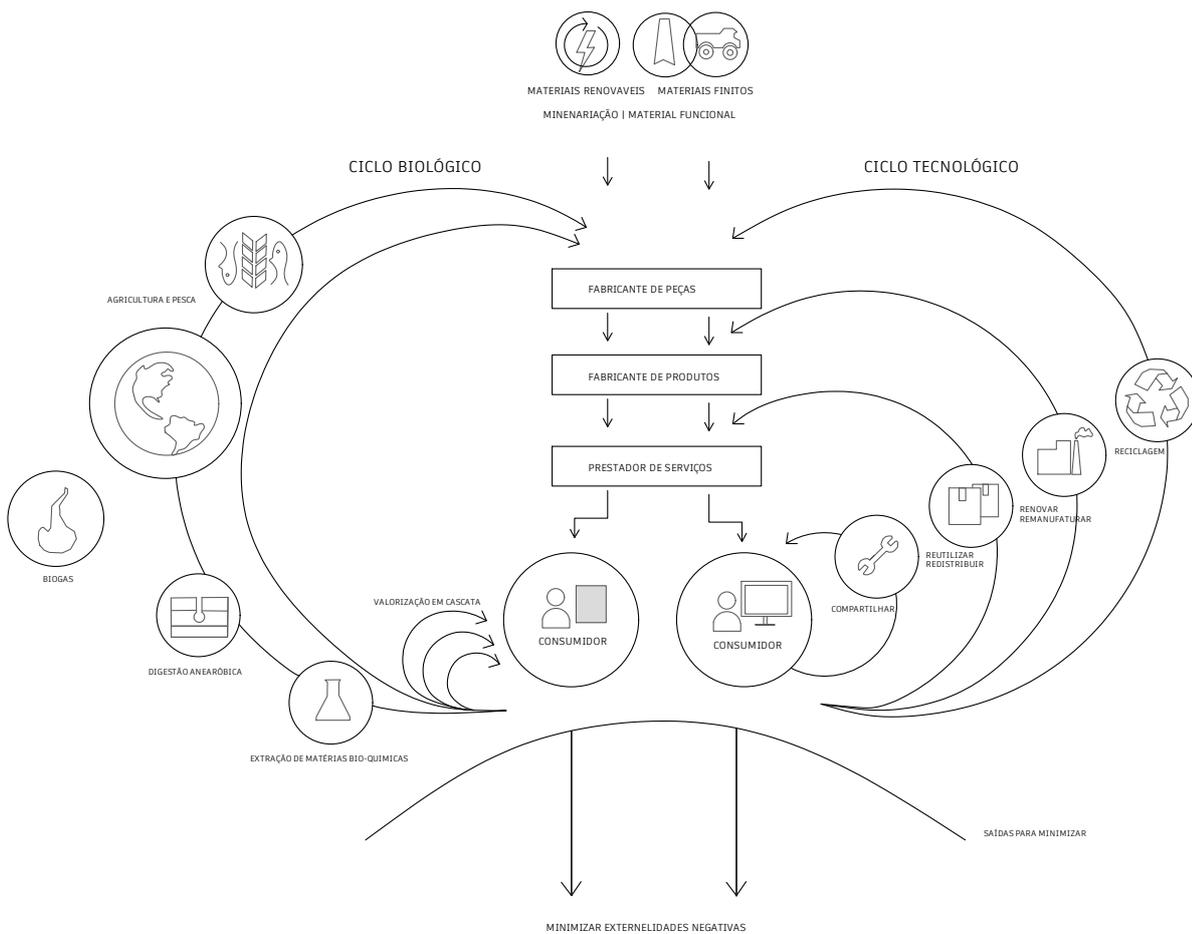


Figura 20 Infográfico da Economia Circular EMF baseado em (Ellen Macarthur Foundation, 2013)

DEFINIÇÕES INFOGRAFICO EFM

Nutrientes técnicos: São todos os materiais que não podem ser processados com segurança pela biosfera e, por isso, devem ser mantidos num ciclo técnico. Se um produto possuir nutrientes técnicos e biológicos devem ser separados e desviados para os respetivos ciclos (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Nutrientes biológicos: São definidos como materiais que podem com segurança retornar ao capital natural e fazer parte da biosfera (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Mineração / fabricação de materiais: A entrada para o ciclo de materiais técnicos consiste na extração de matérias primas, que posteriormente podem ser processadas. Na economia circular essa etapa é minimizada (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Fabricante de materiais / componentes: “São as organizações que usam os materiais básicos, biológicos ou técnicos, para transformá-los em componentes usados para criar o produto”. Exemplos: produtor de farinha; fabricante de motores (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Fabricante do produto: Junta os componentes para construir o produto final. Exemplos: um padeiro ou um fabricante de automóveis (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Prestador de serviços: “Intervém entre fabricação do produto e o usuário / consumidor. Exemplo: revendedor de carros. Na economia de desempenho, o prestador de serviços ganha uma importância mais significativa pois o serviço substitui o produto.” Por exemplo, vender as lavagens de roupa em vez da máquina (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Reutilizar / redistribuir – A reintrodução de um produto na economia com a mesma finalidade e na sua forma original (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Remanufatura: “O processo de desmontagem e recuperação de sub-montagens ou componentes. As peças são retiradas de um produto usado e usadas para a produção de um novo. Este processo inclui garantia de qualidade e aperfeiçoamentos ou alterações nos componentes”. (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Reciclar: “O processo de recuperação de materiais para a finalidade original ou para outros fins, excluindo recuperação de energia”. Os materiais regressam ao ciclo como matéria-prima bruta. Se este processo resulta numa redução da qualidade do material, é conhecido como *downcycling*. Se resultar num aumento, é conhecido por *upcycling*. (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Ciclos biológicos Cascatas: Colocar os materiais biológicos em diferentes usos após o fim da vida útil.

Extração de matéria-prima bioquímica: “Extração de eletricidade ao processar calor de combustíveis, energia e produtos químicos da biomassa”. (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Digestão anaeróbica: “Processo durante o qual microrganismos digerem materiais orgânicos, dando origem a biogás e a um composto fertilizante.” (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Compostagem: “Um processo biológico no qual os micro-organismos transformam os materiais orgânicos num material chamado composto.” (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

Biogás: É um gás biocombustível que resulta da decomposição de matéria orgânica na ausência de oxigénio (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Biosfera: Corresponde a todos os ecossistemas do planeta, incluindo todos os seres vivos e ambientes (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Agricultura / coleta: “A recolha de organismos regenerados na biosfera, seja através da agricultura, caça ou pesca” (Ellen Macarthur Foundation, 2013, p. 25).

As definições foram traduzidas pela Aurora do Inglês do relatório *TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition*, publicado em 2013

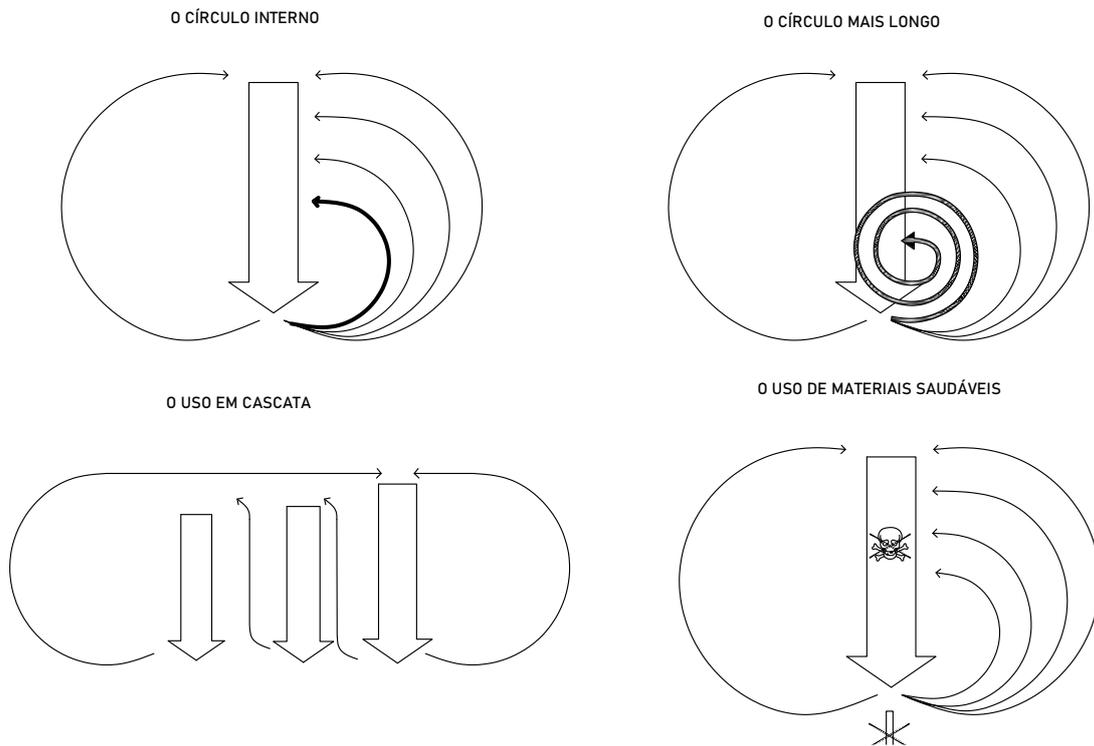


Figura 21 Esquema a representar os 4 princípios para a criação de valor em (Ellen Macarthur Foundation, 2013)

Os princípios da economia circular não oferecem apenas uma visão de como os sistemas devem funcionar, mas também idealizam princípios para a criação de valor. Neste sentido, a Ellen Macarthur Foundation descreve quatro princípios para a criação de valor económico (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

O Círculo Interno: Quanto mais curtos são os círculos menores serão os recursos incorporados (matéria prima, água, energia, mão de obra e capital) no material ou produto, logo serão mais eficientes. De acordo com o infográfico, dentro do ciclo tecnológico, o círculo mais interno, logo prioritário é a partilha e, o mais externo, a reciclagem de materiais e produtos (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

O Ciclo mais Longo: Este princípio é baseado na manutenção de produtos, componentes e matérias como forma de os manter em uso por mais tempo na economia. Este princípio pode ser aplicado de duas formas distintas: através da produção focada no aumento do tempo útil dos produtos e pela manutenção; a segunda diz respeito à reutilização de produtos (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

O uso em Cascata: Ao contrário dos princípios anteriores, este apela à reutilização e reciclagem de produtos com finalidades diferentes, como por exemplo transformar roupas de algodão, em colchas de sofá e, posteriormente, transformá-las num material de isolamento antes de devolvê-lo como nutriente biológico à biosfera (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

O uso de materiais Saudáveis: Este princípio defende que os materiais e produtos do sistema devem ser o mais puros possível e não tóxicos, e os componentes e produtos devem permitir a montagem e a desmontagem. Defende que para cumprir os princípios anteriormente referidos os materiais devem manter uma certa qualidade e pureza na sua composição (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Muitos fluxos de materiais pós consumo (resíduos) estão disponíveis como misturas de vários materiais devido à maneira como os materiais foram combinados para produzir os produtos finais ou a forma como estes fluxos são recolhidos e tratados (o lixo municipal). Como solução, os produtos devem ser otimizados através de melhorias no design original dos produtos - facilidade de separação, melhor identificação de componentes incorporados, redução do acondicionamento de sucata e menor contaminação dos fluxos de material durante a recolha e o transporte (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

De acordo com Catherine Weetman (Weetman, 2006), os *loops* de materiais técnicos representados no diagrama podem ser:

- “loops fechados”, quando um produto no seu fim de vida pode ser remanufaturado e reciclado na organização que inicialmente o produziu, por via de um processo semelhante, dando origem a um produto igual ao inicial;
- “*loops* abertos, dentro do mesmo setor ” um resíduo ou um subproduto de uma produção específica pode ser matéria-prima de outra produção dentro do mesmo setor;
- “*loops* abertos transsetoriais”, quando os subprodutos e os resíduos de um setor são matéria-prima de outro setor industrial.

1.6. ECOLOGIA INDUSTRIAL E SIMBIOSE INDUSTRIAL

Os “*loops* abertos transsetoriais” evocam conceitos como os das ecologia e simbiose industriais. A ecologia industrial é a disciplina que estuda as trocas físicas, químicas e biológicas entre sistemas industriais. Analisa os fluxos de material e energia de um sistema industrial com o objetivo de alterar os processos de produção lineares caracterizados pelo uso de matéria prima e produção de resíduos. Inspira-se nos ecossistemas naturais e nos seus processos metabólicos como forma de estabelecer indústrias mais sustentáveis conectadas a uma estrutura maior que promove trocas benéficas entre elas e o meio. Centra-se sobretudo na redução do uso de recursos, de energia e de carbono, na valorização de resíduos e subprodutos, no planeamento e avaliação do ciclo de vida dos produtos e na ecoeficiência (Garner & Keoleian, 1995).

De acordo com o *World Business Council for Sustainable Development*, a ecoeficiência é a razão entre o valor do que foi produzido e os impactes associados a um produto ou serviço. Esta é obtida pela redução do consumo de recursos e dos impactes ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto¹³, ao mesmo tempo que garante as necessidades humanas e oferece bens e serviços com preços competitivos. “*Creating more value with less impact.*” (Business Council for Sustainable Development, 2000, p. 1).

A simbiose industrial é um conceito emergente no âmbito da Ecologia Industrial e é definida por Chertow como “indústrias tradicionalmente separadas, mas com proximidade geográfica, que em coletivo possuem uma abordagem competitiva que envolve a troca física de materiais, energia, água e subprodutos”¹⁴ (Chertow, 2000, p. 314).

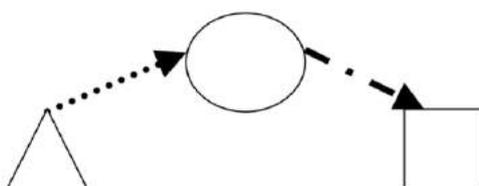


Figura 22 Exemplo de uma simbiose 3-2 que envolve 3 entidades e a troca de 2 recursos (Chertow, 2017)

¹³ Os impactos do ciclo de vida de um determinado material/produto são quantificados pela metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV), regulada em Portugal pelas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010. São avaliadas as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*), de recursos, resíduos, subprodutos, energia e poluentes durante todo o ciclo de vida do material abrangendo a extração de matérias-primas, fabricação, uso de produtos, transporte, reciclagem e disposição final. Permite obter uma visão global dos impactos associados e aponta opções de melhorias do ponto de vista ecológico e económico (CALCAS, sd.).

¹⁴ Tradução sugerida pela autora do original “The part of industrial ecology known as industrial symbiosis engages traditionally separate entities in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and by-products.” (Chertow, *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*, 2000, p. 314)

De acordo com Chertow, a simbiose industrial deve envolver pelo menos três entidades, e devem ser partilhados pelo menos dois recursos diferentes. Neste sentido, a troca de recursos pode ser ao nível da reutilização de materiais (troca de subprodutos e resíduos de uma empresa como matéria-prima de outra), da partilha de infraestruturas (a partilha da infraestrutura energética ou de saneamento) e/ou da partilha de serviços (transportes, limpeza ou fornecimento de alimentos) (Chertow, “Uncovering” Industrial Symbiosis, 2017).

Um dos pioneiros deste conceito foi o parque eco-industrial de Kalundborg na Dinamarca a funcionar desde 1972. Atualmente permite mais de 30 trocas de água, energia e subprodutos (Eco.nomia, s.d) entre empresas do setor de energia, refinaria de petróleo, farmacêutica, produção de placas gesso, entre outros. A eficiência da produção é maximizada assim como os custos associados. Promove uma gestão adequada dos resíduos através de fluxos contínuos à escala local, as trocas de resíduos somam valores superior a 2.9 milhões de toneladas por ano, e poupanças superiores a 25% no consumo de água (Chertow, 2017).

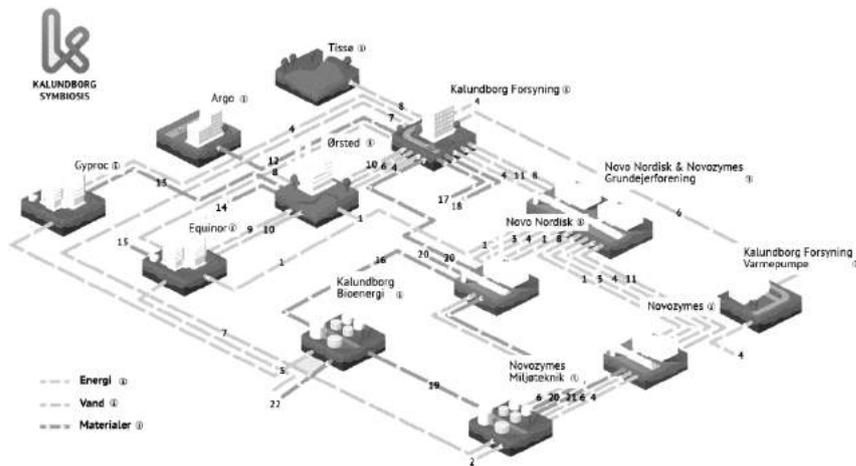


Figura 23 Mapa das trocas de energia, água e material entre as empresas do parque eco-industrial da simbiose Kalundborg, na Dinamarca. Imagem: Energy Crossroads

1.7. ESTRATÉGIAS DE DESIGN PARA MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES

A mudança para um modelo económico circular abrange muitos setores e áreas de impacto e para se definirem estratégias que facilitem esta transição é necessário compreender as características de desempenho do modelo de economia circular, ou seja, compreender que os materiais fluem de forma cíclica na economia sem nunca perder valor. Todos os processos são alimentados por energias renováveis e os recursos hídricos são geridos de forma circular. As empresas procuram soluções para regenerar ecossistemas e contribuir para a biodiversidade, assim como assegurar a saúde e o bem-estar de todos os seres vivos incluindo humanos e as suas culturas e costumes (Kubbinga, et al., August 2018).

De acordo com Nancy Bocken et al, um modelo de negócios é a forma como a empresa define a sua estratégia competitiva através do design do produto ou serviço, custos de produção e métodos de venda. As inovações do modelo de negócios para a sustentabilidade apoiadas na ecoeficiência e na economia circulares vão contribuir significativamente para a redução da energia, intensidade de recursos, emissões e resíduos. (Bocken, Curta, & Evans, 2014).

Com base nos conceitos de Walter Stahel, de Braungart e McDonough, da Ellen Foundation Marcartur e Nancy Bocken, é possível identificar 4 estratégias fundamentais para a transição: regenerar ecossistemas, estreitar fluxos, desacelerar fluxos e fechar fluxos.

A primeira estratégia, Regenerar Ecossistemas, engloba as estratégias que têm como objetivos restaurar e regenerar a saúde dos ecossistemas e comunidades, promovendo relações benéficas entre as indústrias/empresas e o meio, e devolver com segurança todos os nutrientes biológicos à natureza, excluindo substâncias tóxicas e outros poluentes. Desta forma, os governos e as organizações estão focados em modelos de gestão que refletem a diversidade da sociedade e culturas humanas (Kubbinga, et al., August 2018). Todas as atividades humanas não estão apenas centradas no retorno financeiro, mas também numa série de outros valores como o estético, o emocional e o ecológico (Kubbinga, et al., August 2018). Engloba, ainda, a troca de energia não renovável por energia renovável e o uso sustentável da água. Preferencialmente o consumo de energia e água deve corresponder à disponibilidade de energia e água local (EFM, 2005).

A segunda estratégia, estreitar fluxos, diz respeito a usar menos recursos para produzir mais e com melhor desempenho. Baseia-se sobretudo na ecoeficiência. Nesta perspetiva, tem como objetivo minimizar o uso de materiais, de elementos tóxicos e de energia durante a cadeia de fornecimento, ao mesmo tempo que garante a qualidade dos produtos e serviços. A virtualização de serviços substituindo produtos físicos por serviços virtuais, como por exemplo, o trabalho online, venda de e-books, em vez de livros, e a introdução de novas tecnologias nos métodos de produção são instrumentos fundamentais para a aplicação desta estratégia (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).

A terceira estratégia, desacelerar fluxos, promove o prolongamento da vida útil dos produtos e bens através da manutenção, reparação e reutilização. Englobam modelos de

negócio focados no prolongamento da vida útil dos produtos, modelos de negócio baseados na economia de serviços funcionais, e modelos de negócio que promovam a extensão do valor dos produtos (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).

Os modelos de negócios com foco no prolongamento da vida útil dos produtos através do design para a durabilidade e reparação, desta forma são oferecidos produtos que reúnam todas as condições para que os usuários os mantenham pelo maior tempo possível, com serviços de alta qualidade. Normalmente, estes modelos de negócio permitem a criação de relações a longo prazo com o cliente (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).

Os modelos de negócio de desempenho ou de serviços funcionais baseiam-se em vender um serviço e não um bem físico, permitindo que as empresas sejam detentoras dos produtos (stocks) durante todo o seu ciclo de vida assegurando a sua manutenção. A receita é obtida por unidade de serviço (Bocken, Short, & P. Rana, 2016). Os exemplos mais comuns deste modelo são as lavandarias e o aluguer de automóveis (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).

Os modelos de negócio com o objetivo de aumentar o valor dos produtos focam-se na recuperação e na reutilização de produtos pós-uso, ou seja, quando estes apresentam o menor valor possível devolvendo-lhes a utilidade e valor igual ou superior ao inicial. As empresas podem recuperar os seus próprios produtos através da criação de uma rede de recolha e incentivos monetários como descontos pela devolução de objetos usados. Ou Empresas especializadas apenas na reparação e na revenda de produtos pós-consumo.

A quarta estratégia, fechar fluxos, tem como principal objetivo captar valor de subprodutos, desperdício e resíduos. Estes modelos podem estar focados em:

- Estender o valor dos recursos/resíduos: focam-se na recolha de recursos sem valor transformando-os em novos produtos por meio da reciclagem. É importante garantir que os materiais do ciclo biológico e tecnológico possam ser separados sem comprometer a sua futura introdução no ciclo (Bocken, Short, & P. Rana, 2016). Esta estratégia, à semelhança da estratégia de extensão de valor de produtos, pode ser aplicada em diferentes escalas desde a escala da empresa de produção, até à escala da cidade através de uma rede de valorização e distribuição regional, como é o caso da reciclagem de sucata de aço e alumínio (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).
- Na criação de simbioses industriais (partilha de plataformas e recursos):

À semelhança da estratégia de desacelerar fluxos com o objetivo de aumentar o valor dos produtos, as estratégias de fechar fluxos são impulsionadas pela lei da Responsabilidade Alargada ao Produtor, estabelecida em Portugal no artigo 10º do decreto de lei 73/2011 de 17 de junho. Aqui, é definida a obrigatoriedade da responsabilidade dos impactes ambientais ao longo do ciclo de vida do produto por parte da empresa que o produziu (Bocken, Short, & P. Rana, 2016).

Os instrumentos políticos podem ser importantes impulsionadores para a aplicação destas estratégias e das mudanças que estas trazem à sociedade.

Tabela 1 Estratégias para Regenerar, Estreitar, Desacelerar e Fechar fluxos baseado em (Bocken, Short, & P. Rana, 2016)

REGENERAR ECOSISTEMAS	ESTREITAR FLUXOS	DESACELERAR FLUXOS	FECHAR FLUXOS
Garantir a Saúde e o Bem-estar dos Ecossistemas e Comunidades	Criar mais com Menos Recursos	Aumentar o tempo de Vida dos Produtos	Inserir produtos em ciclos contínuos
<ul style="list-style-type: none"> - Relações benéficas entre empresas e o meio - Busca de valor financeiro, estético, emocional e ecológico - Troca de Energias Não Renováveis para Energias Renováveis - Eliminar substâncias tóxicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de produção com baixo consumo de carbono - Uso de Recursos Locais - Ecoeficiência - <i>Lean Manufacturing</i>¹⁵ - <i>Addictive Manufacturing</i>¹⁶ - Virtualização de Serviços e Produtos - Desmaterialização de Serviços - Aumento da funcionalidade por produto (multifuncionalidade) - Análise do Ciclo de Vida 	<ul style="list-style-type: none"> - Design para a Durabilidade e Manutenção - Produtos e Materiais de alto desempenho - Serviços que pretendem de forma ativa influenciar o consumidor, como garantias de reparo e manutenção de produtos - Responsabilidade Alargada do Produtor - Venda de Serviços em vez de Bens físicos - Partilha de objetos Usados - Linha de Produção focada na reutilização de componentes usados - Rede Robustas de Recolha e Armazenamento de Materiais Usados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Design para a desmontagem e montagem de produtos, como forma de garantir que os materiais do ciclo biológico e tecnológico possam reentregar os seus ciclos - Responsabilidade Alargada do Produtor - Linha de Produção focada na reciclagem de resíduos e subprodutos e obtenção de valor dos resíduos - Simbioses Industriais

¹⁵ *Lean Manufacturing*, é um conceito introduzido após a 2ª Guerra Mundial pela empresa Toyota no Japão, é uma filosofia de gestão que se foca na qualidade e durabilidade dos produtos, na redução tempo de espera, transporte, excesso de processamento e desperdício de produção (Bocken, Short, & P. Rana, 2016)

¹⁶ *Addictive Manufacturing*: produção industrial a partir de Impressão 3D, este método otimiza o uso de recursos, gerando menos desperdício em comparação com a manufatura tradicional. (Bocken, Short, & P. Rana, 2016)



Figura 26 As malas de Elvis & Kresse, feitas 100% de mangueiras de incêndio usadas. (Baker-Brown, 2017)



Figura 24 A empresa Bueo fabrica skates, a partir de redes de pesca usadas. (Baker-Brown, 2017)



Figura 25 A empresa emov disponibiliza 150 veículos Citroën C-Zero, 100% elétricos em regime de *free-floating*, Operam em Lisboa desde 2018. (Revista Veículos Elétricos, 2018)

1.8. POLÍTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS E PLANO DE AÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR

As políticas relacionadas com a proteção ambiental evoluíram exponencialmente nas últimas décadas. Na Cimeira de Paris de 1972 foi referida pela primeira vez a necessidade de políticas ambientais. Como resultado, em 1973 surgiu o 1º Programa em matéria de Ambiente (PAA) da Comunidade Europeia, onde constavam princípios e preocupações com o sobre uso sustentável e recursos (Ferrão, et al., 2014) (Lemos, 2018).

Na época, a economia e a indústria adotavam estratégias ambientais com foco na remediação de danos causados pelos processos de produção e não na prevenção. As primeiras políticas de gestão de resíduos regulavam essencialmente a deposição final dos resíduos e incentivavam estratégias para tratamento e gestão por parte das indústrias mais poluidoras (Ferrão, et al., 2014) (Lemos, 2018) (Lemos, 2018).

Os PAA que se sucederam (2º e 3º; 1977 e 1986) marcaram uma consciencialização sobre os impactes ambientais associados à atividade humana e à noção de que as estratégias até então adotadas tinham um alcance a curto prazo. Desta forma o conceito de prevenção começou a ganhar destaque. Em 1987, o Ato Único Europeu consagrou a proteção do ambiente como um objetivo europeu (Ferrão, et al., 2014) (Lemos, 2018).

No entanto, só em 1989, no 4º PAA, a política de gestão de resíduos sofre mudanças significativas, desencadeada pelo conceito emergente da época, o Desenvolvimento Sustentável¹⁷, onde se estabeleceram as bases estratégicas europeias baseadas na hierarquia de gestão de resíduos e nos princípios da proximidade e autossuficiência (Ferrão, et al., 2014) (Lemos, 2018).

O 5º PAA (1993) refletiu a Conferência do Rio¹⁸, na qual ficou estabelecido que o desenvolvimento sustentável era objetivo prioritário da União Europeia. Este transpunha soluções inovadoras em várias matérias do ambiente destacando-se o alargamento da responsabilidade da gestão de resíduos, em particular aos fabricantes dos produtos, este conceito ficou conhecido como Responsabilidade Alargada ao Produtor¹⁹. Como consequência, foram definidos mais tarde fluxos prioritários de resíduos, classificados de acordo com a sua quantidade e perigosidade (Ferrão, et al., 2014) (Lemos, 2018).

¹⁷ Definido pela primeira vez no Relatório Brundtland, o Nosso Futuro Comum, publicado em 1987, o conceito é definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras. Desta forma apela que se atinja um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico com o uso eficiente dos recursos e preservando as espécies e os habitats naturais. (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987)

¹⁸ A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada de 3 a 14 de junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro, no Brasil, foi lançada a Agenda 21, cujo capítulo 4 é dedicado à alteração dos padrões de consumo defendendo uma aposta no uso eficiente dos recursos, na redução da produção de resíduos e na reciclagem (Lemos, 2018).

¹⁹ Determina a responsabilidade da gestão dos seus produtos em fim de vida e o cumprimento de metas de recolha, reciclagem e outras formas de valorização aos Produtores (Lemos, 2018).

O 6º PAA foi um marco para uma mudança de paradigma na gestão de resíduos e para a visão circular deste setor. Neste documento, os resíduos passaram a ser considerados saídas do sistema económico, desta forma, “a gestão de resíduos constitui parte do ciclo socioeconómico dos materiais devendo integrar a sua gestão global” (Lemos, 2018) (Ferrão, et al., 2014).

No 7º PAA (2013), são apontadas as linhas orientadoras no que toca à política de ambiente da UE até 2020. O foco é o reforço da resiliência da EU, através de uma economia verde sustentável, eficiente em termos de recursos e de baixo carbono (Lemos, 2018).

A Diretiva-quadro em matéria de resíduos (Diretiva n.º 2008/98/CE, de 19 de Novembro) atualmente em vigor é a peça legislativa que transpõe todos os conceitos até então discutidos, desta forma defende a redução dos impactes ambientais, o reforço da prevenção dos resíduos, a introdução de uma abordagem que considere todo o ciclo de vida dos produtos e materiais (e não apenas a fase de produção de resíduos) (Lemos, 2018).

Em Portugal, a gestão de resíduos é orientada pelo Regime geral de Resíduos definido pelo decreto-lei nº78/2006, de 5 junho e vários planos específicos como o plano estratégico para os resíduos urbanos (PERSU), e o plano estratégico para a gestão dos resíduos industriais (PERSI) (IST, APA, 2014).

As políticas de resíduos abrangem as etapas de prevenção, produção e gestão destes fluxos (IST, APA, 2014).

O Regime Geral de Resíduos português descreve quatro princípios que importa salientar: o princípio de Hierarquia de Resíduos, o Princípio de Autossuficiência e da Proximidade, Princípio da Responsabilidade pela Gestão dos Resíduos e o Princípio de Equivalência.

O Princípio de Hierarquia de Resíduos, definido pelo artigo 7º define como primeira etapa a prevenção e a redução de resíduos; quando esta não é suficiente, deve-se recorrer à segunda etapa, a reutilização dos resíduos; só em último lugar se deve recorrer à terceira etapa, a reciclagem. Só no caso de nenhuma das etapas anteriores ser aplicável é que o resíduo deve ser eliminado (IST, APA, 2014).



Figura 27 Hierarquia de resíduos, Fonte: Plano Nacional de Gestão de Resíduos para o horizonte 2014-2020

A eliminação do resíduo e a sua fase de tratamento é considerada o fim do ciclo de vida, portanto, este princípio pretende ser uma ferramenta para sempre que possível dar

continuidade ao ciclo do material evitando que este se torne um resíduo e garantindo uma maior eficiência e utilização de recursos naturais (IST, APA, 2014).

O Princípio da autossuficiência e da proximidade, definido no artigo 4º define que as operações de tratamento devem acontecer em instalações apropriadas e em território português de acordo com critérios de proximidade. Desta forma, pretende que os resíduos sejam tratados no âmbito regional, num raio mais curto possível como forma de tornar mais eficientes as redes de gestão e reduzir os impactes associados ao transporte.

O Princípio da Responsabilidade pela Gestão dos Resíduos, definido no artigo 5º, atribui a responsabilidade ao produtor e aos municípios. Nos casos em que o produtor não é identificado a responsabilidade recai sobre o detentor. As responsabilidades atribuídas são extintas quando os resíduos são transmitidos às entidades gestoras destes fluxos. Deste modo, define uma obrigatoriedade por parte das empresas e indústrias em adotar estratégias e planear os seus próprios fluxos de resíduos.

O Princípio de equivalência definido pelo artigo 10º transpõe o conceito de poluidor-pagador e define a “obrigatoriedade da compensação tendencial dos custos sociais e ambientais que o produtor gera à comunidade ou dos benefícios que a comunidade lhe faculta” (PNGR, 2011, p. 15). Assim, atribui a obrigatoriedade das empresas e indústrias compensarem monetariamente os impactes que estas exercem sobre o ambiente, como incentivo para adoção de uma estratégia de produção mais limpa, eficiente e sustentável.

Em 2015, a União Europeia adotou um plano de ação para ajudar a acelerar a transição da Europa para uma Economia Circular, impulsionado por desafios internacionais como o Acordo de Paris e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Assim, são estabelecidas 54 medidas em prol da criação de fluxos de materiais e produtos, e cinco fluxos prioritários, entre eles os plásticos e os resíduos de construção e demolição (Europeia, 2015).

Para além do Plano de Ação para a Economia Circular (PAEC) Europeu, a União Europeia criou mais três instrumentos políticos para a circularidade: a Estratégia Industrial 2030, que incide sobre as simbioses industriais, uso eficiente de recursos, bio economia e materiais críticos; a Diretiva Plásticos; e as Estratégias para a Bio Economia Circular (República Portuguesa e PAEC, 2018).

O Plano para a Economia Circular (PAEC) em Portugal surge em seguimento do Plano de Economia Circular Europeu. Segundo o PAEC, Portugal apresenta um metabolismo lento e uma economia tendencialmente acumulativa, ou seja, exporta e importa mais matérias primas do que exporta produtos acabados (estes stocks acumulados são sobretudo imobiliários (edifícios e infraestrutura). Para além disso, a indústria nacional tem uma grande dependência de combustíveis fósseis e de recursos externos, como já referido. Segundo o estudo “Sinergias Circulares – Desafios para Portugal”, se os resíduos não urbanos eliminados em Portugal em 2015 (1,1 milhões de toneladas) tivessem retornado à cadeia produtiva, resultaria numa redução de 165 milhões de euros em consumos intermédios, um aumento do valor acrescentado bruto (VAB) de 32 milhões de euros, um aumento de 1300 empregos e uma

redução superior a cinco milhões de toneladas de extração doméstica de materiais (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017, 2017).

Neste sentido, são apresentados três níveis de operacionalização (nacional, setorial e regional)” (Eco.nomia, POLÍTICAS, 2018) e os instrumentos essenciais para atingir a economia circular:

- “o *design*”: a conceção de produtos em prol da circularidade é possível não só através do conhecimento dos *designers*, dos arquitetos e dos engenheiros, mas também da experiência de quem “instala, repara e transporta” e através do investimento em novas tecnologias e novos modelos de negócio;
- “os ciclos reversos”, garantindo o retorno dos produtos e dos componentes ao seu produtor, como por exemplo, a simbiose industrial e o uso de matérias em cascata.
- “promotores/contexto favorável”, a criação de instrumentos e mecanismos de financiamento e instituições educativas (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017, 2017).

O plano de ação da economia circular portuguesa ambiciona até 2030 a redução da deposição em aterro de resíduos urbanos biodegradáveis para 10%, aumentar para 65% a reciclagem dos resíduos urbanos e aumentar para 85% a reintrodução de produtos na economia. Os resíduos de construção e demolição, considerados um fluxo prioritário pela União Europeia, terão de atingir 70% de valorização em 2020 de acordo com Diretiva-Quadro “Resíduos” (2008/98/CE).

As diretivas da União Europeia (UE) 2018/849, (UE) 2018/850, (UE) 2018/851 e (UE) 2018/852), estipuladas em maio de 2018, resultado das “negociações interinstitucionais entre o Parlamento e o Conselho” vieram redefinir metas comuns, para além das metas já definidas no PAEC em Portugal. Destacam-se a da necessidade de definir metas concretas “para promover a reutilização e estipular a simbiose industrial, transformando um subproduto de uma indústria em matéria-prima para outra indústria”, a “necessidade de regimes obrigatórios de responsabilidade alargada do produtor para levar os produtores a colocarem produtos mais ecológicos no mercado e a apoiarem regimes de valorização e reciclagem” e a obrigatoriedade de em 2030 todas as garrafas de plástico possuírem no mínimo 30 % de conteúdo reciclado (Parlamento Europeu, 2019).



Peter Zumthor Swiss Sound Box (2000) (Baker-Brown, 2017). O pavilhão foi construído com cerca 144km de madeira. Toda a madeira utilizada para o pavilhão é de origem suíça. Montada sem o uso de cola, pregos ou parafusos, a madeira foi cuidadosamente empilhada e fixada com cabos de aço e molas. No final da exposição a madeira foi desmontada e vendida para muitos outros projetos de construção e fabricação. O edifício passou de pavilhão a fornecedor de materiais Photos © Roland Halbe.

II. CIRCULARIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO E NA CONCEÇÃO DE ESPAÇO ARQUITETÓNICO

A Indústria da Construção é um dos maiores setores industriais, correspondendo a 10% do Produto Interno Bruto da União Europeia, e responsável por 20 milhões de empregos; tem, portanto, um papel fundamental para o desenvolvimento da economia, e na transição para uma economia circular (Comissão Europeia, 2012).

Atualmente, é o setor que consome mais recursos virgens e o setor responsável por mais de um terço de energia consumida no mundo (Arup, 2016). Na Europa, segundo a Direção-Geral da Energia da Comissão Europeia, os edifícios são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO₂, tornando-os o maior consumidor de energia na Europa (European Commission, Department: Energy, 2020). Acrescenta-se, ainda, que 5 a 10% do consumo total de energia na União Europeia está associada à produção de produtos de construção (Comissão Europeia, 2012).

Estima-se que um terço dos resíduos gerados na União Europeia são resíduos de Construção e Demolição, cerca de 850 milhões de toneladas de RCD são gerados por ano (Sáez & Osmanib, 2019). Apesar da Diretiva-Quadro de Resíduos 2008/98/CE exigir que se recicle 70% dos resíduos de construção e demolição até 2020, a maioria dos Estados-Membros recupera menos de 50% de RCD, os restantes são depositados em aterro (Comissão Europeia, 2018).

O desperdício e os impactes deste setor estão ligados à abordagem linear, que privilegia a produtividade económica e o uso descartável de materiais resultando na extração intensiva de novos recursos, consumos energéticos intensivos, grandes quantidades de resíduos e poluição e conseqüentemente elevadas perdas de stock de material valioso.

O impacto exercido pelo ambiente construído sobre o ambiente natural enfatiza a necessidade de uma mudança completa e integrada no setor. Nesta transição, é necessário considerar todas as fases do ciclo de vida dos edifícios (projeto, planeamento, construção, uso e desconstrução), desta forma abrange uma rede complexa de relações e intervenientes (Kubbinga, et al., August 2018). Acrescenta-se ainda que os edifícios são entidades complexas, pois são entidades únicas construídas com materiais, cada um com o seu ciclo de vida específico, e todos eles interagem dinamicamente no espaço e no tempo (Pomponi & AliceMoncaster, 2017).

Segundo Kubbinga et al, o edifício circular é um edifício construído, usado e reutilizado com responsabilidade económica; sem recursos desnecessários, e contribui para o bem-estar das pessoas e da biosfera. Todos os materiais e produtos são usados para agregar valor antes, durante e após o uso. Os elementos biológicos são devolvidos com segurança ao ciclo biológico e os elementos técnicos são reintroduzidos em ciclos de uso através da reutilização e da reciclagem (Kubbinga, et al., August 2018).

A necessidade de projetar e construir usando recursos locais disponíveis, saudáveis e renováveis e de desenvolver sistemas de circuito fechado, resultam em novas estratégias de

design, novas linguagens arquitetônicas e um redesenho da indústria de construção (indústria de materiais, serviços, abastecimento, tratamento de resíduos e transporte), como demonstrado na figura 29 (Beurskens & Bakx, 2015) (Arup, 2016).

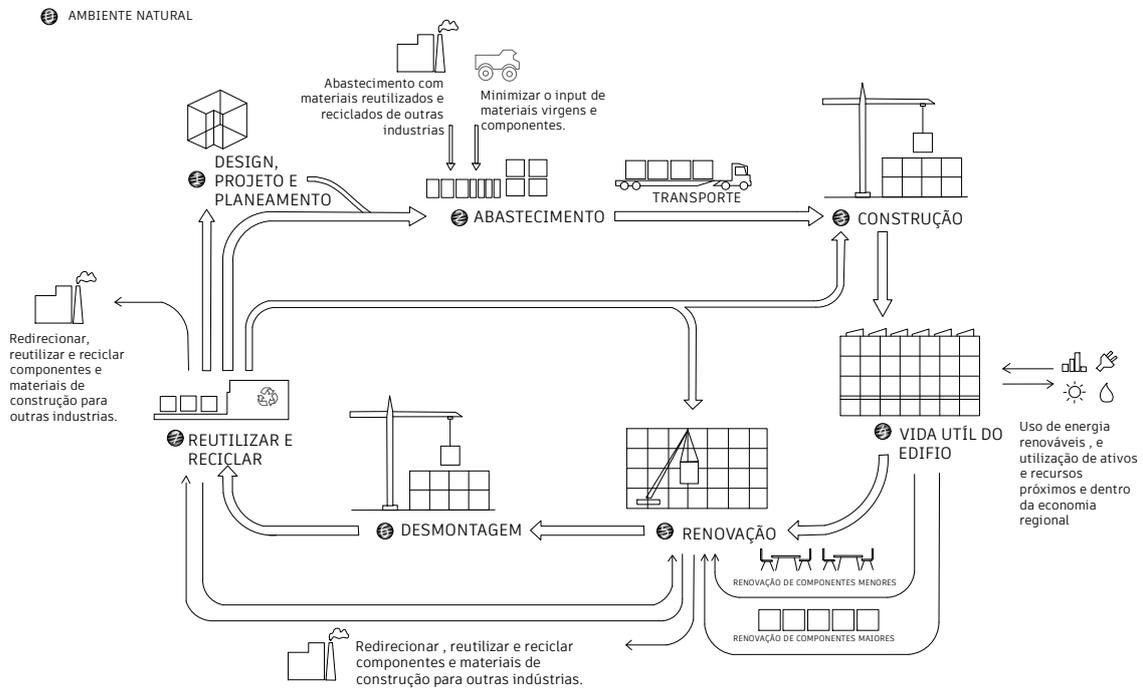


Figura 28 Etapas do Ciclo de Vida de Um edifício Circular e dos Seus Componentes (EY-AM&A; 3Drivers, 2018) (Arup, 2016)

CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO CIRCULAR E DOS SEUS COMPONENTES

0 - Ambiente construído – O reconhecimento que o ambiente construído é parte integrante da biosfera. Assim, o edifício circular é concebido em perfeita harmonia com meio natural e o meio construído, e as particularidades do local são potenciadas ao máximo nas escolhas de projeto (Arup, 2016).

1 - Design, Projeto e Planeamento: Os projetos passam a ser concebidos tendo em conta todo o ciclo de vida do material. A conceção do espaço arquitetónico para além de encontrar uma relação harmoniosa entre as vivências humanas e o espaço, é projetado para se adaptar às necessidades dos ocupantes e antever alterações funcionais futuras (alterações de programa, aumento do espaço de trabalho, acrescento de quartos). Desta forma, as escolhas de projeto passam a promover a desmontagem, reutilização e reconfiguração do edifício e os seus componentes. Os processos de design passam a considerar a eficiência energética, o design passivo e o desperdício de material (Arup, 2016).

2- Abastecimento: A extração de matérias primas é reduzida ou eliminada, os recursos são obtidos por *loops* de reutilização e reciclagem ou de origem biológica. Para o efeito, é necessária uma rede de recolha, armazenamento e distribuição eficiente na cidade ou na região direcionada para o mercado de reutilizáveis e recicláveis (Arup, 2016).

3- **Construção** As técnicas de construção são otimizadas em prol da redução de desperdícios, como por exemplo a pré-fabricação e a fabricação de componentes fora do estaleiro (Arup, 2016).

4- **Vida Útil do Edifício:** A fase de uso está diretamente ligada à capacidade de o edifício reter os fluxos de recursos, ou seja, os recursos que o edifício consome e produz (água, energia, resíduos). O utilizador do edifício tem um papel significativo na gestão destes fluxos como o uso de energia para aparelhos, o uso da água (...), contudo, a conceção do espaço arquitetónico pode influenciar positivamente os hábitos de consumo (Kubbinga, et al., August 2018). Todos os edifícios e estruturas serão projetados com altos padrões de eficiência, minimizando os impactes ambientais, como por exemplo a utilização de luzes led. Também inclui a gestão de ciclos internos circulares, como captura e filtragem de água. (Arup, 2016)

5- **Renovação** -O edifício passa a ser uma entidade mutável e dinâmica ao contrário dos edifícios convencionais, construídos como estruturas estáticas e rígidas. Desta forma, são entidades adaptáveis, desmontáveis e reconfiguráveis. Estão abertas a constantes renovações e atualizações sem que seja necessário grandes operações e novos recursos (Arup, 2016).

6 - **Desmontagem:** As atuais práticas de demolição são descontinuadas. No final da vida funcional do edifício, o stock de material deve ser libertado e reinserido noutra ciclo de uso (Arup, 2016). Os modelos BIM e outras plataformas, como o passaporte de materiais, permitem que as partes interessadas identifiquem os materiais em condições para a reutilização e reciclagem (Arup, 2016)

7- **Reutilizar e Reciclar:** O ambiente construído circular mantém no máximo de tempo possível os materiais em uso no valor mais alto. Desta forma, os recursos circulam segundo a hierarquia defendida por Stahel e presente no Info gráfico da EFM: *“Do not repair what is not broken, do not remanufacture what can be repaired, do not recycle a product that can be remanufactured”*.

8 - **Redirecionar:** Cada material, elemento e componente é monitorizado ao longo do seu ciclo de vida e registado nos modelos BIM; este sistema permite obter informações acerca de cada componente do edifício facilitando operações de renovação e manutenção e posteriormente a sua gestão enquanto resíduo. As redes de valor estabelecidas garantem que todos os componentes sejam utilizados adequadamente não só dentro do setor da construção, mas como também em outros setores, minimizando o valor perdido e garantindo vários ciclos em cascata (Arup, 2016).

Pode-se concluir que a transição global do Ambiente Construído se divide em duas vertentes estratégicas:

- as estratégias do domínio do design e do projeto da arquitetura, essenciais para que os restantes estágios da vida do edifício possam operar de forma circular (etapa1).
- as estratégias para o setor industrial da Construção, que diz respeito às estratégias de operação da indústria: recolha, rede de transporte, mercados de reutilização e reciclagem e modelos de negócio (restantes etapas).

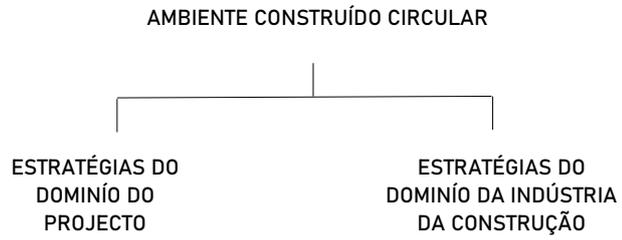


Figura 29 Fotografias que ilustram a dicotomia ente a fase de projeto e a fase de construção (Arup, 2016).

2.1. ESTRATÉGIAS DO DOMÍNIO DO PROJETO DE ARQUITETURA E DESIGN

De acordo com a EMF, deve-se adotar um pensamento sistémico para atingir uma economia circular, ou seja, compreender qual é a relação de cada parte com o todo e a relação do todo com cada parte num sistema. Mas quando se fala do ambiente construído ou num edifício circular, não existe uma distinção clara de como é que as estruturas dinâmicas e complexas que os compõem se podem dividir em partes de um sistema (Beurskens & Bakx, 2015).

Alguns teóricos como (Pomponi & AliceMoncaster, 2017) (Ghisellinia, Cialanib, & Ulgiaticd, 2016), defendem que o ambiente construído circular do ponto de vista sistémico pode-se dividir em três níveis de acordo com a sua escala (figura 31) :

- A micro, corresponde aos componentes de construção.
- A meso, corresponde aos edifícios. Relaciona-se com a adoção de estratégias de design circular, à fase operacional e fim de vida dos Edifícios.
- A macro, corresponde à cidade e regiões, relacionada com metabolismo urbano e com o tema da eco-cidade ²⁰. Neste sentido, envolve o desenho do sistema industrial, o sistema de infraestrutura e o sistema social e cultural da cidade (Pomponi & AliceMoncaster, 2017) (Ghisellinia, Cialanib, & Ulgiaticd, 2016). Os fluxos de recursos são interligados com escalas maiores no meio urbano, beneficiando de sinergias urbanas criando relações entre o edifício, as indústrias e a cidade (Kubbinga, et al., August 2018).

²⁰ O conceito de Eco Cidade nasceu nos anos oitenta nos EUA, num dos primeiros grupos preocupados com o impacto dos aglomerados urbanos no ambiente, fundado por Richard Register na Califórnia. (A.N.Sarkar, 2011).

Uma eco- Cidade é uma cidade saudável onde os humanos prosperam em harmonia com a natureza em prol de um desenvolvimento sustentável. É necessária uma abordagem ecológica sobre fatores económicos, políticos e socioculturais da cidade. Inclui disciplinas como: • Segurança ecológica: ar e ambientes limpos; recursos (água, alimentos) seguros e confiáveis. • Saneamento ecológico: engenharia ecológica eficiente e infraestruturas robustas e concisas para tratamento de resíduos e outros outputs humanos como águas cinzentas e a sua gestão circular. • Metabolismo industrial ecológico: setor industrial focado na conservação de recursos e proteção ambiental, na reutilização e partilha de recursos. • Integridade ecológica: a biodiversidade e a acessibilidade da cidade são otimizadas através de uma panóplia de estruturas construídas como parques, praças, ruas e zonas verdes. Deste modo diminuem a poluição do ar, deterioração hidrológica, efeitos de ilhas de calor e aquecimento global. • Consciência ecológica: os cidadãos compreendem que fazem parte da natureza e conservam a identidade cultural e ambiental da cidade. (A.N.Sarkar, 2011).

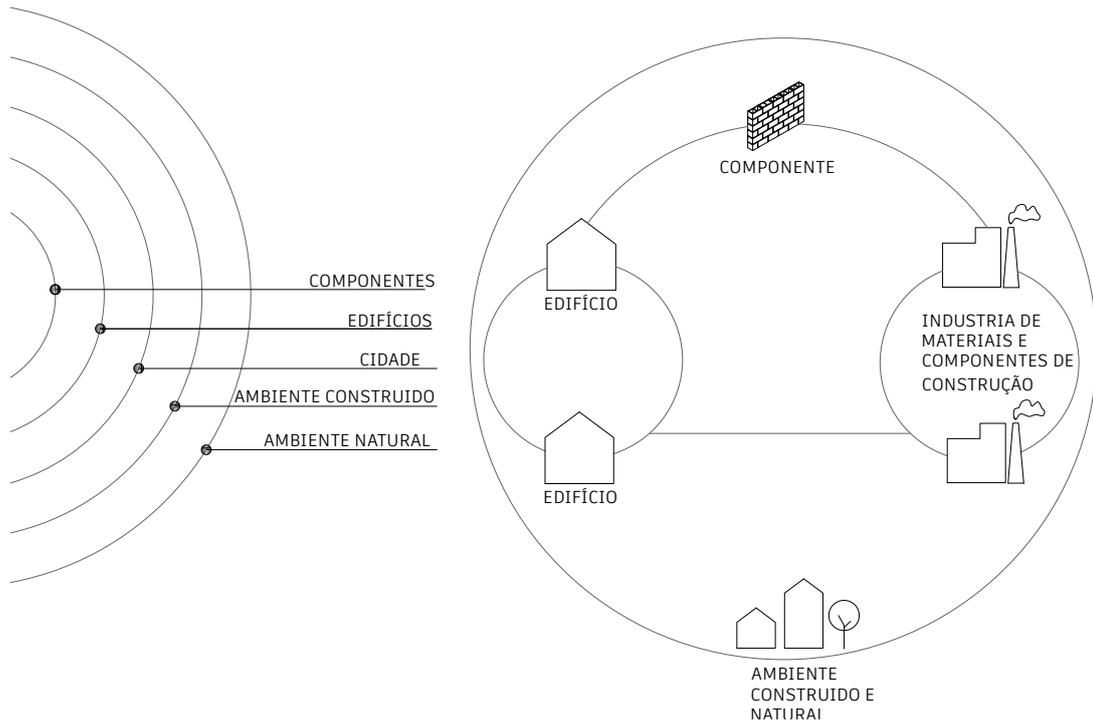


Figura 30 Diferentes Níveis que definem a circularidade no ambiente construído

Os edifícios que correspondem ao nível meso e considerados uma pequena parte do metabolismo da cidade são interpretados hoje como uma unidade única, não de um ponto de vista sistémico, como por exemplo, uma montagem de diferentes produtos de construção. De facto, eles são projetados, construídos e usados como unidades completas (Beurskens & Bakx, 2015).

Mas ao analisar o comportamento de um edifício ao longo do tempo²¹, verifica-se que são entidades mutáveis, e transformam-se de forma parcial de acordo com as necessidades dos usuários. Um edifício construído nos anos 50, certamente já passou por uma série de remodelações (Beurskens & Bakx, 2015).

A Teoria dos níveis de mudança no edifício foi pela primeira vez introduzida em 1961 por Habraken no livro “*De Draggers en mensen*”. Neste, o autor defendia que o edifício era composto por *support* (exterior, estrutura) e um *infill* (o interior e os serviços), desta forma o

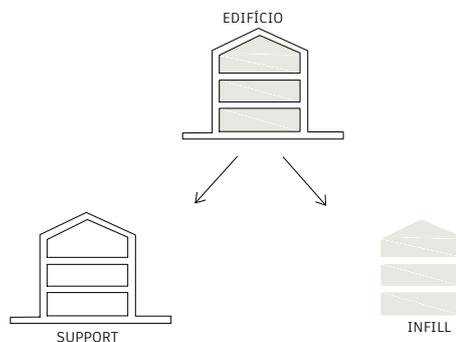


Figura 31 Representação do *Support* e do *Infill* defendidos por Habraken

²¹ Estima-se que a vida útil de um edifício dure pelo menos 60-90 anos (Kubbinga, et al., August 2018).

suport permanece constante durante uma reforma interior e o *infill* transforma-se facilmente (Beurskens & Bakx, 2015).

Mais tarde Steward Brand, no livro *How Buildings Learn - What happens after they're built*, examina os edifícios não só no espaço, mas também no tempo. Este afirma que os arquitetos são induzidos a construir edifícios monumentais e congelados no tempo, mas o edifício não tem esta capacidade, pois assim como os humanos eles e aprendem com tempo. Neste sentido, defende que o edifício é constituído por camadas funcionais (*shearing layers*) que devem ser concebidas como sistemas independentes, e cada uma tem um tempo útil diferente. Então considera que o edifício é constituído pelo Local (eterno), pela Estrutura (30 a 300 anos), pela Envolve (20 anos), pelos serviços (7 a 15 anos), pelo Plano Espacial (organização funcional em planta, 3 a 30 anos) e “outras coisas” (mobiliários, utensílios, etc., com vida útil de curta duração). Algumas destas camadas têm a capacidade de se transformar mais rápido sem comprometer as camadas com mais durabilidade (Arup, 2016) (Brand, 1994).

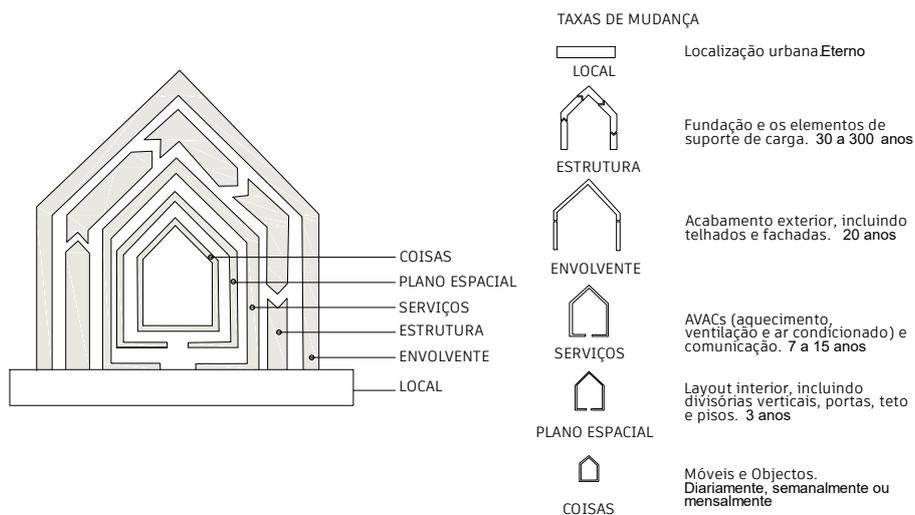


Figura 32 *Shearing Layer* de Steward Brand (Brand, 1994)

A projeção de edifícios em camadas independentes tendo em consideração o tempo útil de cada uma prevê a substituição de cada sistema no futuro, quando estes já não satisfazem as necessidades inerentes às suas funções sem comprometer os restantes, desta forma o edifício é capaz de se adaptar às pessoas, tendências e estilos de vida, como uma estrutura dinâmica que prospera no tempo (Beurskens & Bakx, 2015).

De acordo com Beurskens & Bakx a compreensão de um edifício como um conjunto de várias partes é a base para construir edifícios circulares (Beurskens & Bakx, 2015). Pois os

edifícios são conjuntos de componentes e produtos diferentes com funções diferentes, e para se conceber uma estrutura dinâmica todos eles devem ter a possibilidade de ser facilmente substituídos e retornarem à economia.

Cheshire acrescenta que a heterogeneidade dos materiais e produtos que compõem o edifício implica que os princípios da economia circular não possam ser implementados de forma genérica. Projetar um edifício em camadas ajudará os arquitetos a abordar cada sistema de forma diferente, segundo regras e estratégias específicas. Para além disso, manter a independência de cada camada irá permitir a desmontagem rápida do edifício no final da vida útil para que os componentes possam ser reutilizados, remanufaturados ou reciclados (Cheshire, 2016).

Sendo assim, e do ponto de vista sistémico circular, as camadas funcionais de Brand consideram-se incompletas porque, por exemplo, uma fachada pode possuir uma vida útil mais curta que os sistemas e os componentes que a compõem, e estes podem estar inseridos em ciclos técnicos ou biológicos diferentes (Beurskens & Bakx, 2015). Assim, os componentes e materiais dentro do próprio sistema da fachada também devem ser vistos como partes independentes do sistema, para permitir as transformações necessárias no componente e no nível do material (Beurskens & Bakx, 2015).

Em 1997, Eekout na publicação *POPO - Of Ontwerpmethoden voor Bouwproducten en Bouwcomponente*, (Eekout, 1997) apresenta uma hierarquia de produtos de construção, que vai desde matérias primas a conjuntos de edifícios (figura 34). Defende que deve haver uma hierarquia de produtos na indústria, e que os materiais não podem ser confundidos com elementos e componentes (Beurskens & Bakx, 2015). Admite a falta de esquemas e desenhos espaciais complexos que os distinguem, e isto é o resultado da falta de comunicação entre engenheiros, desenhadores técnicos e arquitetos (Beurskens & Bakx, 2015). Para o autor, os *inputs* da indústria são apenas materiais comerciais e os *outputs* são componentes e produtos (Eekhout, 1997) (Beurskens & Bakx, 2015).



Figura 33 Hierarquia de produtos de construção de Eekout (Eekhout, 1997) (Beurskens & Bakx, 2015)

Em 2006, Durmisevic na publicação *Transformable building structures - Design for Disassembly as a way to introduce sustainable engineering to a building design and construction*, introduz uma hierarquia de níveis de materiais de construção, onde considera os níveis técnico e físico de um edifício, para além do funcional (Durmisevic, 2006). De acordo com a autora, as vertentes técnica e física dos materiais ajudam a perceção de como decompor estruturas de construção e de como construir um edifício através de uma hierarquia de sub-montagens (Beurskens & Bakx, 2015) (Durmisevic, 2006).

O ato de construir é unir materiais num todo, que vai possuir uma finalidade específica. Desta forma, a configuração do edifício é o processo de criação de uma unidade que resulta num conjunto de elementos que se relacionam mutuamente e respondem a requisitos e restrições (Durmisevic, 2006). Os arquitetos e designers determinam os conjuntos e as suas relações. Para o efeito há que considerar três aspetos essenciais (Durmisevic, 2006):

-Os aspetos funcionais: dizem respeito à capacidade que um conjunto de elementos tem de criar efeitos no edifício, no espaço e nos usuários, como por exemplo função de carga, isolamento e AVACs (Durmisevic, 2006).

-Os aspetos físicos: dizem respeito às relações e interligações mecânicas e físicas entre os componentes (interface), como por exemplo sistema de encaixe (Durmisevic, 2006).

-Os aspetos técnicos: dizem respeito às características e especificações de cada componente que compõe uma estrutura (Durmisevic, 2006).

Segundo a autora (Durmisevic, 2006), na hierarquia, os níveis de material mais altos dominam os mais baixos, assim, está dividida em:

- Nível do edifício: Representa a composição de sistemas que possuem as principais funções do edifício (estrutural, compartimentação);
- Nível do sistema: Composição de componentes, portadores das funções do sistema (acabamento, impermeabilização, piso);
- Nível do componente: Representa a montagem em camadas dos elementos e materiais no nível mais baixo do edifício. Por sua vez o componente pode ser dividido em elementos e materiais.

Beurskens e Bakx, em 2015, defenderam que os níveis do Edifício Circular devem considerar as três vertentes: a funcional de Steward Brand, e a física e a técnica defendidas por Durmisevic e Eekout. Assim, a hierarquia deve ter início no nível do edifício, que é considerado o conjunto de todos os sistemas de construção, diretamente relacionados com as *shearing layers* de Steward Brand. Cada sistema (Estrutura, Envolvente, Plano Espacial e Serviços) pode ser dividido em subsistemas, estes são compostos por componentes, que por sua vez podem ser divididos em elementos, e estes em materiais (Beurskens & Bakx, 2015).

HIERARQUIA DOS NÍVEIS DE PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO DE EEKHOUT DE 2006	HIERARQUIA DOS NÍVEIS DE MATERIAL DE DURMISEVIC 2006	HIERARQUIA DOS NÍVEIS DE PRODUTOS CIRCULARES DE BAKX E BEUSSKENS 2015
COMPLEXO DE EDIFÍCIOS		
EDIFÍCIO	NÍVEL EDIFÍCIO	NÍVEL EDIFÍCIO
SEGMENTO DO EDIFÍCIO	NÍVEL DO SISTEMA	NÍVEL DO SISTEMA
PARTE DO EDIFÍCIO		NÍVEL DO SUB-SISTEMA
SUPER-COMPONENTE	NÍVEL DO COMPONENTE	NÍVEL DO COMPONENTE
COMPONENTE		
SUB-COMPONENTE		
SUPER-ELEMENTO	NÍVEL DO ELEMENTO	NÍVEL DO ELEMENTO
ELEMENTO		
SUB-ELEMENTO		
MATERIAL COMERCIAL	NÍVEL DO MATERIAS	NÍVEL DO MATERIAS
MATERIAL COMPOSITO		
MATERIAL		
MATÉRIA- PRIMA		

Figura 34 Comparação do edifício circular definido níveis de produto com a hierarquia de construção produtos (Eekhout, 2006) e a hierarquia de níveis de material (Durmisevic, 2006) e hierarquia de construção produtos circulares (Beurskens & Bakx, 2015)

Em resposta aos conceitos acima descritos, foram definidos cinco princípios de design para a economia circular com base em (Kubbinga, et al., August 2018), (Arup, 2016) (Beurskens & Bakx, 2015) & (Cheshire, 2016), nomeadamente:

- Autossuficiência e Energia Renovável, é uma principio que tem como objetivo alcançar a neutralidade energética no edifício e no ambiente construído, ou seja, eliminar o consumo de energias fósseis, através da implementação de tecnologias alternativas sustentáveis para a produção de energia e tecnologias que promovam a eficiência energética²² (Kubbinga, et al., August 2018). É um

²² A eficiência energética envolve a prestação de serviços de energia com menos energia primária, desta forma diz respeito à redução do consumo de energia garantido as mesmas condições de conforto térmico e qualidade do ar interior.

princípio que vai ao encontro do conceito NZEB²³ (Nearly Zero Energy Buildings), definido como edifícios com uma performance energética excelente com necessidades de energia quase nulas e estas necessidades quase nulas deverão ser adquiridas na sua maioria de fontes renováveis locais. Para o efeito, é necessário um balanço entre a energia que o edifício produz e a que este consome, através da redução das necessidades energéticas e de sistemas de captação de energia renovável. A redução das necessidades energéticas pode ser adquirida através da arquitetura bioclimática²⁴, de técnicas de construção eficientes e técnicas de ventilação controlada de alto desempenho.

- Estimular a Biodiversidade: O ambiente urbano é um sistema artificial e à medida que as cidades crescem, os edifícios, as infraestruturas e as indústrias afetam a biodiversidade dos ecossistemas. O princípio de estimular a biodiversidade pretende a proteção, o restauro e o aumento da resiliência de ecossistemas, cada projeto deve ter um impacto positivo no meio envolvente e garantir a redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida do edifício (Arup, 2016) (Kubbinga, et al., August 2018). É um princípio que se divide em dois aspetos essenciais: a biodiversidade - os edifícios devem suportar e promover a biodiversidade, e a biodiversidade conceptual - os edifícios devem assegurar bem-estar dos ocupantes e das espécies naturais (Beurskens & Bakx, 2015, p. 25).²⁵
- Design para a Adaptabilidade, é um princípio que defende que os edifícios devem ser adaptáveis como sistemas vivos em prol de se manterem resilientes e capazes de responderem às exigências do meio, dos usuários, que estão em constante mudança. Assim, baseia-se na hipótese de que a vida útil de um produto termina

²³ É definido no artigo 9º da diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios(2010/31/EU), posteriormente atualizado em 2018 (2018/844 / UE (EPBD)). A sigla NZEB também é usada para descrever outro conceito o Net Zero Energy Building que apela à construção de edifícios com energia líquida zero, ou seja, a quantidade de energia usada para a construção com base anual é igual à energia renovável criada no local (Graña, 2018).

²⁴ Arquitetura bioclimática, que consiste no projeto de edifícios tendo em conta as características climáticas e ambientais do meio, e assim através do design otimizar o conforto térmico, acústico e luminoso do edifício (Lanham, Gama, & Braz, 2004).

²⁵ O princípio Estimular a Biodiversidade, reflete-se em vários requisitos do programa holístico de certificação de construções sustentáveis Living Building Challenge do Internacional Living, Future Institute. Este tem como objetivo incentivar e construir edifícios com qualidades regenerativas, autossuficientes e saudáveis.

Neste sentido salienta-se o requisito “Pétala Lugar: Restaurando a Saúde e o Relacionamento entre a Natureza e o Lugar”: Imperativo 1 - Ecologia do Local: - Devem ser avaliados os fatores e as necessidades de equidade cultural e ambiental do local; -Todos os projetos devem contribuir positivamente para a ecologia de seu lugar e restaurar ou melhorar o seu desempenho ecológico. Imperativo 2 – Agricultura Urbana: -Todos os projetos devem dedicar uma parte da área total do projeto ao cultivo de alimentos. E fornecer acesso semanal desses alimentos à comunidade. (International Living Future Institute, 2019)

E o requisito da “Pétala Bem-estar e Felicidade”: Imperativo 11 Acesso à natureza: Todos os projetos devem conectar pessoas e a natureza através de interações frequentes com natureza, tanto no interior quanto no exterior do projeto; (International Living Future Institute, 2019)

devido à incapacidade que o produto possui de se adaptar a mudanças; neste sentido, a adaptabilidade deve ser pensada na fase de projeto em prol de evitar a obsolescência (Beurskens & Bakx, 2015).

- Design para a Desmontagem, é um princípio que defende que se deve considerar na fase de projeto a desmontagem de todos os sistemas, componentes e elementos que constituem o edifício, para facilitar a manutenção e garantir a reutilização, remanufatura e a reciclagem. Atualmente, a indústria da construção está focada apenas no melhoramento de técnicas de montagem, como forma de rentabilizar tempo e dinheiro. Contudo, e como será descrito ao longo deste capítulo, a desmontagem traz benefícios não só para o ambiente, desviando componentes e materiais de construção do aterro, como também benefícios e oportunidades de negócio para as empresas do setor da construção (Beurskens & Bakx, 2015).
- Design com Materiais Sustentáveis é um princípio que apela à construção com recursos saudáveis, reutilizáveis, recicláveis, reutilizados e reciclados através de abordagens *upcycling*, tornando menos intensiva a indústria da construção. Relaciona-se com o nível do elemento e do material de um edifício circular, definindo orientações que ajudam a selecionar matéria de acordo com a economia circular (Beurskens & Bakx, 2015).

Segundo Beurskens & Bakx, para se obter uma melhor compreensão e orientação das estratégias de projeto circular, deve-se relacionar através de uma abordagem *top-down* os princípios de design com a Hierarquia dos níveis de produtos circulares, como demonstrado na figura 38. Nesta sequência considera-se:

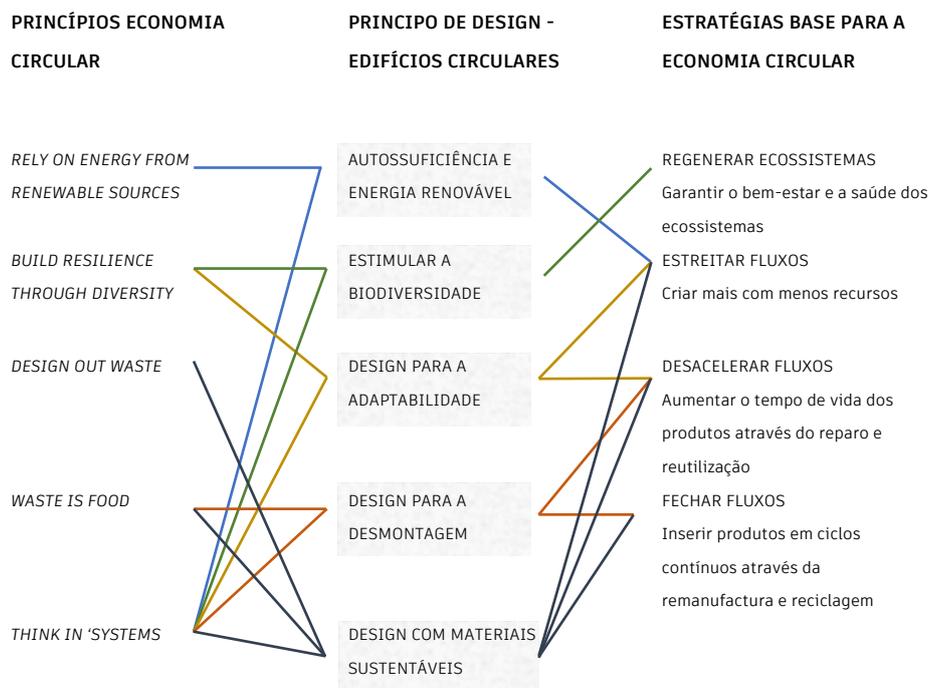


Figura 35 Relação entre as estratégias de projeto de arquitetura e design, os princípios da economia circular da EMF e as estratégias base definidas no capítulo- 2.4.

- a estratégia Autossuficiência e Energia Renovável e a Estratégia Estimular a Biodiversidade, estão ligadas ao nível mais alto dos níveis de produtos de construção circular e ao nível do ambiente construído pois são abordagens que devem acontecer no edifício enquanto conjunto e estão condicionadas por fatores externos como a envolvente, o clima e a cultura (Beurskens & Bakx, 2015).
- a estratégia Design para Adaptabilidade e Design para a Desmontagem, abrangem a maior secção, relacionam-se com o nível dos sistemas (shearing layers) até ao nível dos componentes, pois a composição dos diferentes conjuntos de produtos irá influenciar grau de adaptabilidade e desmontagem do edifício. Não estão relacionados com o nível do elemento e o nível do material pois estes não se referem a conjuntos, mas apenas a materiais isolados (Beurskens & Bakx, 2015).
- a estratégia Design com Materiais Sustentáveis está relacionada com os níveis mais baixos dos níveis de produtos de construção, os elementos e os materiais.

A estratégia Autossuficiência, energia renovável e a Estratégia Estimular a Biodiversidade são excluídas no âmbito da pesquisa, pois, não são estratégias que contribuem para gestão de fluxos circulares de material.

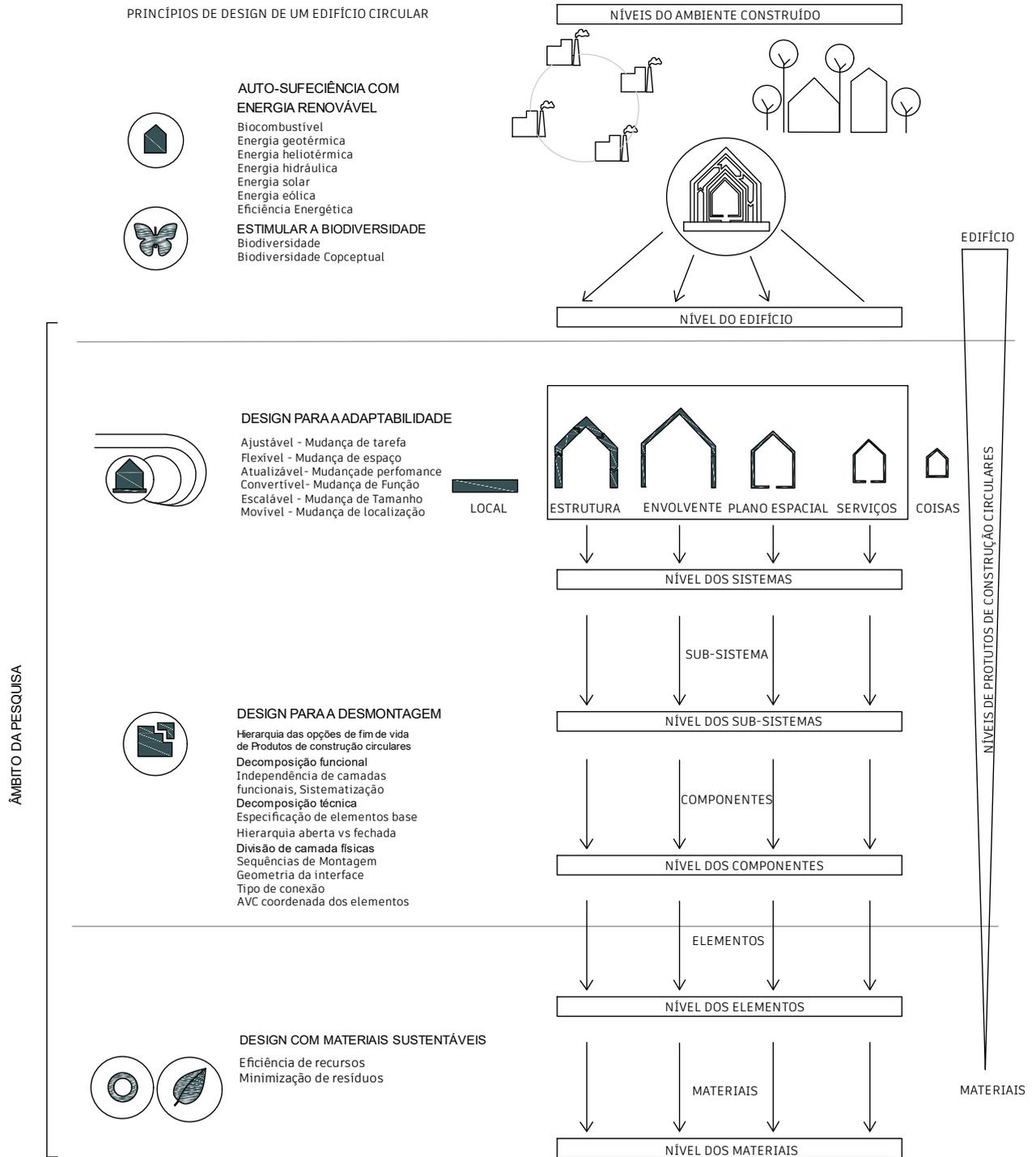


Figura 36 Princípios de design de construção circular relacionados aos níveis de produto de construção circular (Beurskens & Bakx, 2015)

2.1.1. DESIGN PARA ADAPTABILIDADE

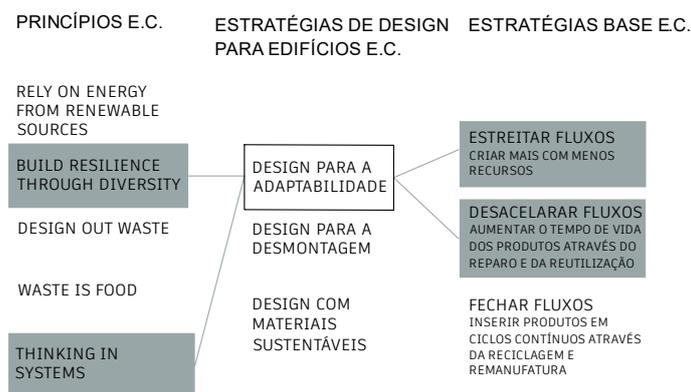


Figura 37 Relação entre as os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4

“Almost no buildings adapt well. They’re designed not to adapt; also budgeted and financed not to, constructed not to, administrated not to, maintained not to, regulated and taxed not to, even remodeled not to. But all buildings (except monuments) adapt anyway, however poorly, because the usages in and around them are changing constantly” (Brand, 1994, p. 16)

Nas últimas décadas, os edifícios flexíveis e adaptáveis têm ganhado destaque, devido à introdução de novos sistemas construtivos, às crises económicas e, mais recentemente, pela conscientização das questões ambientais (Cheshire, 2016).

A adaptabilidade e a flexibilidade no projeto de um Edifício Circular expressam a capacidade que este terá de se manter útil ao longo do tempo, mesmo que o contexto em que se insere mude drasticamente, sem que seja preciso remodelar ou demolir (Beurskens & Bakx, 2015).

Addis e Schouten no livro *Design for Deconstruction: Principles of Design to Facilitate Reuse and Recycling (2014)*, diferenciam edifícios flexíveis de edifícios adaptáveis. Para os autores, um edifício flexível permite facilmente mudanças na organização interior, com elementos de fácil encaixe em prol de atender às necessidades dos ocupantes (Cheshire, 2016). E um edifício adaptável é projetado para poder facilmente ser alterado através, por exemplo, da adição ou subtração de elementos com o objetivo de prolongar a sua vida útil e adequar-se a novos usos (Cheshire, 2016).

Já Schmidt e al. definiram a adaptabilidade baseando-se em três conceitos chave: a mudança, o valor e o tempo, como “a capacidade que um edifício tem de se acomodar e evoluir permanecendo apto para uma finalidade exigida pela evolução do contexto em que se insere, maximizando o seu valor durante a sua vida”²⁶ (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010, p. 235). Neste sentido, consideram que acomodar e evoluir são sinónimos da mudança, e esta mudança

²⁶ Traduzido pela autora do original “the capacity of a building to accommodate effectively the evolving demands of its context, thus maximizing value through life”

permite que os edifícios permaneçam aptos e com valor. A vida (tempo) influencia a evolução do contexto e este reflete-se em exigências no edifício.

Segundo Schmidt et al, os arquitetos focam-se apenas na vertente estética e funcional quando projetam edifícios e não consideram a vertente temporal (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010). Para projetar edifícios adaptáveis é necessário compreender como é que o tempo influencia a arquitetura e, assim, desvincular os edifícios das suas realidades temporais. Com efeito, os edifícios deixam de ser objetos estáticos e tornam-se objetos intemporais e mutáveis. As decisões de projeto são essenciais para transpor a intemporalidade e a mudança no edifício, como forma de o manter no seu valor e utilidade mais elevados evitando a obsolescência (Beurskens & Bakx, 2015).

A obsolescência é entendida como algo que se torna inútil, desatualizado ou cai em desuso (Gorgolewski, 2018). Pode-se afirmar que a obsolescência “é o resultado da incapacidade que algo tem de acomodar mudanças”²⁷ (Beurskens & Bakx, 2015, p. 43). A obsolescência nos edifícios pode ser ao nível funcional, referindo-se, por exemplo, à necessidade do usuário de mudar o uso de uma divisão ou do edifício; ao nível físico, como é o caso do estado de degradação dos elementos e componentes de construção; ao nível técnico, por exemplo, uma desatualização devido as novas tecnologias de elementos e componentes (Beurskens & Bakx, 2015).

Assim, pode-se considerar que a obsolescência é fruto da incompatibilidade entre a exigência (vontade, desejo, necessidade) e a capacidade de alteração do próprio edifício (capacidade) (Beurskens & Bakx, 2015).

Gerealts et al. (2014) propõem um quadro estratégico, o *Adaptive Capacity Method*, para avaliar a capacidade que um edifício possui de se adaptar (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014) Está dividido em duas grandes vertentes: a exigência²⁸ e a capacidade²⁹ (figura39).

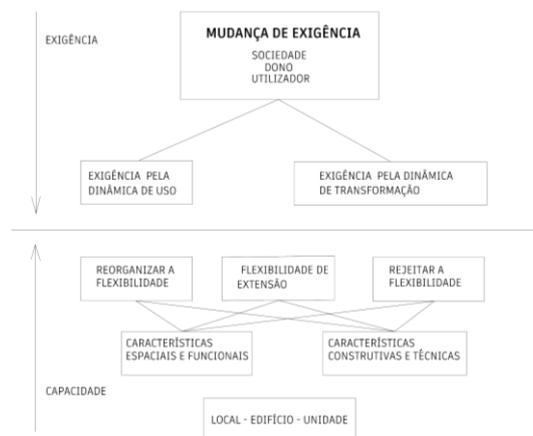


Figura 38 *Adaptive Capacity Method* de Gerealts et al. (2014) (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn,

²⁷ Traduzido pela autora do original “Obsolescence can be identified as the resulting condition of the inability to accommodate change”

²⁸ Traduzido pela autora do original “Use dynamics”

²⁹ Traduzido pela autora do original “Supply side”

No lado da exigência, e de uma perspectiva social, há três tipos de atores: a sociedade, os proprietários e os usuários dos edifícios.

A sociedade refere-se à preservação da utilidade e valor do edifício para atender às necessidades da sociedade. O proprietário (investidor) refere-se à rentabilidade do edifício a longo prazo. O usuário refere-se ao ajuste contínuo do edifício às necessidades dos usuários (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014) (Beurskens & Bakx, 2015).

Nesta sequência, as exigências podem ter duas dinâmicas diferentes, segundo o autor:

- “dinâmica de uso”³⁰: a capacidade de o edifício responder às exigências do usuário, em constante mudança, ou seja, as exigências que ocorrem num curto espaço de tempo e de forma repetida. Estas exigências são provocadas pelo usuário do edifício e do interesse do mesmo, por exemplo uma mudança na disposição dos móveis numa sala (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014).
- “dinâmica de transformação”³¹: a capacidade do edifício de se reorganizar para responder às exigências de diferentes grupos de usuários ou diferentes funções num futuro próximo, abrange um intervalo de tempo maior e são mudanças mais significativas, como por exemplo a atualização de equipamentos como avacs, ampliação ou redução da área útil do edifício. São essencialmente do interesse do dono (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014).

Do lado da capacidade, o autor considera três níveis: o local, o edifício e a unidade³², que são influenciadas por características funcionais e técnicas. Define, também, três requisitos base para a adaptabilidade (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014, p. 6):

- “Reorganização da flexibilidade: Até que ponto o local, o edifício ou a unidade podem ser reorganizados ou redesenhados.
- Flexibilidade de extensão: Até que ponto o local, o edifício ou a unidade podem ser ampliados (verticalmente ou horizontalmente).
- Flexibilidade de rejeição: Até que ponto partes do local, do edifício ou da unidade podem ser rejeitadas, i.e., desconstruídos, resultando na diminuição de área útil (verticalmente ou horizontalmente).”³³

³⁰ Traduzido pela autora do original “*Demand side*”

³¹ Traduzido pela autora do original “*Transformation dynamics*”

³² Como por exemplo sala, cozinha, instalação sanitária.

³³ Traduzido pela autora do original “Rearrange flexibility To which degree the location, the building or the unit can be rearranged or redesigned. • Extension flexibility To which degree the location, the building or the unit can be extended. • Rejection flexibility To which degree (part of) the location, the building or the unit can be rejected.”

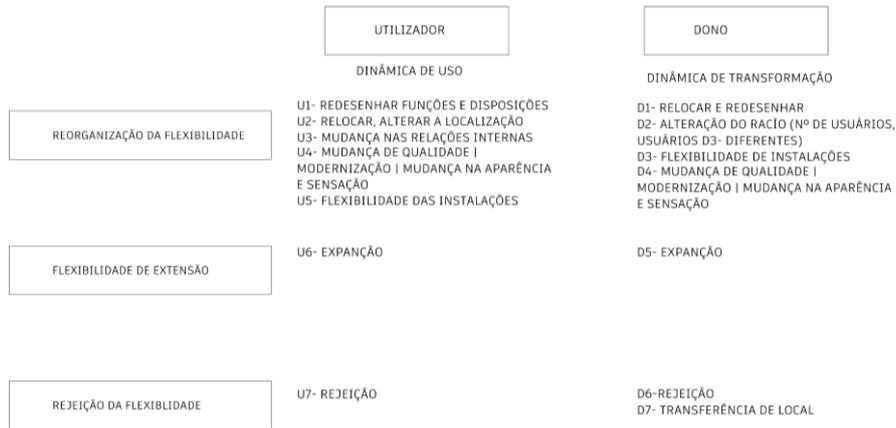


Figura 39 Transformation Dynamics (Geraedts, Remøy, Hermans, & Rijn, 2014)

Ainda no âmbito de definir um quadro estratégico para avaliar a adaptabilidade dos edifícios, Schmidt III et al (2010-2016) apresentam o *Adaptability types model*, um método que considera seis tipos de mudanças : (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010) (Schmidt III & Austin, 2016).



Da leitura do quadro do supracitado, do ponto de vista circular, a estratégia móvel aplicada à escala do edifício é uma mudança que não equaciona a relação com este e o local. Numa economia circular os produtos, componentes e materiais após a vida útil do edifício são

libertados e inseridos na economia onde circulam em *Loop*, desta forma caso seja necessário uma mudança de localização, o edifício deve ser desmontado, e o stock material reinquirido na economia. Portando, quando esta situação ocorre deve-se contruir um novo edifício adequado ao novo local, com o stock de material disponível nesta região.

Em suma, pode-se afirmar que num edifício adaptável, todos os seus sistemas, componentes e materiais devem considerar mudanças, neste sentido é necessário determinar em cada sistema quais são as estratégias de adaptabilidade possíveis e os requisitos funcionais, técnicos e construtivos necessários. Cada estratégia definida pode ser mais ou menos provável em função de cada sistema como ilustrado na figura 41. Dentro deste raciocínio conclui-se que um edifício só poderá ser considerado adaptável na totalidade do conceito, se na fase de projeto for considerada a desmontagem dos seus materiais, componentes e sistemas para conseguirem sofrer as mudanças citadas.

	SHEARING LAYERS					
	COISAS	PLANO ESPACIAL	SEVIÇOS	ENVOLVENTE	ESTRUTURA	LOCAL
ATUALIZÁVEL	• •		• •	• •	•	
CONVERSÍVEL	• •	• •			•	
AJUSTÁVEL		• •		•		
ESCALÁVEL		• •	•	•	•	
MOVÍVEL	• •	• •	•			
FLEXÍVEL		• •	•	•	•	

Figura 40 Relações entres os tipos de adaptabilidade e o *shearing layers* adaptado de (Beurskens & Bakx, 2015). Dois pontos: muito prováveis; 1 ponto: menos provável; 0 pontos pouco provável.



Figura 42 *Industrial Democratic Design* (IDD) Vandkunsten Architects. (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010). O projeto foi inspirado no Industrialismo, na Pré-fabricação, oferece uma série de espaços, estruturas e sistemas aptáveis

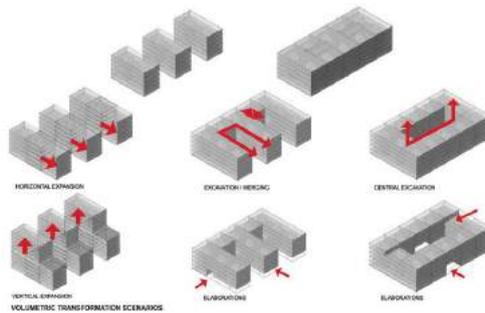


Figura 45 Cenários de transformação da *Industrial Democratic Design*. Tipo de adaptabilidade: Escalável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010)

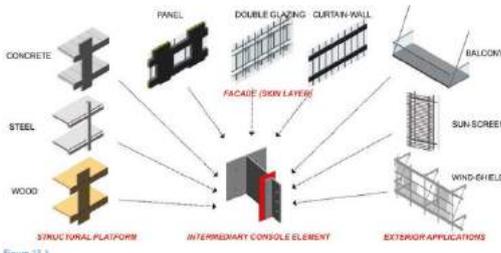


Figura 44 Sistema estrutural e os elementos da fachada. Tipo de adaptabilidade: Retificável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010)

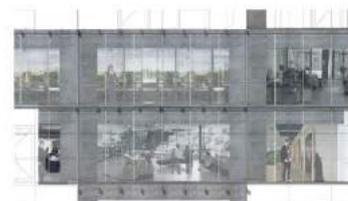
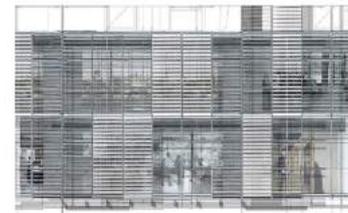


Figura 41 Configurações de fachada baseadas no uso: residencial (superior), escritório (central) e estúdio (inferior) Tipo de adaptabilidade: Ajustável (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010)

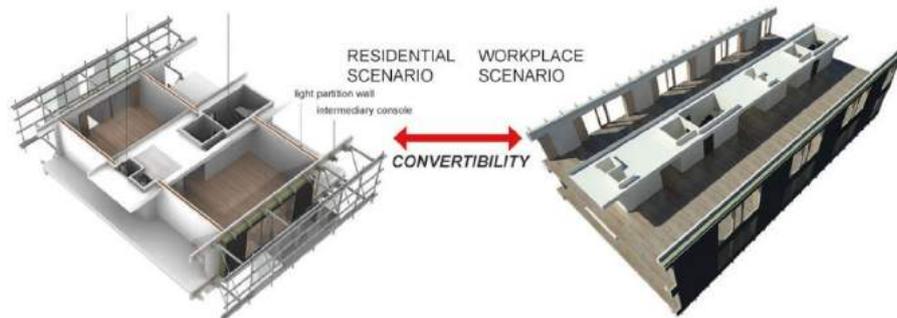


Figura 43 Mudança de espaços de trabalho e espaços residenciais. Tipo de adaptabilidade: Conversível (Schmidt III, Eguchi, & Austin, 2010)

2.1.2. DESIGN PARA A DESMONTAGEM

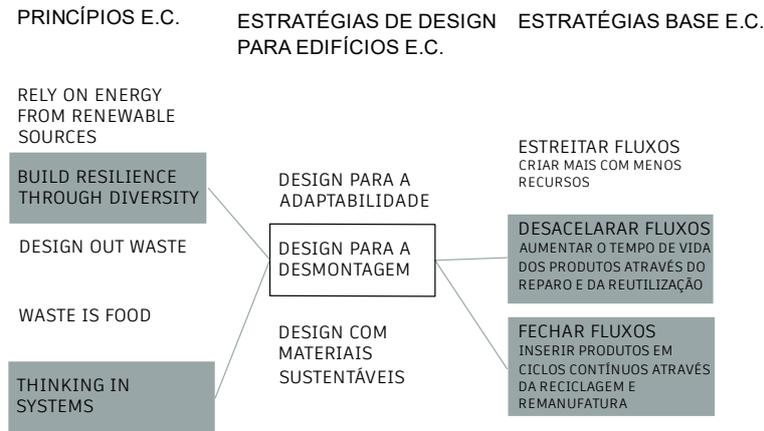


Figura 46 Relação entre as os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4

A estratégia de design para a desmontagem tem como principal objetivo a recuperação de elementos e componentes sem danos, após a vida útil de um edifício, ou seja, após uma renovação ou demolição. Assim, se garante não só a reutilização, a remanufatura e a reciclagem, como também a recuperação e atualização dos componentes e serviços durante a fase de uso (Cheshire, 2016)

Segundo Brennan *et al*, a desmontagem pode ser definida como “o processo de remoção sistemática de peças que constituem uma montagem, garantindo que não há comprometimento das peças devido ao processo”³⁴ (Brennan, Gupta, & Taleb, 1994, p. 59).

As estratégias de desmontagem podem dividir-se em duas abordagens: “destrutivas” e “não destrutivas”³⁵. A abordagem destrutiva é baseada na recuperação de materiais (o nível mais baixo da composição de um edifício circular), já a não destrutiva é baseada na recuperação de elementos, componentes e sistemas (Gamerschlag, 2020).

A desmontagem deve ser preferencialmente não destrutiva em prol de preservar os valores incorporados dos componentes e sistemas como energia, carbono, água e mão de obra (Beurskens P., Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

Assim, Beurskens P. e al definem o design para desmontagem como “o conceito de projetar edifícios de forma a facilitar a desmontagem, reduzindo a produção de resíduos e garantido que todos os produtos circulares de construção sofram opções de fim de vida

³⁴ Traduzido pela autora do inglês: “the process of systematic removal of desirable constituent parts from an assembly while ensuring that there is no impairment of the parts due to the process.”

³⁵ Traduzido pela autora do inglês: *destructive e non-destructive*,

circulares³⁶, de forma hierárquica³⁷, optando sempre que possível pela solução menos destrutiva (Beurskens P., Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

O conceito de Beurskens P et al teve como base teórica a hierarquia de reciclagem definida por Crowther (2005) e o esquema de capacidade de transformação definido por Durmisevic (2006) (Beurskens P., Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

Hierarquia de Reciclagem de Crowther

Na publicação *Design for disassembly, Themes and principles*, Crowther salienta a importância de se considerar uma hierarquia de reciclagem na desmontagem de um edifício, pois expressa as varias opções de renovação de edifícios de acordo com a escala e com a destrutividade das soluções (figura 48). Desta forma, define por ordem de preferência possíveis cenários de reciclagem e reutilização:

- 1º renovação e a reutilização de todo o edifício
 - 2º reutilização de componentes;
 - 3º reutilização de materiais;
 - 4º remanufactura ou reciclagem de materiais.
- (Crowther, 2005).

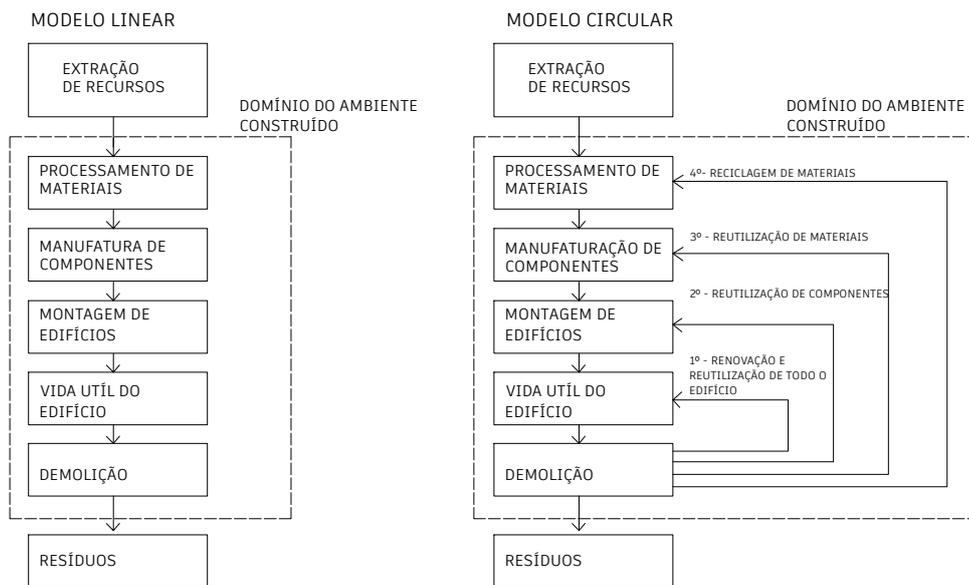


Figura 47 Exemplificação Hierarquia da reciclagem e comparação com o modelo linear (Crowther, 2005)

³⁶ As várias opções de fim de vida de produtos de construção dizem respeito ao: Serviço, Reconfiguração, Redistribuição, Remanufactura, Uso Cascata e Retorno á Biosfera, que são definidas na página seguinte.

³⁷ Traduzido pela autora do ingles : "The concept of designing buildings in such a way to facilitate future dismantling, thereby reducing the generation of waste by guaranteeing the possibility, of all circular building product levels to undergo re-life options (service, reconfiguration, redistribution, remanufacture, recycling, cascaded use, and biosphere) in a hierarchical way, achieved by the implementation of disassembly determining factors in building design."

A título de completar e adaptar a hierarquia de reciclagem a edifício circulares, Beurskens & Bakx propõem uma nova hierarquia, a Hierarquia das opções de fim de vida de Produtos de construção circulares³⁸, que considera todos os níveis do edifício e a hierarquia *loops* do infográfico da EMF adaptando-a a produtos de construção (figura 49) (Beurskens P. , Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

Neste sentido consideram:

- o Serviço: todas as ações executadas no edifício para mantê-lo operacional;
- a Reconfiguração: como o ato de aproveitar os componentes durante a vida útil do próprio edifício (exp. Mudança de função);
- a Remanufatura: é o a recuperação no nível da submontagem ou componente.;
- a Reciclagem: é o processo de recuperação de materiais;
- os *Loops* em cascata: a colocação de material em diferentes usos após o fim da vida útil
- o Retorno à Biosfera: é o ato de devolver os materiais biológicos à biosfera para serem absorvidos (Beurskens P. , Bakx, M., & Lichtenberg, 2016)

Os autores cruzam os níveis do material de construção com as variáveis opções de fim de vida de edifícios circulares, como demonstrado na figura seguinte.

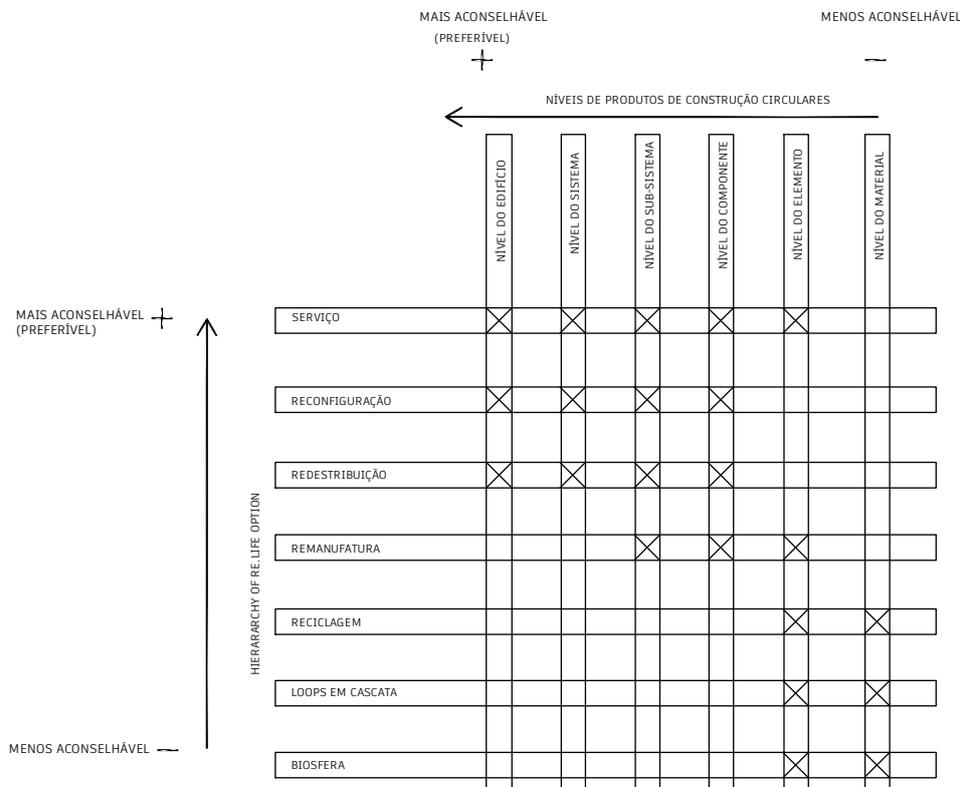


Figura 48 Hierarchy of re-life options (Beurskens & Bakx, 2015)

³⁸ Sugerido pela autora do inglês *Hierarchy of re-life option*

Ainda no âmbito da hierarquia de reciclagem e a Hierarquia das opções de fim de vida de Produtos de construção circulares³⁹, salientam-se os 27 princípios definidos por Crowther, alinhados com a hierarquia de reciclagem, apresentados na figura 50 (Crowther, 2005).

Pontos orientadores Crowther, 2005 Legenda do nível de relevância *** Altamente relevante ** Relevante • Normalmente não é relevante		Hierarquia de reciclagem			
		4º-RECICLAGEM DE MATERIAIS	3º - REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS	2º - REUTILIZAÇÃO DE COMPONENTES	1º - RENOVACÃO E REUTILIZAÇÃO DE TODO O EDIFÍCIO
CRITÉRIOS ORIENTADORES					
1	Usar de materiais reciclados e recicláveis. Permitir a aplicação da hierarquia de reciclagem, desta forma incentivará a indústria e o governo a desenvolver novas tecnologias, redes e mercados para a reciclagem.	***	***	**	**
2	Minimizar o número de diferentes tipos de materiais - Simplifica o processo de desmontagem.	***	***	**	**
3	Evitar materiais tóxicos e perigosos - Reduzirá o potencial de contaminação de materiais que estão sendo classificados para reciclagem.	***	***	**	**
4	Evitar materiais compostos e subconjuntos inseparáveis do mesmo material.	***	***	**	**
5	Evitar a aplicação de acabamentos secundários - Os revestimentos dificultam a reciclagem, sempre que possível, use materiais que com o próprio acabamento ou use acabamentos mecanicamente separáveis.	***	***	**	**
6	Fornecer uma identificação permanente e padrão dos tipos de materiais. Devem receber uma marca de identificação não removível. Essa marca poderia fornecer informações sobre tipo, local e tempo ou origem etc.	***	***	**	**
7	Minimizar o número de tipos de componentes.	•	**	***	***
8	Usar conexões mecânicas em vez de químicas - Isso permitirá a fácil separação de componentes e materiais sem força, reduz a contaminação dos materiais e reduz os danos dos componentes.	•	***	***	***
9	Usar um sistema aberto de construção onde as partes da construção possuem várias funções e aplicações. Isso permitirá alterações no layout da construção através da realocação do componente sem modificação significativa.	•	•	***	**
10	Usar um design modular - use componentes e materiais compatíveis com outros sistemas, tanto dimensionalmente quanto funcionalmente.	•	•	***	**
11	Usar tecnologias de construção compatíveis com a prática de construção padrão, simples e de "baixa tecnologia" e ferramentas comuns.	•	**	***	***
12	Separar a estrutura do revestimento, paredes internas e serviços.	•	•	***	**
13	Fornecer acesso a todas as partes do edifício e a todos os componentes.	**	**	***	***
14	Criar componentes e materiais de um tamanho adequado e fácil manuseio . Permitir várias operações de manuseio durante a montagem, desmontagem, transporte, reprocessamento e remontagem.	•	**	***	***
15	Fornecer um meio de manusear e localizar componentes durante a montagem.	•	•	***	***
16	Fornecer tolerâncias realistas para permitir manobras durante a desmontagem.	•	•	***	***
17	Usar um número mínimo de fixadores ou conectores.	•	**	***	***
18	Usar um número mínimo de tipos diferentes de fixadores ou conectores.	•	•	***	***
19	Projetar juntas e conectores para suportar o uso repetido - para minimizar danos irreparáveis ou distorção de componentes e materiais durante procedimentos repetidos de montagem e desmontagem.	**	**	***	**
20	Permitir a desmontagem paralela ao invés da desmontagem sequencial - para que componentes ou materiais possam ser removidos sem interromper outros.	•	**	***	**
22	Usar uma grade estrutural.	•	•	•	***
23	Usar submontagens pré-fabricadas e um sistema de produção em massa.	•	•	***	***
24	Usar materiais e componentes leves.	***	***	***	***
25	Identificar permanentemente os pontos de desmontagem.	•	**	***	***
26	Fornecer peças de reposição e armazenamento no local.	•	•	•	***
27	Reter todas as informações sobre os sistemas de construção civil e os procedimentos de montagem e desmontagem acabamento ou usem acabamentos mecanicamente separáveis.	•	•	**	***

Figura 49 Princípios de design para desmontagem e sua relevância para os níveis hierárquicos de reciclagem (Crowther, 2005)

³⁹ Sugerido pela autora do inglês *Hierarchy of re-life option*

O esquema da Capacidade de Transformação de Durmisevic é um método de classificação que deve ser complementado pela Hierarquia das opções de fim de vida de Produtos de construção circulares. Este tem como principal objetivo classificar o potencial de transformação de uma estrutura e as opções de reutilização dos componentes e materiais; neste sentido, concentra-se em três critérios: a decomposição funcional, técnica e física dos componentes de um edifício (Durmisevic, 2006).

A decomposição funcional determina “o quê?” por meio da forma e da função (Gamerschlag, 2020). É influenciada pela forma como os materiais respondem a circunstâncias. Segundo o autor, os sistemas principais que compõem os edifícios ou shearing layers (estrutura, envolvente, serviços, organização espacial e “coisas”) possuem determinadas funções no edifício, por exemplo de suporte, acabamento, distribuição, ventilação, aquecimento, arrefecimento, iluminação etc. E cada sistema pode exercer diversas funções, como é o caso de uma parede de fachada, esta geralmente tem a função de isolamento térmico e acústico, e acabamento (Durmisevic, 2006).

Desta forma a decomposição funcional está dividida em dois subcritérios: a independência funcional e a sistematização.

• Independência funcional: prevê a separação de funções dentro de uma montagem, Durmisevic enumera quatro cenários possíveis de independência funcional (Durmisevic, 2006):

- Integração total: por exemplo, a inércia térmica de um elemento estrutural pode ser explorada para armazenar calor; ou as propriedades acústicas de um revestimento serem usadas para absorver som.
- Interpenetração planeada: por exemplo, planejar espaços vazios num elemento estrutural com o intuito de passar cabos elétricos.
- Interpenetração não planeada - por exemplo, colocação de cabos elétricos num espaço vazio (sobrante) entre elementos estruturais.
- Separação total / autonomia: cada elemento é independente e tem uma função autónoma.

Este critério é importante, pois, caso haja obsolescência funcional e se o elemento tiver uma função autónoma e separada das demais, é possível desmontar o elemento responsável, sem comprometer a funcionalidade do componente. (Gamerschlag, 2020) (Beurskens P., Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

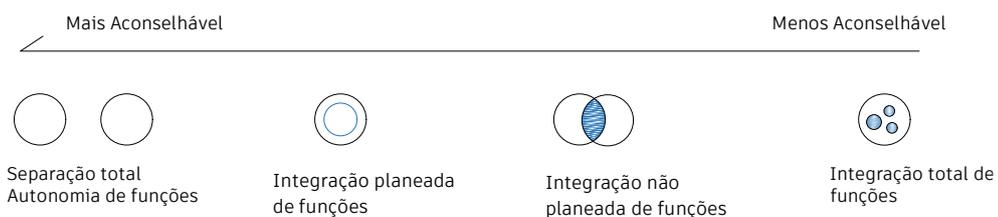


Figura 50 Opções de dependência funcional baseado em (Gamerschlag, 2020)

- **A sistematização:** analisa a formação de *clusters* (agrupamento de dados com um grau de semelhança) com o objetivo de reduzir o número de conexões físicas necessárias no local de montagem, pois as peças são previamente integradas em conjuntos (Durmisevic, 2006).

Um sistema de fachada pode ser montado de acordo com um padrão de subfunções (isolamento, suporte de carga e revestimento), os elementos ou materiais que possuem estas funções são unidos num componente, e cada componente deve ser unido por um elemento independente. Desta forma os componentes e conseqüentemente as suas funções são facilmente substituídas, modificadas ou atualizadas.

A funcionalidade de um módulo deve, portanto, determinar quais materiais e elementos formam o cluster para que haja um bom nível de sistematização.

Acrescenta-se, ainda, que quanto mais elementos são sistematizados em conjuntos independentes de acordo com suas funções, mais fácil é a coordenação do ciclo de vida e montagem e desmontagem no local da obra.

Para o efeito, é necessário considerar o nível dos materiais de construção e os respectivos grupos de materiais e componentes. Os grupos de elementos podem ser: grupos no nível do sistema, grupos no nível do componente e grupos que misturam o nível do sistema, elemento ou material (Gamerschlag, 2020) (Beurskens P., Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

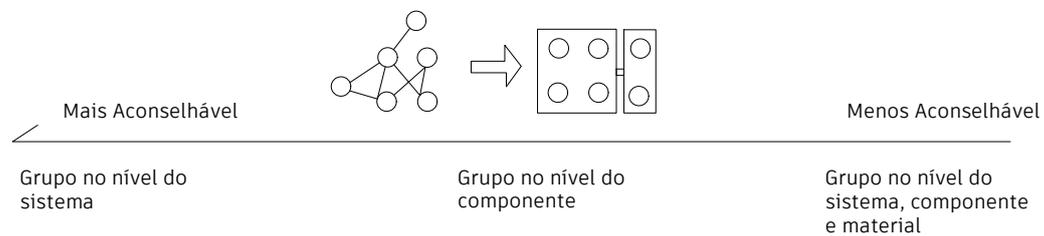


Figura 51 Opções de sistematização baseado em (Gamerschlag, 2020)

A **decomposição técnica** determina o “como?” da decomposição física. Este critério analisa até que ponto um componente possui uma composição hierárquica clara, permitindo a identificação concisa de funções e elementos. Está dividida em dois subcritérios:

- **Especificação do elemento base:** parte do princípio que a configuração deve, portanto, estar dividida em *clusters*, ou seja, níveis de produtos, que estão conectados por um

elemento independente. Este elemento é essencial para manter os restantes unidos, portanto são considerados elementos base. O número de funções de um elemento base e a sua mutabilidade definem a flexibilidade do todo, o sistema ou componente. Podem ser definidos como: Elemento base que conecta dois clusters; Elemento base que conecta dois níveis e Elemento base que para além de possuir a função de conector também possui uma função de construção (Gamerschlag, 2020) (Beurskens P. , Bakx, M., & Lichtenberg, 2016).

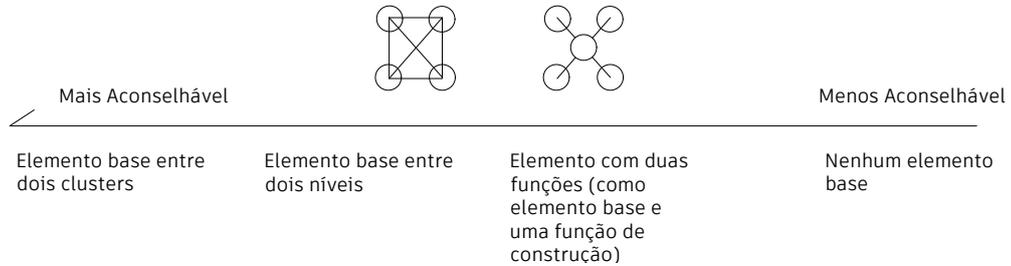


Figura 52 Opções do elemento base baseado em (Gamerschlag, 2020)

• Hierarquia aberta vs fechada - padrão relacional: analisa a independência hierárquica das partes de um componente e a formação de padrões relacionais. O número de relações entre componentes tem uma influência significativa no potencial de desmontagem (Durmisevic, 2006).

Um diagrama relacional representa as relações entre diferentes grupos ilustrando a dependência ou a independência funcional.

As relações verticais representam relações dentro do mesmo grupo funcional e as horizontais em diferentes grupos, desta forma relações orientadas na horizontal indicam uma dependência funcional, logo se o diagrama se organizar na horizontal é estático. Numa estrutura dinâmica só podem existir elementos horizontais nos níveis mais baixos dos produtos de construção.

Idealmente os grupos funcionais não devem ter relações diretas; um padrão relacional que apresenta ligações entre grupos funcionais apresenta dependência funcional.

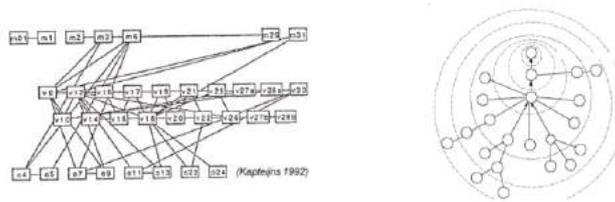


Figura 53 Opções de Padrão Relacional baseado em (Durmisevic, 2006) O círculo representa um sistema e o quadrado um componente ou elemento.

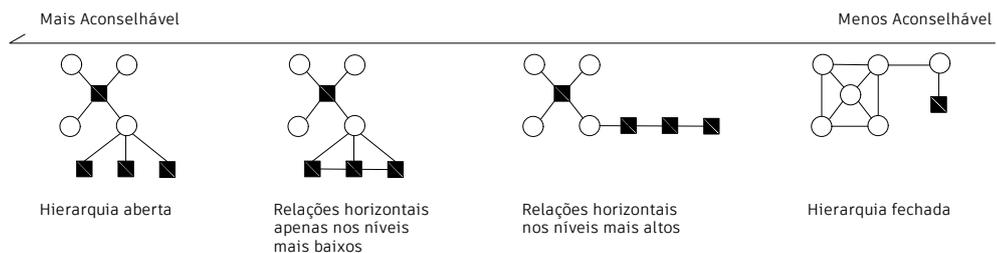


Figura 54 Hierarquia estática vs Hierarquia dinâmica (Durmisevic, 2006)

Desta forma, numa hierarquia aberta os sistemas são independentes um do outro, e apenas os materiais dentro de uma montagem podem ser considerados dependentes. Em oposição, numa hierarquia fechada todos os sistemas são dependentes de si, compondo estruturas estáticas (Durmisevic, 2006).

A Decomposição Física determina as relações e interfaces dos componentes e como é que estas contribuem ou dificultam a desmontagem. Está dividida em quatro subcritérios:

- Coordenação do ciclo de vida: analisa o ciclo de vida de cada material que compõe um componente. É essencial porque cada material tem o seu próprio ciclo de vida, que pode variar em média de 5 a 75 anos. Assim, os materiais com um ciclo mais longo devem ser instalados primeiro, e ter um papel independente, evitando que os materiais com ciclos mais curtos comprometam significativamente o componente (Gamerschlag, 2020) (Durmisevic, 2006).

- Sequência de montagem: a ordem de montagem é influenciada pelos tipos de conexões, geometrias dos elementos e o ciclo de vida. Numa sequência de montagem ideal os sistemas e componentes são montando em simultâneo e não consecutivamente. Assim é possível acelerar e facilitar o processo de montagem e após a vida útil do edifício, o processo desmontagem (Durmisevic, 2006). O autor define quatro tipos de sequência:

- Montagem paralela: são desmontados simultaneamente vários elementos;
- Montagem interligada por um elemento base: o elemento base é comum a todos os outros elementos, logo quando desmontado permite a desmontagem em simultâneo;
- Montagem sequencial: é uma montagem que depende de um elemento diferente, desta forma há uma dependência linear que é proporcional ao número de elementos montados;
- Montagem interligada: possui a mesma dependência linear da anterior, contudo são desmontados mais de um elemento em cada passo de desmontagem.

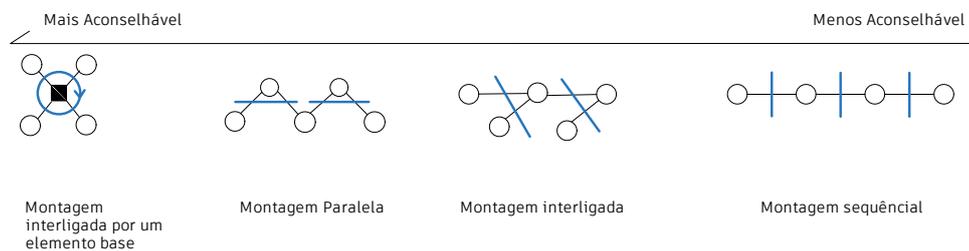


Figura 55 Opções de Sequência de montagem baseado em (Durmisevic, 2006)

• **Geometria de interface:** é a geometria da face de um sistema ou componente que se localiza entre um elemento base ou entre outro componente ou sistema. O design das interfaces influencia o ato de desmontar. A geometria dos elementos base pode ser aberta ou fechada. A aberta é associada a linhas retas e ao deslize de peças em várias direções enquanto que, na fechada, os elementos podem ser removidos apenas numa direção.

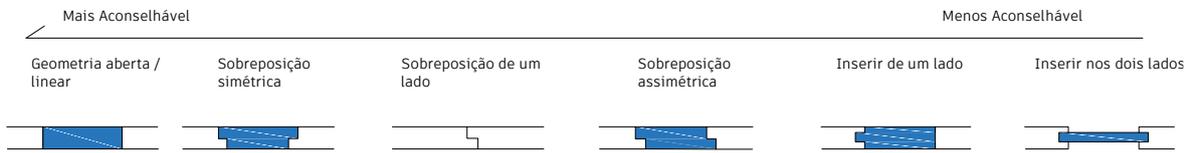


Figura 56 Opções de Geometria de Interface por grau de preferência baseado em (Durmisevic, 2006)

Desta forma, podem variar entre Geometria aberta / linear; Sobreposição simétrica; Sobreposição de um lado; Sobreposição assimétrica; Inserir de um lado; e por fim inserir nos dois lados (Durmisevic, 2006).

• **Tipo de Conexão:** analisa conexões entre os sistemas ou componentes. Podem ser divididos em:

- Conexões integrais diretas: formadas por arestas sobrepostas ou integradas, como por exemplo: conexões de madeira tradicional chinesa, fechos de velcro.
- Conexões indiretas com acessórios: conectadas através de dispositivos, como por exemplo porcas e parafusos (elementos base);
- Conexão química direta: geralmente realizadas no local com aglutinantes, como por exemplo argamassas ou através da soldagem.

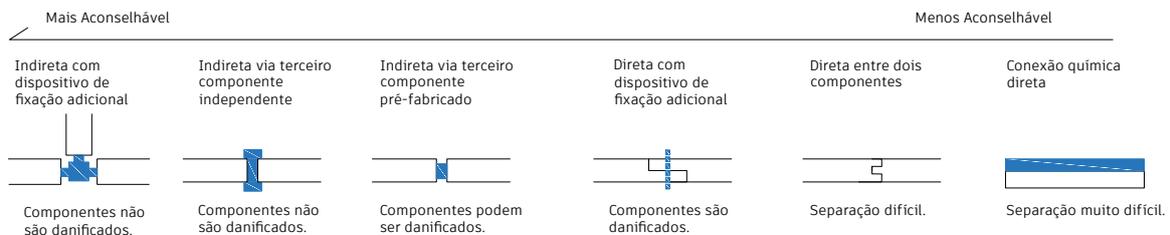


Figura 57 Opções de tipos de conexão por grau de preferência baseado em (Gamerschlag, 2020)

No caso das conexões com acessórios, a utilização de pregos para a união de materiais pode danificar o material, e torná-lo inadaptável para futuras reutilizações, pelo que é mais aconselhado o uso de parafusos e porcas, de preferência universais (Danish Environmental Protection Agency, 2019).

No caso das conexões químicas diretas, a cola e os selantes também devem ser evitados pois não permitem a separação dos elementos construtivos; em alternativa, é possível utilizar aglutinantes solúveis que, embora não sejam resistentes à água, em determinados casos podem ser uma solução adequada (Danish Environmental Protection Agency, 2019). Na alvenaria de tijolo, é preferível usar argamassas à base de cal hidratada em

vez de cimento Portland, pois é um material muito mais flexível e permeável que uma argamassa à base de cimento, desta forma permite uma remoção mais fácil dos blocos (Danish Environmental Protection Agency, 2019).

Em suma, para se projetar uma futura desmontagem é necessário equacionar a decomposição funcional, técnica e física do edifício para que cada componente seja retirado sem danos e reutilizado no melhor estado possível. Considerar a Hierarquia das opções de fim de vida para produtos de construção circulares no projeto de arquitetura é essencial para prever as melhores opções de fim de vida, ou seja, o menos destrutivas possíveis aproveitando ao máximo o valor incorporado de cada sistema e componente.

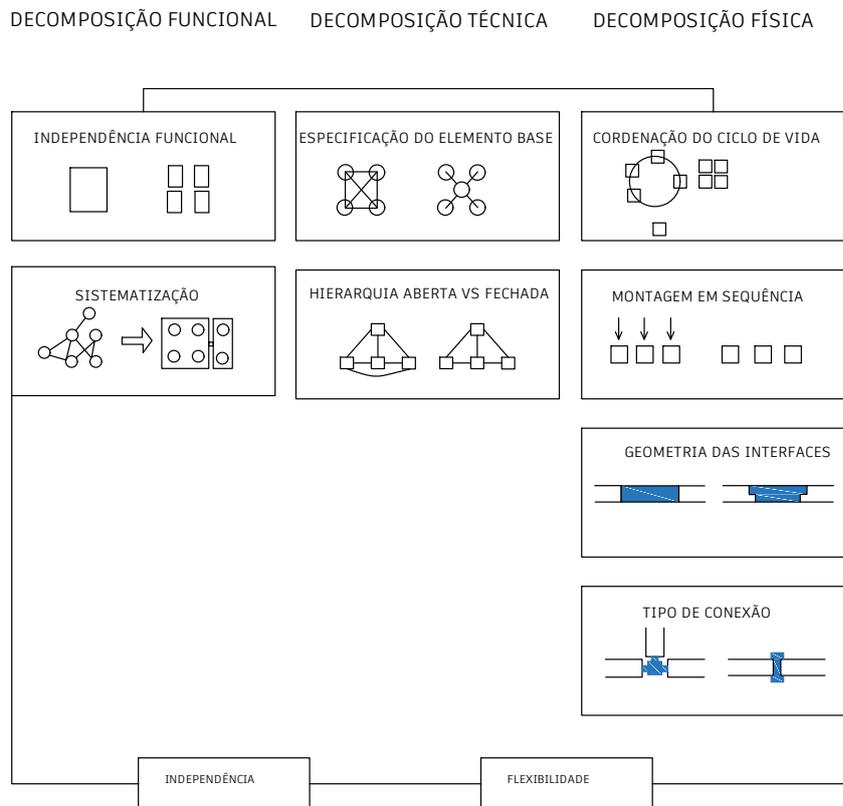


Figura 58 Esquema de capacidade de transformação (Durmisevic, 2006)

DE RESÍDUO A ELEMENTO ARQUITETÔNICO



Figura 62 Estratégias a que ao consideram o design para desmontagem. (Danish Environmental Protection Agency, 2019)

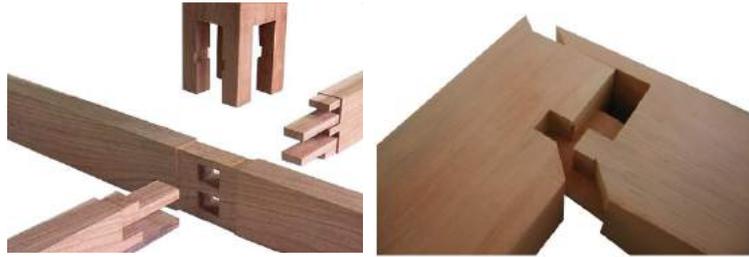


Figura 63 A arquitetura clássica Japonesa utilizava uma técnica antiga de conexões de madeira que não utilizava parafusos, pregos, cola ou elementos metálicos; o encaixe entre as peças era conseguido através de entalhes (Danish Environmental Protection Agency, 2019)



Figura 61 As conexões são fixadas usando parafusos e arruelas de aço com porcas em madeira lamelada. (Danish Environmental Protection Agency, 2019)



Figura 60 Um método de desmontagem otimizado para uma ação muito rápida e simples. As conexões são unidas por um mandril com duas fendas e arruelas estabilizadoras, que podem ser desfeitas para desmontar a peça. (Danish Environmental Protection Agency, 2019)



Figura 59 Exemplo de conexões entre os componentes com parafusos de transferência de carga acessíveis, colocados em caixas de ancoragem pré-moldadas incorporadas no componente. São Fáceis de apertar e desmontar. (Danish Environmental Protection Agency, 2019)

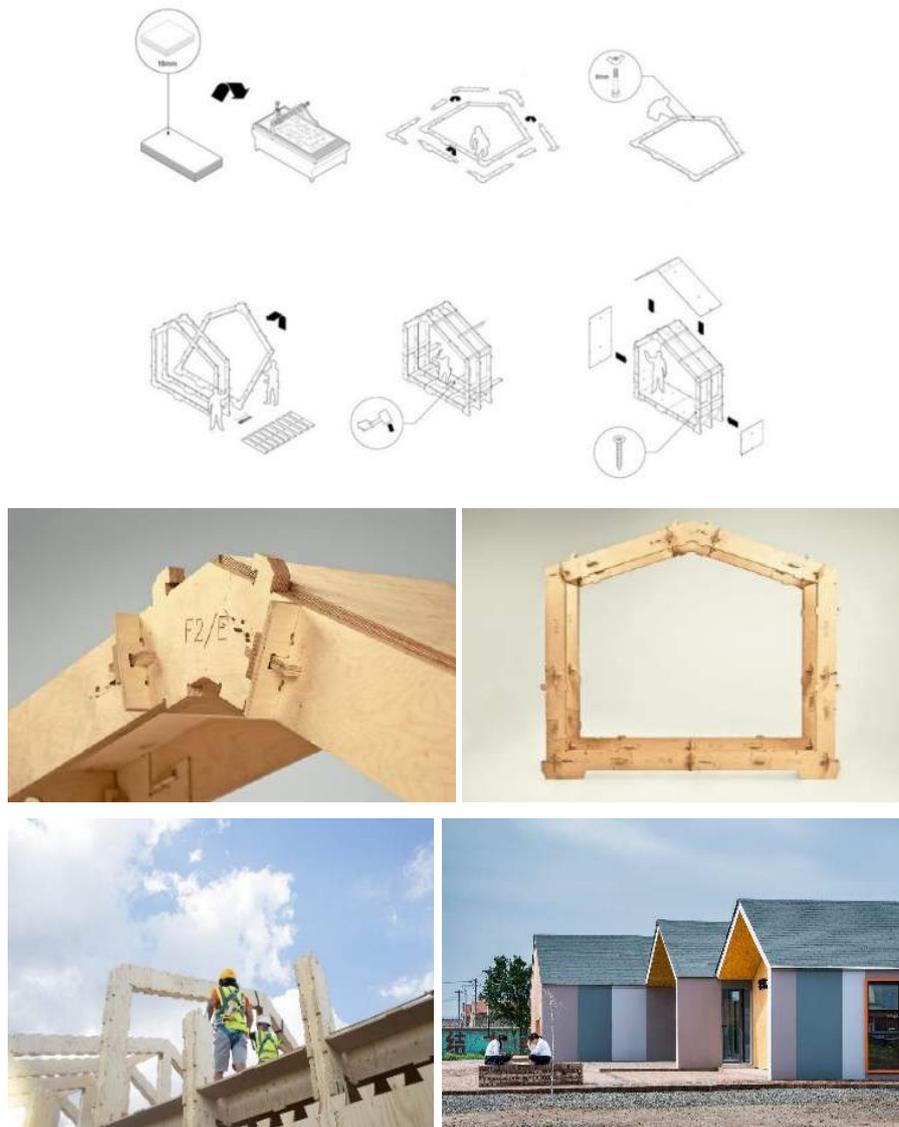


Figura 64 Fase de construção WikiHouse 3D (Wikihouse, 2019)

A Wikihouse é uma plataforma que oferece um sistema de prefabricação 3D que teve origem no Reino Unido. Este sistema está adaptado a qualquer pessoa que queira projetar e construir casas, com alto desempenho e personalizadas de acordo com as suas necessidades a baixos custos. Este sistema não só permite a otimização dos recursos diminuindo o desperdício, como permite uma montagem, manutenção e desmontagem rápida e fácil, devido ao seu método construtivo padronizado e conexões reversíveis (Wikihouse, 2019). A impressão 3D permite a criação de formas com menos material em comparação com técnicas convencionais e a projeção de sistemas construtivos que permitem a utilização de menos material, a montagem e desmontagem mais fácil e rápida, minimizando os resíduos e o consumo de recursos (Arup, 2016).

2.1.3. DESIGN COM MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

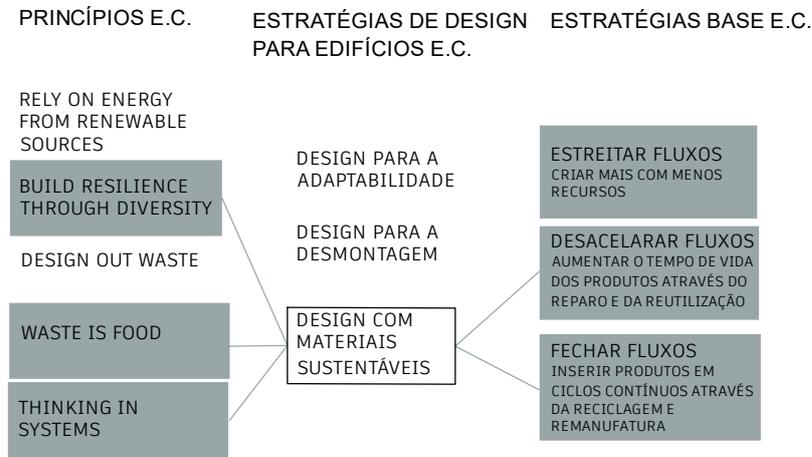


Figura 65 Relação entre os Princípios da Economia Circular (s-2.1), Estratégias de Projeto de Arquitetura e Design, e as Estratégias Base definidas na secção 2.4

O material tem um papel essencial num edifício e este é “indissociável da técnica e arte da arquitetura” (Ferreira J. P., 2013), pois a matéria é o que constitui e materializa um edifício e as suas qualidades sensoriais definem o carácter do lugar (as texturas, as cores, a temperatura, os cheiros). Segundo Zumthor, não há elementos secundários na arquitetura, o arquiteto deve conhecer as características e as implicações de todos os materiais e aplicá-los em harmonia com o todo, o edifício (Ferreira J. P., 2013).

Quando o intuito é projetar um edifício com base em conceitos circulares, para além da importância de pensar no lado estético e funcional dos materiais, tirando o proveito de características físicas e químicas de acordo com a função da sua aplicação prática no edifício (estrutural, isolamento, acabamento) é necessário equacionar os impactes ambientais associados ao material e usá-lo como um recurso futuro.

Um edifício circular funciona como um banco de materiais, ou seja, no final da sua vida útil os materiais são libertados e reintroduzidos em novos fluxos. Para o efeito, devem ser declarados e selecionados tendo em conta padrões de sustentabilidade como a pureza, toxicidade, durabilidade, recursos incorporados e eficiência. Deste modo, é necessário ter uma visão global do ciclo de vida de cada material, desde a extração de matérias primas, incluindo o transporte e a produção até à reintrodução do material num novo ciclo, avaliando impactes ambientais associados em cada etapa (Cheshire, 2016).

Na economia circular, como já referido, há uma separação entre materiais biológicos e técnicos. Sendo que os biológicos devem ser devolvidos com segurança à biosfera e os tecnológicos devem ser retidos em *loops* industriais (Cheshire, 2016). Portanto, uma seleção criteriosa de materiais é essencial para o projeto de um edifício circular.

A indústria de materiais está dependente de fluxos de energia, biomassa e material, por conseguinte a sustentabilidade de cada material vai depender, segundo Ashby, a aplicação de três estratégias industriais (Ashby, 2009):

- Eficiência energética: a energia consumida (transporte, indústria, utilização) deve igualar a energia captada por fontes de energia renovável;
- Bio eficiência: a biomassa consumida deve corresponder à disponibilidade de recursos locais, sem perda de habitats ou biodiversidade;
- Eficiência do material: os stocks de materiais são conservados para atender as necessidades, minimizando novos inputs de recursos.

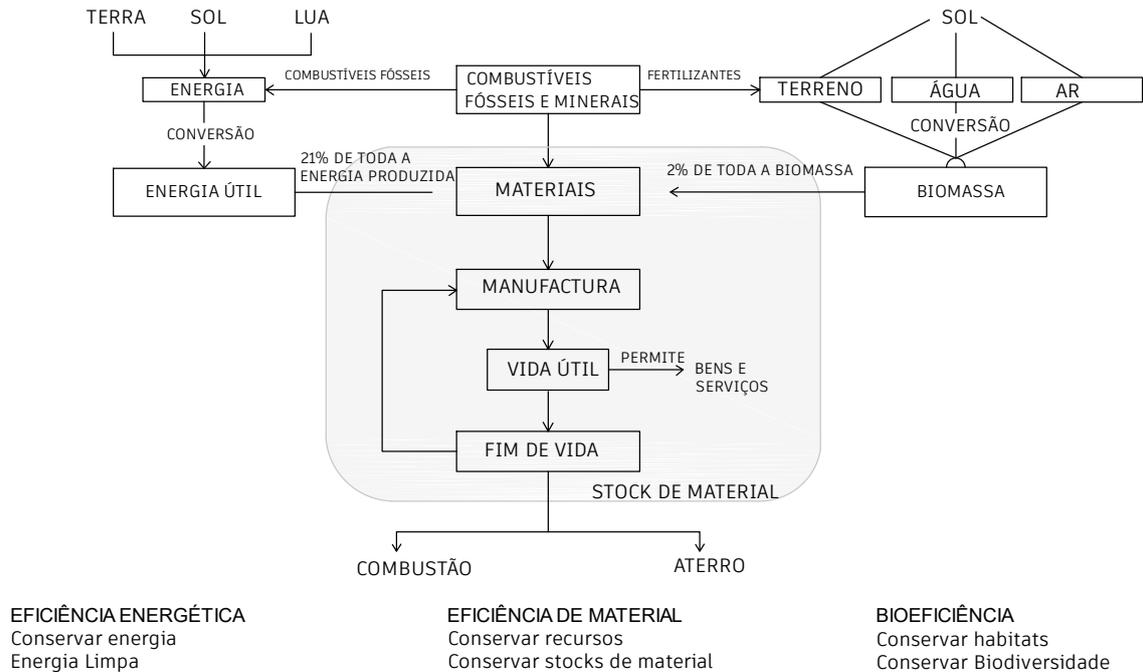


Figura 66 Representação esquemática dos fluxos de energia, biomassa e material na Terra e três estratégias diferentes de eficiência, (Ashby, 2009)

Considerar a eficiência do material e os seus desafios técnicos num projeto de arquitetura levou alguns teóricos a explorar e a documentar estratégias para facilitar a seleção de materiais sustentáveis por parte de designers e arquitetos.

Ashby, no livro *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice* afirma que a seleção de materiais está dependente de requisitos de design e das propriedades dos materiais; neste sentido o autor descreve que na escolha de materiais sustentáveis há quatro etapas que devem ser seguidas: tradução de requisitos de design, triagem, classificação e a documentação (Ashby, 2009).

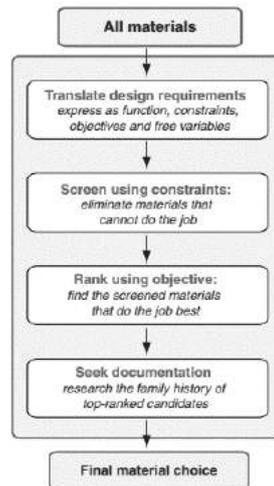


Figura 67 A estratégia. Existem quatro etapas: tradução, triagem, classificação e documentação (Ashby, 2009)

Tradução de requisitos: Qualquer componente do edifício possui uma ou duas funções, como por exemplo, suportar cargas, transmitir calor, isolar. Para facilitar a seleção de requisitos deve-se responder à seguintes questões (Ashby, 2009, p. 168):

- Função: "o que é que o componente faz?"⁴⁰
- Restrições: "Quais são as condições que devem ser atendidas e que não são negociáveis?"⁴¹
- Objetivos: "O que é que deve ser maximizado ou minimizado?"⁴²
- Variáveis livres: "Quais são os requisitos que o designer pode mudar?"⁴³

Triagem: Eliminar os materiais que não correspondem aos requisitos estabelecidos (Ashby, 2009).

Classificação: Os materiais que passam a fase de triagem são ordenados de acordo com a sua capacidade de responder a critérios de excelência como minimização de custos, energia incorporada ou pegada de carbono (Ashby, 2009).

⁴⁰ Traduzido pela autora do original Function: *What does the component do?*

⁴¹ Traduzido pela autora do original: Constraints: *What nonnegotiable conditions must be met?*

⁴² Traduzido pela autora do original: Objective *What is to be maximized or minimized?*

⁴³ Traduzido pelo autor do original: Free variables *What parameters of the problem is the designer free to change?*

Documentação: A etapa onde são aprofundadas as características do material, como deve ser usado e como se deve projetar com ele.

Common constraints	Common objectives
Must be:	Minimize:
Electrically conducting	Cost
Optically transparent	Mass
Corrosion resistant	Volume
<i>Nontoxic</i>	Thermal losses
<i>Nonrestricted substance</i>	Electrical losses
<i>Able to be recycled</i>	<i>Resource depletion</i>
	<i>Energy consumption</i>
Must meet a target value of:	<i>Carbon emissions</i>
Stiffness	<i>Waste</i>
Strength	<i>Environmental impact</i>
Fracture toughness	
Thermal conductivity	
Service temperature	

Figura 68 Exemplo de restrições e objetivos comuns (Ashby, 2009)

Ainda no âmbito de facilitar a seleção de materiais, salienta-se o trabalho de Yang e Ogunkah. Na publicação *A multi-criteria decision support system for the selection of low-cost green building materials and components*, os autores propõem uma série de critérios e um sistema de apoio à decisão e a avaliação de materiais de construção verdes e de baixo custo. Para o efeito, basearam -se num processo de hierarquia analítica que relaciona aspetos ambientais, técnicos, socio culturais e de desempenho económico que se traduzem numa classificação. As etapas metodológicas são demonstradas na figura 70 e enumeradas a seguir. (Yang & Ogunkah, 2013).

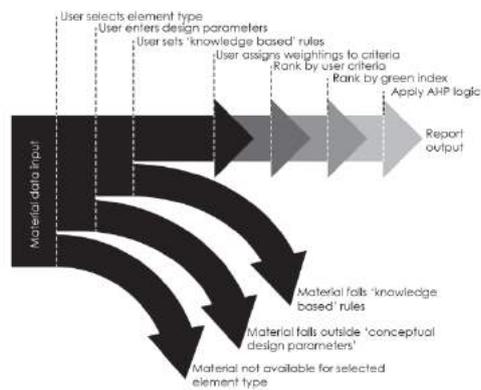


Figura 69 Representação gráfica do sistema de apoio à decisão (Yang & Ogunkay, 2013)

As etapas metodológicas para a seleção de materiais e componentes de construção ecológicos de baixo custo são:

- 1- Definir o objetivo (função) e as metas gerais (requisitos)
- 2- Identificar o conjunto de material possíveis para avaliação
- 3- Remover todas as alternativas inviáveis
- 4- Avaliar as alternativas restantes: Esta etapa implica avaliar as alternativas viáveis usando um modelo multicritério AHP - Analytical Hierarchy Process. Para o efeito, deve definir-se o grau de importância relativa de casa requisito/atributo que foi anteriormente

definido. Assim os atributos/requisitos têm ponderações distintas na avaliação (Yang & Ogunkah, 2013).

De seguida, os materiais são avaliados de acordo com cada atributo e respetiva importância. Este processo resulta de uma pontuação que avalia o material de acordo com o valor de utilidade em relação a todos os atributos selecionados (Yang & Ogunkah, 2013).

5 – Quando todos os materiais (diferentes alternativas) forem avaliados pelo modelo AHP, é possível comparar os materiais e identificar os que obtêm a maior classificação, e logo as escolhas preferíveis.

6 – Selecionar o material com base na classificação.

7- Começar a avaliação de outro elemento de design (Yang & Ogunkah, 2013).

O trabalho dos autores deu origem a uma estrutura apresentada na figura 71, onde os materiais são avaliados em cinco critérios divididos em sessenta subcritérios.

Em paralelo, Akadiri & Olomolaiye na publicação *Development of sustainable assessment criteria for building materials selection*, afirmam que os padrões de seleção atuais focam-se nas características técnicas ignorando os fatores ambientais; neste sentido, à semelhança de Yang e Ogunkah, propõem uma análise multicritério que considera o impacto ambiental, custo do ciclo de vida, eficiência de recursos, minimização de resíduos, performance e benefício social (figura 72) (Akadiri & Olomolaiye, 2012).

Selecting appropriate low-cost green building material Yang & Ogunkay, 2013

Main factors	General/site factor	Environmental factor	Economic factor
Sub-factors	GS1 - Location, GS2 - Availability GS3 - Distance GS4 - Building certification, GS4 - Building certification GS5 - Designers' experience GS6 - Site geometry GS8 - Spatial structure GS9 - Spatial activities GS10 - Material scale	EH1 - Env. Compliance EH2 - CO2 emissions EH3 - Users' safety EH4 - Ozone depletion EH5 - Pesticide treatment EH6 - Climate EH7 - Env. Toxicity EH8 - Fossil depletion EH9 - Nuclear waste EH10 - Waste disposal	C1 - Life-cycle cost C2 - Embodied energy cost C3 - Capital cost C4 - Labour cost C5 - Replacement cost C6 - Maintenance cost
	Socio-cultural factor SC1 - Compatible (tradition) SC2 - Compatible (region) SC3 - Control on usury SC4 - Clients' preference SC5 - Custom knowledge	Technical factor T1 - Recyclability T2 - Removability T3 - Maintenance T4 - Stress tolerance T5 - Available skills T6 - Fixing speed T8 - Thermal resistance T9 - Moisture resistance T9 - Moisture resistance T10 - Scratch resistance T11 - Weather resistance T12 - Chemical resistance T13 - Resistance decay T14 - Weight T15 - Life expectancy T17 - UV Resistance T18 - Compatibility	Sensorial factor SN1 - Aesthetics SN2 - Texture SN3 - Colour SN4 - Temperature SN5 - Acoustic SN6 - Odour SN7 - Thick/thin SN8 - Glossiness SN9 - Hardness SN10 - Lighting effect SN11 - Translucence SN12 - Structure

Figura 70 Estrutura da seleção de materiais para selecionar materiais sustentáveis, subdivisão: objetivo - principais fatores - subfatores (Akadiri & Olomolaiye, 2012) (Beurskens & Bakx, 2015)

Selecting sustainable material Akadiri & Olomolaiye, 2012

Main factors Sub- factors	Environmental impact	Life cycle cost	Resource efficiency
	E1 - Environmental staturory compliancy E2 - Toxicity E3 - Ozone depletion E4 - Pollution E5 - Air qualit	L1 - Initial cost L2 - Maintenance cost L3 - Disposal cost	R1 - Method of raw material extraction R2 - Embodied energy R3 - Amount of likely wastage R4 - Environmental impact during harves
	Waste minimization W1 - Environmentally sound disposal option W2 - Recycling and reuse	Performance capability P1 - Fire resistance P2 - Resistance to decay P3 - Energy saving and thermal insulation P4 - Life expectancy of material (durability) P5 - Maintainability	Social benefit S1 - Labour availability S2 - Aesthetic S3 - Use of local materia R4 - Environmental impact S4 - Health & safety

Figura 71 Estrutura da seleção de materiais para selecionar materiais de construção ecológicos de baixo custo (Yang & Ogunkay, 2013) (Beurskens & Bakx, 2015)

De acordo com Beurskens & Bakx, os diferentes métodos de seleção de materiais sustentáveis como os Akadiri e Olomolaiye e Yang e Ogunkah, mostram a complexidade dos fatores que se devem considerar e realçam a necessidade de uma abordagem holística no que toca a edifícios circulares (Beurskens & Bakx, 2015). Acrescentam que, no caso da seleção de materiais em prol de uma economia circular, as estratégias devem ser mais detalhadas e baseadas na eficiência do material, ou seja, em dois aspetos principais: minimizar novas entradas de material e conservar o stock existente.

Portanto, os materiais devem ser inseridos em *loops* de acordo com a *Hierarquia de opções de fim de vida* de produtos de construção circulares (2.1.3), sendo necessário criar uma metodologia focada nestes aspetos (Beurskens & Bakx, 2015).

Para o efeito, os autores estudaram os critérios baseados na literatura (Crowther, 2005), (Thormark, 2001), (VTT Technical Research Centre of Finland, 2013), (Langdon, 2009) e o resultado foi um quadro que relaciona 15 (Beurskens & Bakx, 2015). Este quadro será usado como base orientadora para aplicar a estratégia Design com Materiais Sustentáveis no projeto final de arquitetura no âmbito do presente trabalho.

Pontos orientadores adaptados por Beurskens & Bakx, 2015	Re-life options						
	SERVIÇOS	RECONFIGURAÇÃO	REDESTRIBUIÇÃO	REMANUFATURAÇÃO	RECICLAGEM	CASCATA	BIOSFERA
<p>Legenda do nível de relevância</p> <ul style="list-style-type: none"> ••• Altamente relevante •• Relevante • Normalmente não é relevante 							
CRITÉRIOS ORIENTADORES							
1- Expressar qualidade através de um bom design, com atenção à qualidade a longo prazo, com base nas <i>re-life options</i> .	•••	•••	•••	•••	•	•	•
2- Verificar se os materiais estão detalhados corretamente, para que não se tornem prematuramente obsoletos no sentido técnico.	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•
3- Prestar atenção ao desgaste dos materiais, bem como ao vandalismo e danos das superfícies e permitir que essas áreas críticas sejam mantidas ou substituídas separadamente de outras áreas.	•••	•••	•••	•••	•	•••	•
4- Minimizar o número de diferentes tipos de materiais. Isso simplificará o processo de desmontagem e reduzir o transporte para diferentes locais de reciclagem e resulta em maiores quantidades de cada material, o que significa a reutilização.	•	•	•	•••	•••	•••	•••
5- Fornecer identificação padrão e permanente de vários tipos de material, usando um passaporte, onde os materiais devem receber uma marca de identificação não removível e não contaminante para permitir a classificação futura. Essa marca pode fornecer informações sobre tipo de material, local e horário ou origem, capacidade estrutural, conteúdo tóxico etc.	••	••	••	•••	•••	•••	•••
6- Evitar materiais tóxicos, perigosos e cancerígenos ou prejudiciais. Isso reduzirá o potencial de contaminação de materiais para reciclagem e reduzirá o potencial de riscos à saúde que, de outra forma, desencorajariam a desmontagem.	••	••	••	•••	•••	•••	•••
7- Evitar materiais que consomem muita energia, com muito carbono incorporado e com vida útil curta.	••	••	••	••	•••		•
8- Fazer uso de materiais fornecidos pelos produtores locais, para minimizar a distância de transporte.	•	••	•••	•••	•••	•••	•••
9- Especificar materiais reutilizados ou materiais reutilizáveis em vez de reciclados, o que aumentará a demanda do mercado por materiais reutilizados.	•••	•••	•••	•••	•	•••	•
10- Selecionar materiais com propriedades para obter um design intemporal, que o torne esteticamente agradável e atraente durante toda a vida útil e remova obstáculos para reutilização.	•••	•••	•••	•••	•	•••	•
11- Utilizar preferencialmente materiais reciclados ou materiais com conteúdo reciclado. O que aumentará a demanda do mercado por materiais reciclados.	•	•	•	•	•••	•	•
12- Utilizar preferencialmente materiais recicláveis para os quais já existe um mercado; ou produtos com processos em cascata que podem entrar novamente na biosfera com segurança.	•	•	•	•	•••	•••	•••
13- Evitar acabamentos secundários dos materiais. Esses revestimentos podem contaminar o material e dificultar a reciclagem, sempre que possível, usar materiais que forneçam como o seu próprio acabamento ou acabamentos mecanicamente separáveis.	•	•	•	•••	•••		•
14- Evitar materiais compostos e faça submontagens inseparáveis do mesmo material. Dessa maneira, evita que grandes quantidades de material sejam contaminadas por uma pequena quantidade.	•	•	•	•••	•••	•••	•••
15- Usar materiais e componentes leves. Isso tornará o manuseio mais fácil e rápido, tornando a desmontagem e a reutilização uma opção mais atraente. Isso também permitirá uma desmontagem mais fácil para manutenção e substituição regulares de peças.	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••

Figura 72 Critérios para a seleção de materiais e sua relevância para para *Hierarchy of re-life options* uma economia circular no ambiente construído, traduzido e adaptado pela autora. (Beurskens & Bakx, 2015)

2.2. ESTRATÉGIAS DO DOMÍNIO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

As estratégias de projeto e de design para edifícios anteriormente mencionadas são essenciais para que os restantes estágios do ciclo de vida do edifício e do setor da construção possam funcionar de forma circular. A transição para uma Economia Circular abrange toda a cadeia de fornecimento: indústria de materiais e produtos de construção, empresas de construção, redes de transporte, modelos de negócio e empresas de tratamento de resíduos.

Nas construções circulares, os edifícios são bancos de materiais; assim, o valor e as oportunidades de reutilização e reciclagem são assegurados pela desmontagem. Os produtos são mapeados e utilizados para colmatar as necessidades futuras de construção criando uma rede de abastecimento local onde a procura e a oferta estão sempre em equilíbrio.

De acordo com Thelen *et al*, a indústria da construção envolve uma série de partes e agentes ativos e cada uma destas partes interliga-se e tem um papel significativo na transição para uma economia circular como demonstrado na (figura 74) (Thelen, et al., 2018).

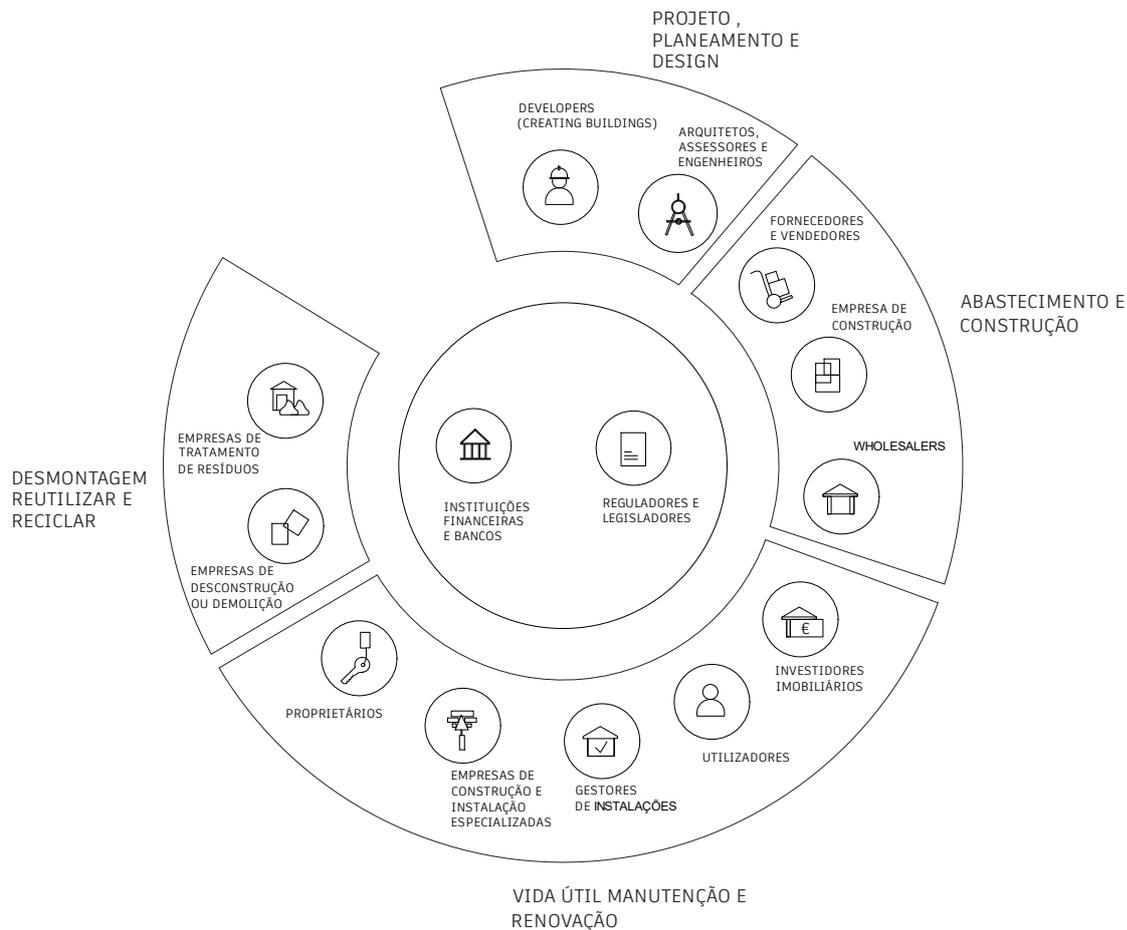


Figura 73 Principais agentes interessados no ambiente construído (Thelen, et al., 2018)

DEVELOPERS⁴⁴

(CREATING BUILDINGS)

- Possuem um papel importante pois são os principais colaboradores das fases de uso e desconstrução, logo passam a equacionar requisitos de circularidade nestas fases.
- Incentivam a colaboração como plataformas partilhadas (exemplo: espaços que alberguem várias funções e diversas empresas)
- Estimulam e apoiam novos modelos de negócios circulares.
- As suas ações refletem requisitos de certificações para a construção sustentável como o BREEAM e LEED (Thelen, et al., 2018).

ARQUITETOS, ASSESSORES E ENGENHEIROS

- Juntamente com seus clientes e investidores, aplicam uma perspectiva de ciclo de vida e circularidade nos Edifícios.
- Aplicam as estratégias de design para a circularidade na fase de projeto, referidas anteriormente.
- Aplicam novas soluções, materiais reutilizados, reutilizáveis, reciclados e recicláveis.
- Consideram os custos do ciclo de vida de cada material e utilizam plataformas de partilha (Ep. os materiais de construção e equipamentos).
- Utilizam um banco de dados e (em tempo real ou digital) para identificar fontes de abastecimento de material na cidade, de acordo com a disponibilidade local (Thelen, et al., 2018).

FORNECEDORES E VENDEDORES

- O mercado está voltado para novos materiais sustentáveis, não tóxicos e renováveis (de base biológica) ou reciclados, e para serviços adicionais, como a virtualização de serviços, a venda de funcionalidade ao invés de bens materiais, aluguer ou remanufatura.
- Os produtos são identificados através de um passaporte material, onde consta informações sobre o seu perfil circular, origem e qualidade. -Os fornecedores entregam produtos com esse "passaporte", oferecendo transparência e máxima qualidade aos clientes (Thelen, et al., 2018).

EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO

- Os empreiteiros certificam-se que as empresas envolvidas no projeto de construção, operam de acordo com os princípios da circularidade.
- Os modelos BIM (*Building Information Modeling*) são usados para facilitar a integração de diferentes instalações (Thelen, et al., 2018).

WHOLESALEERS⁴⁵

- Tornam-se bancos de fornecimento de material importantes, pois tornam-se uma peça central na cadeia de fornecimento, conectando os recursos e os clientes.
- Tornam-se fornecedores de material reutilizável, reutilizado, reciclado e reciclável
- Incentivam a partilha e a recuperação de recursos (Thelen, et al., 2018).

INVESTIDORES IMOBILIÁRIOS⁴⁶

- Os investidores imobiliários passam a garantir o desempenho elevado na construção através da manutenção inteligente e renovações regulares.
- Passam a considerar o valor residual dos seus ativos e a investir não apenas nos edifícios, mas também no stock de materiais e componentes que os compõem.
- Passam a vender materiais de construção a empresas de segunda mão ou empresas de reciclagem (Thelen, et al., 2018).

USUÁRIOS

- Os usuários utilizam o edifício e este deve atender às suas necessidades. Os edifícios são projetados para a adaptabilidade e não apenas para servir um único uso e um grupo específico de usuários.
- A conceção dos edifícios passa a influenciar os usuários a tomar decisões mais sustentáveis, como poupança de eletricidade, água, equipamentos, entre outros.
- Os usuários coabitam e partilham espaços, equipamentos e plataformas (Thelen, et al., 2018).

GESTÃO DE INSTALAÇÕES⁴⁷

- São consideradas essenciais em modelos de negócio que vendem uma função de vez de um bem material.
- Garantem o desempenho máximo do edifício e das suas de instalações.
- Passam a identificar padrões, antecipar problemas ou necessidades de manutenção (Thelen, et al., 2018).

<p>COMPANHIAS DE CONSTRUÇÃO e INSTALAÇÃO ESPECIALIZADAS⁴⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> - Passam a optar por vender serviços em vez de produtos físicos. Desta forma permanecem proprietários e desmontam os seus produtos para que as peças possam ser reutilizadas e os materiais reciclados (Thelen, et al., 2018). 	<p>PROPRIETÁRIO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quer manter o edifício no seu valor mais elevado. O valor passa a ser determinado não só pelo edifício enquanto imóvel, mas também pela sua função, nível de circularidade e comportamento dos utilizadores. - Quando os edifícios são bancos de materiais, e muitos deles obtidos por contratos de serviços, o papel do proprietário passa a ser de gerir estes contratos e materiais, e aplicar soluções inteligentes de manutenção (Thelen, et al., 2018).
<p>EMPRESAS DE DESCONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Passam a separar os elementos de um edifício para prepará-los para a reutilização, remanufactura e reciclagem. - Passam a trabalhar em conjunto com as empresas de instalação e/ou prestadores de serviços. - Estabelecem parcerias com revendedores e <i>wholesalers</i>, para venda recursos e materiais. - Procuram novas soluções técnicas de desconstrução em prol de preservar os materiais (Thelen, et al., 2018). 	<p>EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estas empresas possuem um papel fundamental na introdução dos materiais nos novos ciclos de uso. Assumem-se como responsáveis pela gestão de resíduos e aplicam soluções eficientes para separar os diferentes fluxos. Contudo, numa economia circular estas empresas deixam de ser vistas apenas como gestoras do final de ciclo de vida dos materiais e componentes de construção e passam a ser consideradas importantes fornecedoras de recursos. - Passam a gerir os recursos para a recuperação completa (reutilização/reciclagem de materiais, componentes) - Conectam-se ao mercado para vender os recursos recuperados (Thelen, et al., 2018).
<p>REGULADORES E LEGISLADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Por meio da legislação e políticas que protegem usuários, cidadãos empresas e funcionários. Estes passam a consciencializar a sociedade para a economia circular quer através da política quer da legislação. - Passam a criar peças legislativas que estimulem a construção circular como a criação de incentivos que beneficiem soluções e modelos de negócio circulares sobre os lineares - Passam a criar uma série de novas políticas como políticas circulares de compras públicas (Thelen, et al., 2018). 	

⁴⁴ Os *Developers* são organizações que constroem, reconstroem ou reformam edifícios para obter lucro. Diferenciam-se dos investidores imobiliários que compram edifícios concluídos e vendem ou os alugam com fins lucrativos. Os *Developers* vendem os empreendimentos quando concluídos ou retêm os empreendimentos agindo como uma propriedade investidora.

⁴⁵ Os *Wholesalers* são organizações distribuidoras de bens de vários produtores, desta forma, revendem produtos novos ou usados a revendedores (geralmente á indústria, comercio, instituições.), em grandes quantidades a preços reduzidos.

⁴⁶ Os Investidores Imobiliários avaliam o mercado imobiliário em prol de arrecadar riqueza a longo prazo. A sustentabilidade já é considerada na maioria dos investimentos, contudo ainda são considerados aspetos sustentáveis a curto prazo.

⁴⁷ Os gestores de Instalações garantem as operações dentro de um edifício como iluminação, instalação de Ti, serviços públicos e gestão de resíduos.

⁴⁸ As companhias de construção e instalação especializadas, são empresas que cedem e instalam produtos especiais nos edifícios, realizam a manutenção e as atividades de substituição ao longo do ciclo de vida do edifício.

Os autores acrescentam, ainda, que os principais obstáculos para a transição do setor da construção dividem-se em cinco temas principais que estão interligados (Thelen, et al., 2018):

- A cultura: a cultura das próprias empresas como questões competitivas, hesitação em arriscar em novos modelos de negócio; a hesitação dos consumidores em comprar materiais usados e a pagar preços adequados por eles (Thelen, et al., 2018).
- A legislação: as leis não estimulam a transição e não impulsionam a inovação no setor, portanto, são necessárias novas peças legislativas com coerência local, regional, nacional e global (Thelen, et al., 2018).
- O mercado: o preço das matérias primas virgens ainda é muito reduzido, o que as torna por vezes mais rentáveis que a reciclagem; não considerar os riscos de mercado da economia linear; a falta de experiência e modelos de negócio voltados para a reutilização e reciclagem; a necessidade de investimentos iniciais altos; a falta de subsídios e incentivos de mercado (Thelen, et al., 2018).
- A tecnologia: falta de projetos e novos estudos para incentivar a inovação tecnológica, pois requerem tempo e dinheiro. A inovação é essencial para a transição, como por exemplo, novos métodos de separação de fluxos de resíduos, novas tecnologias de produção, novas práticas de design, métodos de georreferenciação de fluxos entre outros (Thelen, et al., 2018).
- A Educação e informação: falta de programas educativos do pensamento circular no ensino (primários, secundário, profissional, superior...) sobretudo nas escolas de arquitetura e engenharia civil; falta de cursos formativos, workshops e seminários sobre o tema; falta de interesse dos consumidores e investidores (Thelen, et al., 2018).

A relação entre os vários obstáculos (exemplo: a mudança cultural resulta na mudança do mercado que, por sua vez, é estimulado pela regulação) é o motivo pelo qual a transição integrada do setor é um objetivo complexo que necessita de uma abordagem holística.

Em paralelo, Beurskens & Bakx definem os principais agentes ativos e os processos que devem ser estimulados num modelo de economia circular adaptado ao ambiente construído. Defendem que o modelo da economia circular apresentado pela EMF não clarifica como deve funcionar um edifício circular. Desta forma os autores defendem que o stock de material deve circular na economia segundo a Hierarquia das opções de fim de vida de produtos de construção circulares⁴⁹ definida, na subsecção 2.1.2 (Beurskens & Bakx, 2015). Admitem como os agentes do modelo:

- O Fabricante de materiais: Os agentes que transformam a matéria-prima no seu estado natural em materiais biológicos e técnicos (Beurskens & Bakx, 2015).

⁴⁹ Sugerido pela autora do inglês *Hierarchy of re-life option*

No âmbito deste trabalho importa salientar as relações em circuito aberto e fechado que podem ser estabelecidas na indústria da construção ilustradas no modelo de 3 fluxos da figura 78. O fluxo 1 ilustra os fluxos que ocorrem no âmbito da indústria dos materiais de construção, estes implicam a gestão partilhada e valorização de resíduos e subprodutos resultantes dos processos produtivos dentro do setor. O fluxo 2 ilustra um fluxo de valorização de RCD (resíduos após uso), estes podem retornar à fábrica e sofrer novos processos produtivos (reciclagem/remanufatura) dando origem a novos materiais de construção, ou se apresentarem condições adequadas podem ser reintroduzidos diretamente no mercado de segunda mão (reutilização) (Corte, 2016). Também se inclui nesse fluxo os RCD reaproveitados no local da obra. O fluxo 3 corresponde à valorização de resíduos e subprodutos resultantes de processos produtivos de outras indústrias ou à valorização de resíduos de construção e demolição como novos recursos para o setor da indústria de materiais de construção. A valorização dos subprodutos/resíduos pode acontecer por via de processos de reciclagem, remanufatura ou reutilização. Este fluxo permite não só reduzir os impactos da indústria da construção como também de outros setores industriais. O capítulo 4 desta dissertação explora matérias de construção emergentes que beneficiam deste fluxo (Corte, 2016).

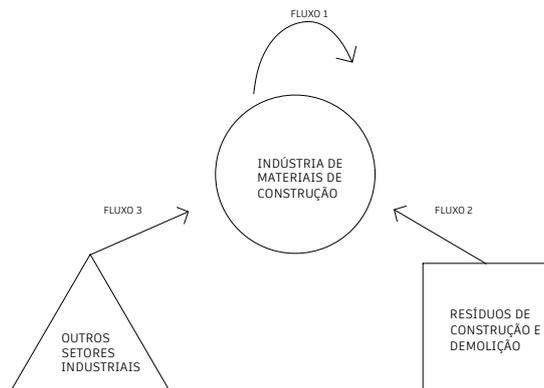


Figura 75 Modelo de 3 Fluxos Ilustra a possível relação entre o Setor da Construção e outros setores Industriais baseado em (Corte, 2016, p. 11)

Em suma, pode-se afirmar que um edifício circular deve ser projetado para garantir que todos os materiais, componentes e sistemas possam ser libertados e reinquiridos em *Loop*. Para o efeito, todos os agentes do setor da construção têm o papel ativo na transição e o mercado terá de sofrer alterações significativas (Corte, 2016).

2.2.1. CONSTRUIR COMO UM BANCO DE MATERIAIS E PASSAPORTE DE MATERIAIS

Thomas Rau no livro *'Material Matters'* defende que, para que um edifício funcione como um verdadeiro banco de materiais, todos os componentes devem ser devidamente identificados, desta forma propõe que estes devem possuir um passaporte. Para o autor, um material que não está identificado é facilmente perdido na cadeia produtiva, transformando-se num resíduo, desta forma conclui que os resíduos são uma matéria sem identidade (Cheshire, 2016) (Rau, 2018).

Os conceitos de passaporte de matérias primas e de projetar edifícios como um banco de material foram pela primeira vez aplicado no projeto do atelier *Rau Architects* em 2013, vencedor de um concurso para a reabilitação da sede do município de Brummen (Alemanha), uma instalação temporária com uma vida útil de 20 anos (Cheshire, 2016).



Figura 76 Her- en verbouw gemeentehuis Brummen (Reabilitação da sede do Município de Brummen) 2013 (BAM, s.d.)

O conceito do projeto era então projetar uma instalação que funcionasse como um depósito de matéria-prima. Para o efeito, os arquitetos projetaram uma estrutura em madeira com componentes pré-fabricados que permitem facilmente a desmontagem e a posterior libertação dos materiais para serem inseridos em ciclos de uso.

Para facilitar a gestão de todos os materiais e componentes, foi realizada uma documentação através de passaportes a fim de simplificar a reutilização futura de produtos e materiais de construção.

Para além da preocupação em garantir a reciclagem e reutilização futura dos materiais, foi priorizado o uso de materiais reutilizados, por exemplo a receção foi construída com cartão reutilizado de uma fábrica local; a estrutura de betão do antigo edifício é partida em pequenos pedaços e reutilizada nos parapeitos, pavimento, entre outros.

O programa *Building as Bank Materials* (BAMB) nasceu do conceito de Thomas Rau, é um programa financiado pela União Europeia e cria soluções para aumentar o valor dos materiais de construção a partir de dois sistemas: o design para a desmontagem e o passaporte dos materiais (Hutton, et al., Abril 2016). O projeto para a desmontagem garante reutilização e reciclagem de todos os componentes, assim, o edifício é interpretado como uma compilação temporária de materiais de construção. Para efeito, o programa utiliza duas plataformas: o BIM 3D que permite a monitorização de todos os componentes do edifício e os Passaportes de Materiais que permitem a identificação de todos os componentes do edifício (Hutton, et al., Abril 2016).

O Passaporte dos Materiais do BAMB (PM) é um método que facilita a acessibilidade da informação acerca dos materiais e componentes (Heinrich & Lang, 2019). É uma base de dados digital organizada, que indica as características de cada produto de construção. É uma compilação de documentos e certificações que descrevem a composição dos produtos, métodos de desmontagem, potencial de reutilização e reciclagem, entre outros. Assim, apresenta-se como um relatório digital contendo os dados essenciais para que os produtos possam circular em *loops* contínuos e técnicos e em *loops* biológicos com segurança mantendo o valor mais alto possível (Heinrich & Lang, 2019).

A estrutura do PM está dividida em diferentes níveis hierárquicos: o nível dos materiais, dos componentes, produtos e sistemas (Heinrich & Lang, 2019).



Figura 77 - Diferentes níveis hierárquicos do Passaporte dos materiais (Heinrich & Lang, 2019)

As informações recolhidas sobre cada nível são divididas em características iniciais, características atuais e características pós-uso (exposição histórica ao clima, transporte, desmontagem e contato com produtos químicos etc.) (Danish Environmental Protection

Agency, 2016). Para além disso, são descritas as especificações químicas, físicas e técnicas; o impacte ambiental durante a produção e a vida útil; garantias da qualidade e certificados relevantes. Contém ainda as instruções de montagem, desmontagem, manutenção, reconstrução e reutilização e o código exclusivo para identificar a localização exata na construção no edifício (Danish Environmental Protection Agency, 2016)

O passaporte deve sempre representar o estado atual do edifício e deve ser atualizado regularmente. Importa destacar que os componentes destinados à reutilização devem ser testados ou examinados adequadamente, para fornecer a avaliação necessária e assegurar a próxima vida do material (Danish Environmental Protection Agency, 2016)

Em suma, os passaportes de materiais incentivam os fornecedores a produzirem materiais e produtos saudáveis, sustentáveis e circulares; apoiam o design para a desmontagem e facilitam a reintrodução de produtos e materiais na cadeia produtiva, incentivando fluxos de materiais contínuos (Heinrich & Lang, 2019).

“A material passport is connection between information and element, rather than a collection of information about an element.” (Danish Environmental Protection Agency, 2016)



Figura 78 Cinco princípios a considerar no passaporte dos materiais (Danish Environmental Protection Agency, 2019)

2.2.2. UM MERCADO PARA MATERIAIS RECUPERADOS

Na economia circular, os resíduos deixam de ser considerados resíduos e passam a ser considerados recursos; isto significa que os materiais devem ser claramente identificados, catalogados e separados sem perder valor (Cheshire, 2016). Os Arquitetos para além de utilizarem materiais reutilizados e reciclados devem pensar como é que eles podem ser recuperados no fim de vida do edifício e os empreiteiros devem garantir as melhores práticas de construção e desconstrução. Desta forma, os materiais são libertados dos edifícios existentes e redistribuídos. É necessária a criação e estímulo de um mercado voltado para o stock de material recuperado disponível na região (Cheshire, 2016). A falta de apoio económico e logístico para a criação de uma estrutura robusta que envolve a recolha, armazenamento e distribuição de materiais usados, resíduos e subprodutos com potencial económico, expõe a necessidade iminente de estratégias para a sua concretização.

No âmbito do programa *Future Leaders* do *UK Green Building Council*, foi desenvolvido um método prático para a revenda de material usado a partir da criação de um site interativo conectado a um mercado de materiais de construção usados. Desta forma, os usuários conseguiriam identificar os materiais previamente documentados em passaportes e disponíveis na região, para então licitá-los. Para além da facilidade e da rápida ligação entre o consumidor e o revendedor, este sistema permitiria atribuir valor aos materiais ainda dentro do edifício existente, antes da demolição/desmontagem, pois os proprietários dos edifícios sabem com antecedência quando estes vão ser demolidos. Assim, plataformas deste género tornam-se um incentivo económico para os proprietários e uma forma de garantir que os materiais sejam recuperados e desmontados adequadamente (Cheshire, 2016).

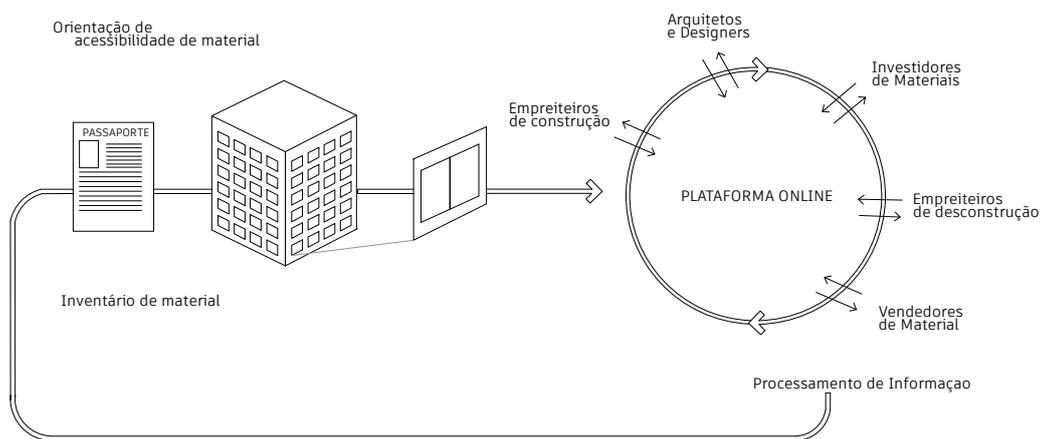


Figura 79 - Um mercado online para materiais, proposto pelo UK-GBC. (Cheshire, 2016)

A *GlobeChain*, a operar na Inglaterra, criou um mercado online de produtos usados de vários setores incluindo o da construção. O objetivo é recolher produtos não utilizados de empresas e listá-los numa plataforma online, onde instituições de solidariedade social e outros setores e indivíduos podem adquiri-los (Globechain, s.d.)

Em Portugal opera uma plataforma semelhante, o Repositório de Materiais, através da qual são vendidos produtos usados do setor da construção. O Repositório de Materiais na fase piloto começou na cidade do Porto, expandiu-se para Lisboa e tem como ambição abranger todo o território nacional. (Materiais R. d., s.d.).

Para além da criação de plataformas e outros sistemas que estimulem fluxos de recursos em circuito fechado, devem ser criadas redes e intercâmbios entre indústrias como forma de resgatar materiais e componentes de outros setores no setor de construção (Cheshire, 2016).

O atelier *SuperReuse Studios*, reuniu uma equipa composta por químicos, cientistas, ambientalistas e analistas que desenvolveram métodos para ajudar os designers arquitetos e engenheiros a “transformarem as cidades numa teia viva de processos e materiais conectados”⁵¹. Neste contexto, a equipa desenvolveu um conjunto de plataformas web que permitem conectar a procura e fornecimento de material local (Cheshire, 2016).

O site *Harvestmap*⁵² fornece uma biblioteca de materiais disponíveis (resíduos de outras indústrias e resíduos de construção e demolição). A plataforma trabalha usando como recursos o *Google Earth* para localizar os *stocks* de material. Para além de permitir identificar a localização de resíduos locais, o site oferece orientações de como estes podem ser aplicados na construção (Cheshire, 2016).

O sócio-fundador dos *SuperReuse Studios*, Jan Jorgert, admite que pensar numa economia apenas em ciclo fechado implica perder o valor de muitos recursos com potencial, sendo também essencial estudar e pensar que os resíduos e subprodutos de determinadas indústrias podem-se tornar matéria prima para outras (Cheshire, 2016).

O projeto mais icónico dos *Supereuse Studios* que explora estes conceitos foi a Villa Welpeloo nos Países Baixos, construída em 2010 com 60 % materiais reutilizados e reciclados (Archiweb, 2012). Durante a fase de projeto, os arquitetos exploraram os fluxos de materiais na região com o objetivo de usar resíduos regionais como materiais de construção. As possibilidades de reutilização e reciclagem foram mapeadas num raio de 50 km do estaleiro de obras, através do mapa de recolha o “harvest map” (Archiweb, 2012).

⁵¹ Traduzido peça autora do ingles: help designers turn cities into a living web of connected material processes and flows

⁵² <http://www.harvestmap.org>

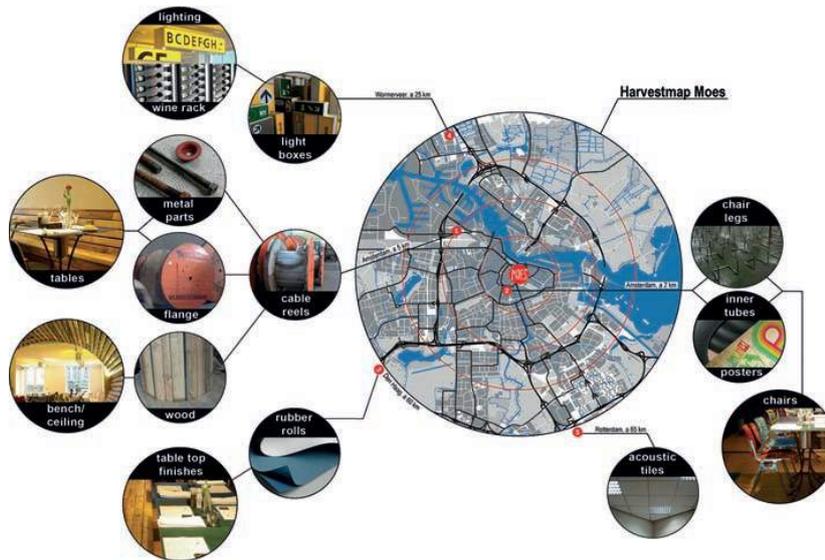


Figura 80 Harvest map Super reuse studios (Cheshire, 2016).

O edifício tem dois pisos e 300m² de área, 90% dos elementos estruturais (perfis de aço) foram recuperados de uma antiga máquina industrial de têxteis e por vigas de madeira recuperadas (Magalhães, 2010) (Archiweb, 2012).

A fachada é caracterizada por uma série de ripas de madeiras reaproveitadas de 600 boninas usadas para enrolar cabos. Para o isolamento foram utilizadas placas EPS reutilizadas de sobras da indústria local (Magalhães, 2010) (Archiweb, 2012). O revestimento das paredes e pisos das instalações sanitárias é composto pelo *Smile Plastics*, um material produzido a partir de 100% plástico reciclado (Plastics). Os candeeiros foram construídos com guarda-chuvas partidos, alguns móveis com painéis multiplex reutilizados e o elevador é um elevador industrial em segunda mão (Archiweb, 2012).

De acordo com os arquitetos, a reutilização e reciclagem de materiais locais permitiu reduzir significativamente a pegada de carbono do edifício, a madeira reutilizada representou uma poupança de 85% de CO₂ em comparação com um revestimento de madeira novo e a estrutura de aço reutilizada economizou 95 % em comparação com uma estrutura virgem (Magalhães, 2010) (Archiweb, 2012).



Figura 84 Exterior Villa Welpeloo (Archello, Villa Welpeloo)



Figura 83 Interior Villa Welpeloo (Archello, Villa Welpeloo)



Figura 82 Ripas da Fachada recuperadas e Interior Villa Welpeloo Mesa com painéis reutilizados (Archello, Villa Welpeloo)



Figura 81 Elevador Industrial e Bobinas de enrolar cabos

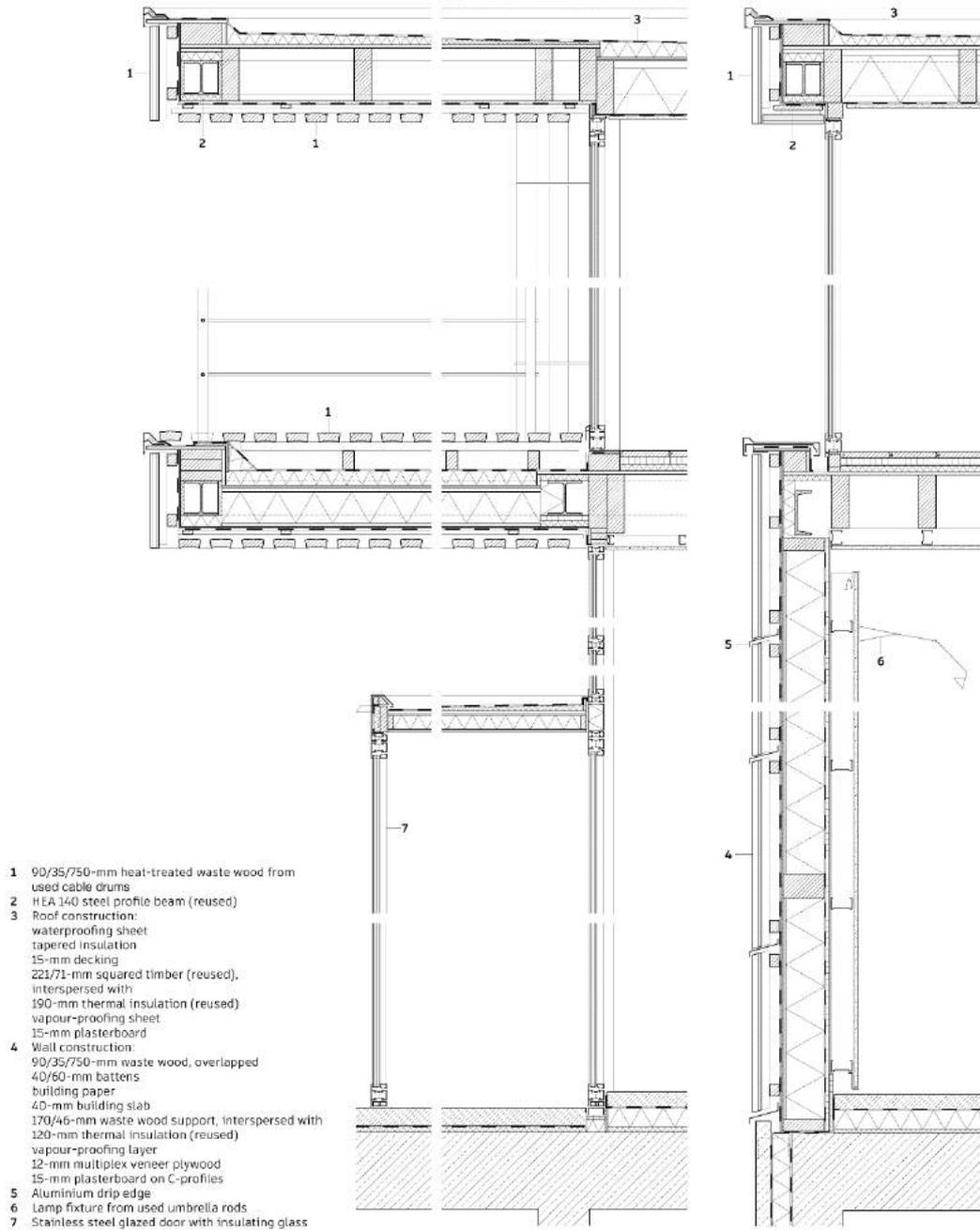


Figura 85 Pormenor construtivo Villa Welpeloo (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2019)

À semelhança do *Harvestmap*, o sistema de georreferenciação urbana REPAIR financiado pelo Programa de Investigação e Inovação da UE -Horizonte 2020, apresenta-se como um método de identificação de fluxos que incentiva e facilita urbanistas, arquitetos, designers, empresas de construção e fabricantes de material a tomar decisões mais sustentáveis e circulares que se adequem ao contexto da cidade.

O principal objetivo do programa é fornecer às autoridades locais e regionais um método inovador de apoio à decisão através de um programa de *geodesign*⁵³ de código aberto (GDSE- *geodesign decision support environment*). Este método tem sido desenvolvido e implementado em áreas metropolitanas, como por exemplo, as de *Ghent*, Amsterdão e de Nápoles. Desta forma, pretende ser uma ferramenta de gestão de recursos e resíduos (*inputs* e *outputs*), através da análise de subsistemas metabólicos, fluxos e stocks da área de estudo. Assim como sistemas de produção, padrões de consumo e impactes ambientais associados a cada fase do ciclo de vida dos materiais, dos componentes e produtos, e as relações sociais envolvidas no sistema. Para o efeito utiliza a metodologia da Análise de Fluxo Espacial baseada em Atividade (AS-MFA).

A uma metodologia AS-MFA considera todo o ciclo de vida do material, e analisa fluxos de um sistema no seu contexto geográfico, identificando padrões de consumo de recursos (Geldermans, et al., 2017).

A metodologia da AS-MFA resume-se à análise de fluxos de materiais de uma determinada região ou cidade analisando 3 fatores principais: (Geldermans, et al., 2017):

- (1) atividades económicas
- (2) materiais associados às atividades,
- (3) a atores envolvidos e suas inter-relações.

Assim, identificam-se as principais atividades, atores (todas as entidades coletivas ou individuais envolvidas) e as respetivas responsabilidades como forma de obter uma compreensão espacial completa da rede regional que envolve a cadeia produtiva em estudo. A análise dos vínculos e padrões (relações entre empresas e consumidores) permite que designers, arquitetos e engenheiros tirem proveito das falhas na rede e identifiquem possíveis trocas de subprodutos entre o setor da construção e outras indústrias, contribuindo para uma cidade mais sustentável (Geldermans, et al., 2017).

Para realizar a AS-MFA baseada em Atividade é necessário seguir seis etapas (Geldermans, et al., 2017):

1.^a Etapa - Determinar amostra do estudo, as etapas da cadeia produtiva e os autores envolvidos, ou seja, a seleção de materiais/resíduos que serão estudados.

⁵³ “*Geodesign* é o processo de pensamento que compreende a criação de uma entidade numa zona do planeta ou, de forma mais simples, *geodesign* é design no espaço geográfico. Consequentemente, o objetivo do *geodesign* é facilitar a vida no espaço geográfico (*geo-scape*).” (William R. Miller, 2012, p. 17)

Tabela 2 - Os principais fluxos são especificados e limitados por meio de aspetos de seleção (Geldermans, et al., 2017):

Aspetos para seleção do fluxo	Exemplo 1	Exemplo 2
Categoria do Resíduo	Resíduos orgânicos de Resíduos sólidos Municipais	
Material	Resíduo alimentício	PVC
Aplicação do material		Tubos, Molduras de janelas
Atores envolvidos	Famílias – Tarefas doméstica	Empresas de demolição
Etapas da cadeia produtiva	Produção; Venda, Retalho; Consumo; Tratamento de Resíduos	Aplicação (instalação, desmontagem), recolha, tratamento de resíduos

2.^a Etapa - Identificar a origem, o destino e o caminho dos fluxos e *stocks* dos materiais definidos na Etapa 1. É importante conhecer toda a cadeia produtiva, para identificar onde os resíduos em estudo são gerados, recolhidos e/ou processados. Salienta-se que um resíduo não é apenas produzido após o consumo (Figura 21), mas também é produzido durante a cadeia (subproduto da indústria). (Geldermans, et al., 2017).

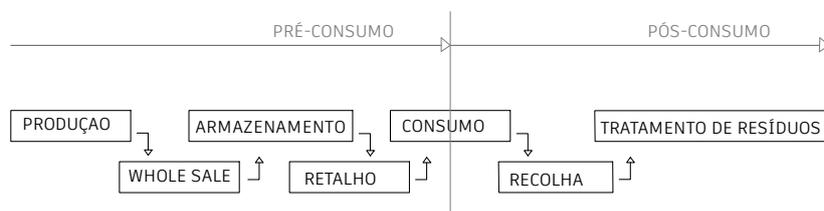


Figura 86 Etapas da cadeia produtiva.

3.^a Etapa - Definir o limite geográfico do Estudo.

4.^a Etapa – Identificar as atividades da cadeia produtiva que são realizadas na região (ou área de foco) e por quem (ator). (Geldermans, et al., 2017, p. 48).

-AS-MFA da região:

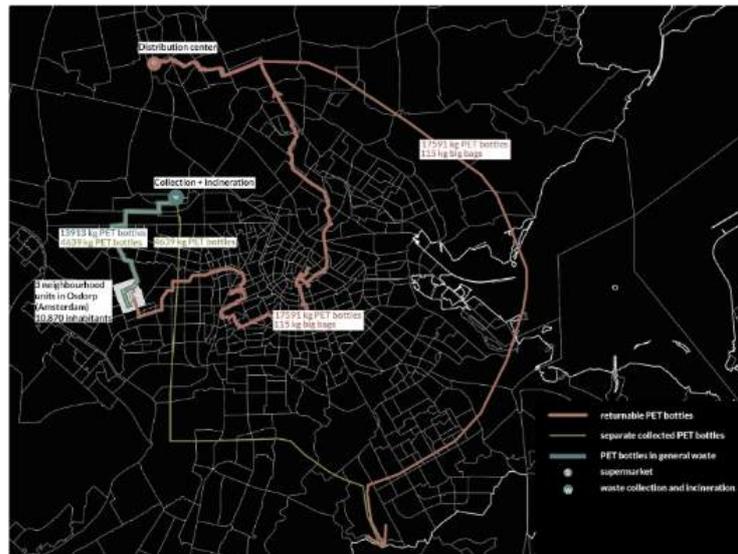


Figura 89 Exemplo de um mapa de AS.MFA de uma região

A Análise de Fluxo Espacial baseada em Atividade permite identificar as principais fragilidades do sistema, ou seja, identificar quais são as etapas na cadeia produtiva onde há consumos elevados de matéria prima e onde os resíduos, subprodutos e poluentes são gerados em maior quantidade. E assim analisar estratégias para colmatar e otimizar estas saídas e entradas através da implementação de princípios relacionados com o conceito de Simbiose Industrial, como a identificação de possíveis trocas de material entre industriais com proximidade geográfica.

2.2.3. VENDA DE SERVIÇOS EM VEZ DE BENS FÍSICOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

No primeiro capítulo foram identificadas quatro estratégias fundamentais para modelos de negócio circulares: regenerar ecossistemas, estreitar fluxos, desacelerar fluxos e fechar fluxos. Nesta secção, serão analisados modelos de negócio que promovem a venda de serviços em vez de produtos físicos, no âmbito da indústria da construção, como um método eficaz para desacelerar e fechar fluxos à escala local.

A venda de serviços ao invés de bens físicos foi introduzida pela primeira vez por Walter Shahel no livro *The Performance Economy*. Este modelo de negócio permite que componentes como a iluminação, revestimentos, estruturas, paredes ou mobiliário sejam alugados a um consumidor, que apenas paga pelo serviço desejado. A manutenção, instalação e a propriedade são da responsabilidade da empresa (Arup, 2016). Desta forma, os fabricantes de produtos são incentivados a usar produtos saudáveis, duráveis e de fácil manutenção; são desenvolvidos métodos que permitem a montagem e desmontagem de sistemas e componentes, para que os materiais que os compõem possam ser separados facilmente e então retornar à linha de produção para serem reutilizados, remanufaturados ou reciclados (Cheshire, 2016).

Algumas empresas e projetos de arquitetura têm vindo a abraçar este conceito. A empresa de iluminação Philips propôs um novo sistema de venda baseado no desempenho, o *Pay-per-Lux*. A empresa vende a iluminação ao invés de lâmpadas e sistemas de iluminação e fica responsável pela instalação, performance, manutenção e relatórios anuais de consumo (Cheshire, 2016). Acrescenta-se, ainda, que a empresa é responsável por pagar as contas de energia, portanto é do interesse da mesma que a iluminação seja eficiente. Os consumidores pagam um valor previamente acordado, como é o caso do da sede do *National Union of Students (NUS)* em Londres, onde foi acordado que nos trimestres onde a energia consumida era mais baixa que a média, este valor é descontado no valor de aluguel acordado (Cheshire, 2016).

Posteriormente a empresa desenvolveu protótipos de lâmpadas que permitem a desmontagem sem a necessidade de ferramentas facilitando a manutenção e posteriormente a remanufatura e reciclagem (Cheshire, 2016).

Em suma, a Philips obtém receita através da venda dos seus serviços e vê os edifícios como bancos temporários de material, que no futuro vão garantir a matéria prima e os componentes para novos produtos de iluminação.

Durante o ciclo de vida do edifício é necessário que na fase de projeto se considere o desenho para a desmontagem (Cheshire, 2016).

O *People's Pavilion*, foi projetado pelo atelier *bureau SLA + Overtreders*, para o evento Dutch Design Week em 2015, e tinha como objetivo utilizar materiais emprestados de empresas locais ou reutilizados. Segundo os arquitetos, muitos edifícios são construídos e demolidos num curto espaço de tempo sem que seja possível aproveitar a maioria dos materiais, assim, o principal objetivo do projeto, para além do uso de materiais reutilizados, foi reinventar os métodos construtivos para que possibilitem a devolução dos componentes e

produtos de construção após o uso à empresa nas melhores condições e sem nunca serem desperdiçados (Frearson, Peoples Pavilion, 2017)

A estrutura do pavilhão é composta por dezanove componentes de madeira e estacas de fundação de betão armado, unidas com correias de fixação, correias de tensão e braçadeiras. O sistema de encaixe desenvolvido em colaboração com engenheiros da Arup permitiu que não fosse necessário o uso de cola, parafusos ou pregos de forma a preservar ao máximo cada material (Frearson, Peoples Pavilion, 2017).

O pavilhão foi revestido com azulejo de plástico com 100% Plástico reciclado do setor na construção, na sua maioria PVC; encaixadas numa rede de aço soldada. Os vidros que envolvem a parte inferior do pavilhão foram reaproveitados de um antigo prédio de escritórios e após a sua vida útil foram utilizados noutra projeto. Assim como a estrutura do telhado, a rede de aço soldado e as calhas que foram emprestadas por empresas e foram posteriormente devolvidas (Frearson, Peoples Pavilion, 2017)

A venda de serviços em vez de produtos permite que os materiais retornem às empresas e fábricas para serem reutilizados e reciclados, mas há outros métodos que promovem esta troca como os incentivos de retorno. Algumas empresas reconhecem as vantagens de garantir que os produtos usados retornem à linha de produção e deste modo criaram redes e infraestruturas para recolher os seus produtos usados e, como incentivo, oferecem vantagem e regalias económicas ao consumidores (Cheshire, 2016).

A título de exemplo, a empresa Caterpillar fabrica máquinas e motores, incluindo equipamentos de construção. É utilizado um sistema de distribuição para recolha dos produtos usados, quando devolvidos, parte do montante pago é restituído (Cheshire, 2016). A empresa incorpora os produtos usados na sua linha de produção. Desta forma, garante uma fonte confiável de matéria prima, reduz os preços dos produtos e incentiva relações a longo prazo com os consumidores.



Figura 90 Vista exterior do *People's Pavilion*; Produtos emprestados por diversas empresas; Vista Interior (Archdaily)



Figura 91 Desenho Técnico Corte *People's Pavilion* (Archdaily)

"We must remember that everything depends on how we use a material, not on the material itself (...) New materials are not necessarily superior. Each material is only what we make it", Ludwig Mies van der Rohe (Rawn, 2014)





Figura 93 Sala de entrada da Bienal de Arquitetura de Veneza, 2016 (Gorgolewski, 2018).

O Arquiteto Alexandro Aravela utilizou 90 toneladas de resíduos, gerados na Bienal do ano anterior para construir as salas de entrada da Bienal de Veneza de 2016. A sala de entrada era caracterizada pela infinidade de peças metálicas usadas anteriormente na canalização, penduradas verticalmente no teto, e as paredes cobertas de placas de gesso de várias cores empilhadas com peças salientes que tinham a função de prateleiras de exibição. O resultado foi um espaço único e original.

III. MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS INDUSTRIAIS E RESÍDUOS URBANOS

A crise ambiental marcada pela perda de recursos valiosos durante as cadeias produtivas, pela incapacidade que a terra tem de fornecer novos recursos e de absorver toneladas de resíduos, afeta diretamente o setor da construção e enfatiza a necessidade de se construir com recursos locais, inseridos em sistemas cíclicos. Desta forma, e como já foi apontado no capítulo anterior, é fundamental repensar o modo como o ambiente construído é projetado e concebido, de forma a potenciar a introdução de novas técnicas de construção e de produção de materiais com o objetivo de se prolongar e fechar fluxos de recursos à escala local através da reutilização e reciclagem.

A aplicação da reutilização e reciclagem em grande escala no setor da construção está ligada a uma rede complexa de relações sociais e económicas. Para além da falta de uma estrutura clara de identificação, certificação, armazenamento, distribuição e modelos de negócio focados em materiais reciclados e reutilizados, existe uma falta de confiança e controvérsia na atribuição de valor e qualidade a esses materiais por parte da sociedade (Gorgolewski, 2018).

A Arquitetura tem um papel significativo na forma como projeta, utiliza matéria, cria ambientes e influencia formas de viver. Evoluiu e adaptou-se ao longo dos tempos às inovações tecnológicas, com a introdução de novos materiais e novas técnicas de construção, mais eficientes, duráveis que permitiram grandes feitos arquitetónicos. Estes fenómenos despoletaram um fascínio pelos materiais novos, que aliados ao estilo de vida capitalista da sociedade e ao acesso facilitado aos recursos ajudaram a enfatizar a suposição que o novo, o intacto e o perfeito é o melhor, e que o velho e o imperfeito é descartável (Gorgolewski, 2018). Mas “nem toda a beleza está na perfeição”⁵⁴ (Josefsson, Spring 2019, p. 24). Esta visão vai ao encontro do conceito japonês de *Wabi-sabi* que interpreta a beleza das coisas como : “a beleza das coisas imperfeitas, impermanentes e incompletas, a antítese da nossa noção clássica ocidental de beleza como algo perfeito, duradouro e monumental”⁵⁵ (Josefsson, Spring 2019, p. 24).

Atualmente, os arquitetos em vez de utilizarem materiais locais e recuperados, recorrem habitualmente a uma série de materiais e componentes padronizados e catalogados provenientes de várias partes do mundo. A virtualização de informação e as tecnologias digitais facilitaram a aquisição de informações específicas de componentes e materiais padrão como forma de rentabilizar tempo e dinheiro. Assim, a arquitetura torna-se por vezes apenas uma compilação de materiais apropriados para determinada função (Gorgolewski, 2018).

⁵⁴ Sugerido pela autora do inglês “Not all beauty lies in perfection(...)”

⁵⁵ Sugerido pela autora do inglês “Wabi-sabi is the beauty of things imperfect, impermanent, and incomplete, the antithesis of our classical Western notion of beauty as something perfect, enduring, and monumental.”

A desvinculação entre o arquiteto, o material e o local desencadeada pela era da Estandarização e Mecanização da Arquitetura, impede a compreensão tectónica dos materiais, bloqueando descobertas e influenciando negativamente a arte de projetar, que se pode definir pela articulação e o controlo profundo entre o conceito e a matéria, ou seja, entre o universo intangível, ideias e pensamentos e o universo tangível, as coisas e os materiais. A matéria dá forma à ideia, comunica um significado no ambiente construído e define a originalidade dos lugares (Gorgolewski, 2018). A reutilização e a reciclagem podem tornar-se numa forma de conectar os materiais e o edifício com o lugar, é uma maneira de explorar novas soluções criativas de projeto e design (Gorgolewski, 2018).

Até ao sec. XX, muitos componentes como portas, janelas e alguns mobiliários eram personalizados e desenhados pelos Arquitetos com técnicas e materiais locais. Existia um mercado voltado para a recuperação de materiais e objetos antigos, devido ao preço e à escassez na disponibilidade de recursos. Desta forma, muitos edifícios eram construídos com materiais recuperados localmente, como as construções medievais onde era utilizada alvenaria proveniente de ruínas romanas (figura 95) (Gorgolewski, 2018).

A utilização de materiais recuperados e reutilizados varia com as tendências, modas, costumes, avanços tecnológicos e com as particularidades dos lugares como, por exemplo, a economia e a disponibilidade de recursos. Atualmente, sobretudo nos países em desenvolvimento onde os recursos são limitados, muitas comunidades e assentamentos informais são construídos com soluções criativas e engenhosas a partir de resíduos e materiais usados disponíveis no local (Gorgolewski, 2018).

Ao longo do séc. XX, alguns arquitetos exploraram a reutilização e reciclagem através de processos criativos. O Arquiteto Holandês John Harbraken ultrapassou a limitação que o design e a função original dos produtos exercem sobre a reutilização e desenvolveu uma garrafa de cerveja Heineken que permitia após o consumo a sua reutilização como tijolo de construção de casas acessíveis (figura 95) (Pinho, 2018).

O Arquiteto Michael Reynolds em 1972 constrói a Thumb House, a primeira de várias habitações que construiu e colaborou ao longo da sua carreira, as EarthShip. O arquiteto explora um novo conceito de viver focado na autossuficiência de recursos (materiais, água, energia e saneamento) e usa como recurso uma infinidade de resíduos de aterros próximos. (figura 96) (Pinho, 2018).

A empresa Phoenix Commotion (www.phoenixcommotion.com) é uma empresa de construção dos Estados Unidos da América. Tem como principal objetivo viabilizar a construção de casas com materiais reciclados e recuperados localmente. O projeto desvia os resíduos do aterro, e oferece soluções de casas acessíveis para famílias desfavorecidas, O fundador aceita o carácter e personalidade dos materiais usados e danificados explorando-os a partir da repetição e padrões, assim, atribui novos valores estéticos e funcionais aos resíduos (figura 97).

Os resíduos urbanos e industriais estão amplamente disponíveis e são recursos valiosos, contudo a sociedade atual tende a olhar para o resíduo no ciclo de vida do material

como um problema e a única forma de lidar com ele é não o produzir ou eliminá-lo. Apesar da reciclagem ter ganhado destaque nos últimos anos, as taxas de reciclagem praticadas dizem respeito na sua maioria à transformação de resíduos com retenção de valor inferior à do produto inicial, ou seja, os resíduos vão perdendo qualidade e valor ao longo dos seus ciclos.

A lógica do pensamento circular permite-nos tirar partido deste problema e olhar para os resíduos como uma nova oportunidade.

A componente funcional e estética destes materiais é essencial para ultrapassar o estigma do uso de bens e materiais usados na sociedade e contribuir para que as pessoas estejam dispostas a usá-los e comprá-los. Se um dos princípios de um edifício circular é construir para a longevidade, ou seja, construir para que os ocupantes não sintam necessidade de remodelar, reconstruir e destruir é necessário que os usuários se sintam atraídos não só funcionalmente, mas também pelo conforto estético.

Arquitetos e designers têm um papel significativo no modo como podem desafiar os atuais padrões de consumo e cultura de valor através da sua capacidade de aliar as vertentes estética e funcional dos materiais de forma a proporcionar aos usuários sensações positivas de conforto e bem-estar nos espaços e conexões com os materiais e ambiente construído (Josefsson, Spring 2019).

A compilação de sistemas construtivos e os materiais apresentados neste capítulo são exemplos de casos de sucesso que pretendem ser um argumento convincente e criativo para que arquitetos e designers apliquem os conceitos da reutilização e reciclagem *upcycling* de resíduos industriais e urbanos. Estes são retirados temporariamente do seu ciclo de vida normal e usados como material de construção, assim é-lhes atribuído um novo valor. A viabilização destes materiais como materiais de construção pode ajudar a reduzir o impacto negativo associado ao setor e a outros setores industriais e contribuir positivamente para o metabolismo das cidades.



Figura 94 As colunas da Catedral de Córdoba construída no séc. X, na Espanha foram construídas partir de várias estruturas já existentes (Josefsson, Spring 2019).



Figura 97 Building block of empty cans, sistema construtivo de Michael Reynolds para construção de paredes com latas de cerveja vazias da Thumb House (1973) (United States Patent Patente Nº 3,721,059, 1971) (Pinho, 2018).



Figura 96 garrafa Heineken WOB0 projetada por John Harbraken em 1963, serviu para fazer paredes nas comunidades em desenvolvimento (Pinho, 2018).



Figura 95 As Fotografias das casas da empresa Phoenix Commotion

CONCEITO STORYWOOD

Foi proposto pelo Delta Institute, e defende que o stock de madeira e os componentes de madeira das cidades são recursos que acarretam uma história e uma estética únicas que os diferencia de outros materiais (Gorgolewski, 2018). Acrescenta ainda que os materiais usados, reutilizados e reciclados não devem tentar imitar a estética dos materiais novos. Os designers e os arquitetos devem entender as suas histórias, e torná-las transparentes pois a riqueza da história enraizada ao seu uso pode ser uma vantagem competitiva e uma forma de agregar valor aos projetos e ao ambiente construído (Gorgolewski, 2018).

O Instituto Delta em parceria com o sistema de certificação LEED fornece um conjunto de estratégias para aplicação deste conceito em prol do uso sustentável de madeira a arquitetos e designs (Gorgolewski, 2018).

Este conceito pode ser aplicado a outros materiais, como o tijolo, a pedra, o vidro e o plástico. O valor e a história do material dependem da forma como são capturados e transmitidos no seu novo uso (Gorgolewski, 2018).



Figura 100 Storywood - madeira com uma história pode assumir várias formas (Gorgolewski, 2018).



Figura 99 Casa de campo projetada em 1960 pelo arquiteto Juan Luis Martínez Nahuel no Chile, apresenta eucalipto e rauli reutilizados de locais próximos. (Gorgolewski, 2018).

REBEAUTY NORDIC BUILT COMPONENT REUSE – 2016

"Without beauty, there will be no sustainability." (Vandkunsten Architects, 2016, p. 6)

O projeto *Rebeauty* explora por meio de protótipos à escala real novas práticas de reutilização de componentes e materiais de construção de acordo com os princípios de construção reversível. Os protótipos tinham de ser esteticamente agradáveis, ter um sistema construtivo completamente desmontável, e possibilitar a fabricação através de processos eficazes em custo e energia. Os resultados físicos do projeto foram 20 protótipos de fachadas à escala real que se enquadram dentro de seis categorias de resíduos: Tijolo, Betão, Vidro, Metal, Vinil e Madeira (Vandkunsten Architects, 2016).



Figura 98 Detalhes do Protótipo com Telhas (Vandkunsten Architects, 2016) O protótipo explora as qualidades da telha como revestimento de fachada. Foi desenvolvido um suporte onde as telhas assentavam na vertical (Vandkunsten Architects, 2016)



Figura 103 O 3 Protótipo e material de revestimento exterior permeável com ladrilhos de Betão usado previamente cortado (Vandkunsten Architects, 2016)



Figura 104 Protótipos construídos a partir de resíduos de vidro e janelas usadas (Vandkunsten Architects, 2016)



Figura 101 O primeiro protótipo é a fachada projeto Sømærk de Vandkunsten, foi construído com chapas metálicas de ductos de ventilação, através de um sistema *slate cladding*, sem comprometer e furar nenhum painel, permitindo a reutilização futura (Vandkunsten Architects, 2016)

Figura 102 Protótipo de Madeira e detalhes de concepção. Tem como matéria prima madeira de pisos, janelas portas e painéis usados (Vandkunsten Architects, 2016)

3.1. REUTILIZAÇÃO VS RECICLAGEM

A reutilização é interpretada por Walter Stahel como uma desaceleração no fluxo dos materiais, ou seja, estes são mantidos por mais tempo na cadeia produtiva sem que isto envolva processos de transformação complexos (Bocken, Pauwc, Bakker, & Grintenc, 2017). Outros teóricos, como Berge e Calkins definem reutilização como o ato de utilizar um material ou componente já usado (Berge, 2009) (Calkins, 2009).

De acordo com Silva A.S, a reutilização pode ser direta e indireta.

A reutilização direta é o uso repetido de um produto, componente ou material, com uma finalidade igual à sua utilização inicial e inclui pequenas alterações que permitem que este desempenhe a sua função, como por exemplo uma estrutura de madeira é recuperada para ser utilizada novamente como uma estrutura de madeira (Silva A. S., 2011).

A reutilização indireta é a utilização de um produto, componente ou material já usado com uma finalidade diferente da inicial (Silva A. S., 2011). Inclui materiais que foram alterados de forma pouco complexa para desempenhar as suas funções, mesmo que implique a combinação de outros elementos, componentes e produtos (Silva A. S., 2011). É possível destacar outra definição relativamente à reutilização indireta, o *superuse* que significa um corte nos fluxos de produtos e componentes no momento em que estes possuem o menor valor possível atribuindo-lhes novas funções e reintroduzindo-os em novos ciclos através de aplicações inteligentes e criativas de arquitetura e design (Jongert, Peeren, & Hinte, 2007).

A reciclagem, na perspetiva de Stahel, é um processo que permite “fechar o ciclo”, é definida pela preparação (triturar, esmagar e derreter...) de um componente, elemento ou produto para que este possa ser reintegrado num processo de fabricação como uma nova matéria prima (Bocken, Pauwc, Bakker, & Grintenc, 2017). Deste modo é um processo que transforma a forma original dos produtos e marca a entrada de um produto num novo ciclo de vida e é apenas realizado ao nível do material. A principal característica que distingue a reutilização da reciclagem é o facto de a reciclagem ser um processo irreversível ao contrário da reutilização, ou seja, o material nunca pode voltar à sua forma original após o novo processo de transformação (Berge, 2009). Acrescenta-se ainda no âmbito da Reciclagem mais dois conceitos que diferenciam o processo de retenção de valor (figura 106), ou seja, a capacidade que o processo possui de manter a qualidade dos produtos e materiais após cada *loop*, a saber: o *downcycling* - a transformação que resulta num produto com valor inferior ao inicial, como por exemplo, blocos de betão transformados em agregados para a produção de betão novo; e o *upcycling* - a transformação de um material, componente ou elemento com um valor superior ao inicial, como por exemplo, o uso de palha (resíduo agrícola) para isolamento e suporte de carga das paredes de um edifício (Calkins, 2009).

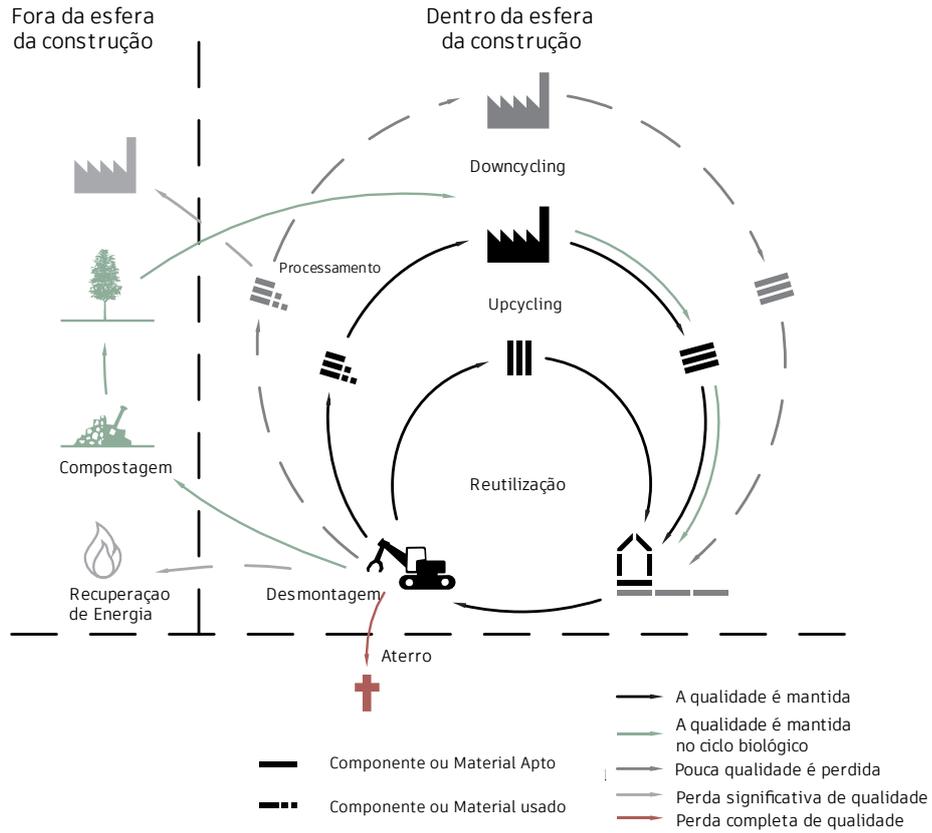


Figura 105 Loops de materiais de construção: Reutilização; Reciclagem; *DownCycling* (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2019).



Figura 106 O conjunto de Apartamentos Resource Rows em Compenhaga projetado pelo Lendeger Group. (Cousins, 2020)

O projeto de Apartamentos Resource Rows é um exemplo criativo de reutilização indireta. A reutilização de tijolos é comprometida pelo uso das argamassas, impossibilitando muitas vezes a separação sem danificar o material. Os arquitetos desenvolveram um sistema inovador para a reutilização de paredes de tijolos, que implica o corte das paredes em secções dando origem a painéis. Posteriormente os painéis são encaixados numa estrutura de aço criando diferentes composições de fachada (Cousins, 2020)

3.2. PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO INDIRETA E RECICLAGEM UPCYCLING

Hebel Wisniewska & Heisel no livro *Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction*, exploram a possibilidade dos resíduos se tornarem recursos no setor da construção. Para os autores, nas cidades futuras não há a distinção entre resíduos e recursos, neste sentido, os arquitetos e designers devem pensar, escolher e criar sistemas eficientes onde os materiais existem em vários estados de formação sem nunca se tornarem resíduos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os autores supracitados enumeram no livro uma série de projetos arquitetônicos e materiais de construção alternativos que têm como matéria prima o que consideramos hoje resíduos. Para categorizar essas novas soluções, os autores identificaram cinco tipos de processos de transformação que permitem que os resíduos se tornem um recurso, nomeadamente: a Densificação, o Design, a Cultivação, a Reconfiguração e a Transformação (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Durante o desenvolvimento desta investigação, identificou-se mais um processo de transformação, a Simples.

O processo de Transformação Simples diz respeito a pequenas alterações como cortar, polir, pintar ou aparafusar um produto, material ou componente para que este possa cumprir as novas funções. Esta nova função deve ser resultado de um processo criativo de design para que o resíduo ganhe um novo valor estético e arquitetônico.



Figura 107 O The Beehive é o estúdio de arquitetura dos Arquitetos Luigi Rosselli, e construído em 2018, na cidade de Sydney. (Rossell, 2018)

É um exemplo de uma reutilização indireta simples porque os arquitetos utilizaram telhas de argila para compor a fachada translúcida e a curva do atelier

O processo de Densificação é um dos processos mais diretos de tratamento de resíduos, e tem com principal objetivo reduzir o volume dos resíduos através da compactação. Este método é muitas vezes utilizado pelas empresas de reciclagem, onde os resíduos sólidos são compactados, de modo a aumentar a densidade e a facilitar os processos de transformação seguintes. Na produção secundária de plástico, os resíduos sofrem este tipo de processo antes do processo de trituração para serem reintroduzidos na cadeia produtiva (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A aplicação deste processo na construção envolve, portanto, a utilização de resíduos que são comprimidos, o que pode melhorar a resistência ao fogo do material pois, elimina o ar do material (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Em alguns casos, o processo de compressão ativa um potencial específico, como é o caso de alguns resíduos agrícolas (palha) que, quando prensados, libertam uma cola natural que pode ser uma mais valia para a produção de painéis, colunas e vigas de palha (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A maioria dos materiais densificados altera as suas características de comportamento à humidade, sendo por vezes necessária a aplicação de agentes impermeabilizantes (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de vácuo, utilizado no Pavilhão temporário de Zurique em 2014 (secção 3.4) é outro processo que se enquadra na densificação. A estrutura do Pavilhão de Zurique era constituída por garrafas PET ligadas por vácuo dentro duma membrana (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 108 Os resíduos de palha compactados. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 109 Garrafas PET descartadas de um elemento estrutural de construção por vácuo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Outras características deste tipo de materiais são o baixo custo, o fácil acesso e gestão em obra, pois podem ser produzidos no local e com diversos tipos de resíduos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de *Design* é um conceito futurista, que repensa o design e projeta os produtos para que nunca se tornem resíduos, ou seja, após a sua vida útil estão em constante estado de reutilização. Durante o ciclo de vida, mantêm a forma, propriedades e a composição, com a exceção da sua função que pode mudar drasticamente (Hebel, Wisniewska, & Heisel,

2014). Este processo pode combinar, sem misturar, diferentes tipos de materiais e evita que ao longo dos ciclos o material perca as suas qualidades (evitando deste modo o *downcycling*) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)). A utilização de garrafas PET, projetadas para após a sua vida funcional poderem ser blocos de construção é um exemplo deste processo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A WaterBrick desenhada por Wendell Adams, tem como princípio de design poder ser um recipiente de líquidos e numa segunda vida um material de construção, especialmente nos locais onde há pobreza e escassez de recursos. As garrafas possuem um sistema de clique e podem ser preenchidas com terra ou areia (mais modelos e design de garrafas PET são inumerados na subsecção 4.5).

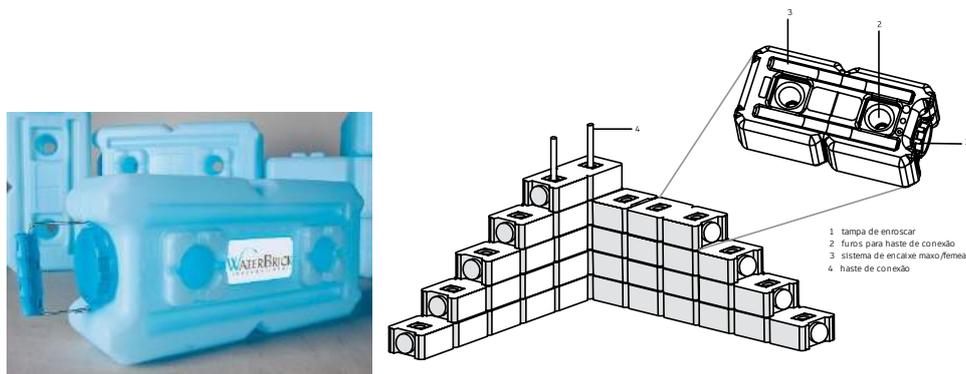


Figura 110 WaterBrick de Wendell Adams (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo Cultivação diz respeito à utilização como recurso do auto crescimento e multiplicação de partículas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). O metabolismo destes materiais permite um “processo de reciclagem natural e a autorregeneração” que pode ser realizado localmente com técnicas de produção simples. A maioria absorve dióxido de carbono para o seu crescimento e necessitam de ambientes controlados, normalmente ambientes húmidos e podem alimentar-se de outro resíduo, ou curar outros materiais. Quando o material atinge a densidade e a resistência necessárias, o processo de crescimento é interrompido, através da inativação ou a morte da bactéria. Este tipo de processo de transformação é considerado uma reciclagem natural, a bactéria alimenta-se de um determinado resíduo e origina um novo material (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Geralmente apresentam padrões estruturais esponjosos que lhes atribui leveza, boas características de isolamento e resistência à compressão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Um exemplo destes processos são os materiais compostos por micélio e resíduos agrícolas (subsecção 5.1). Existem outros materiais cultivados que não constam como caso de estudo desta dissertação como o material do biólogo Henk M. Jones. Este cura as fendas e os danos que o betão sofre ao longo da vida do edifício. São adicionadas bactérias ao betão antes da cura, que são reativadas anos mais tarde quando as fendas entram em contacto com a humidade, produzindo calcário capaz de as selar (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). E o material desenvolvido pela Universidade de Cape Town na África do Sul em 2018, que utiliza

urina humana para criar blocos de construção através dum processo de “precipitação de carbonato microbiano” (Swingler, 2018). A junção da urina, areia solta e uma bactéria, produz a enzima urease, que por sua vez desencadeia uma reação química que quebra a ureia e produz carbonato de cálcio (calcário), uma das principais matérias primas do cimento (Swingler, 2018).

As possibilidades e os benefícios no uso de bactérias nos sistemas construtivos são uma matéria que apesar de promissora ainda é pouco desenvolvida pela comunidade científica.



Figura 111 Amostra de betão com Bactérias (Hebel & Heisel, 2017)



Figura 112 Bio tijolo feito a partir de urina humana (Swingler, 2018)

O processo de Reconfiguração diz respeito a todos os processos que transformam os resíduos para desempenhar uma função, como por exemplo a trituração, serragem, colagem, alterando desta forma a estrutura original do resíduo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Geralmente a reconfiguração combina “outros componentes orgânicos, inorgânicos ou adesivos minerais pressionados em moldes com diferentes formas e tamanhos”⁵⁶ (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014, p. 63).

Este método permite alterar e configurar a densidade, porosidade e qualidades estéticas do material, através da manipulação do tamanho das peças, da trituração e das resinas utilizadas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O Material de isolamento térmico *UltraTouchDemin* produzido pela empresa BondeyLogie, é um exemplo de um processo de reconfiguração e tem como matéria prima



Figura 113 O Material *UltraTouchDemin* é produzido pela empresa BondeyLogie, (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

⁵⁶ Tradução sugerida pela Autora do original “(...) further, usually by mixing them with other components such as organic, inorganic, or mineral adhesives and pressing them into moulds of any form and size” (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014, p. 63).

calças de ganga. As calças de ganga são separadas dos fechos e acessórios para serem trituradas e desfiadas. As fibras de algodão são tratadas com uma solução de borato, para tornar o material resistente ao fogo e ao bolor. O material é composto por 80 % de fibras de calças de ganga e 20 % de fibras novas. Esta mistura é cozida num forno para finalmente ser pressionada numa variedade de espessuras (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de Transformação implica alteração do estado molecular dos resíduos. Desta forma, pode ser modificada a forma, composições e funções a partir da alteração da estrutura molecular do material (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014, p. 95).

A transformação utiliza procedimentos de alta tecnologia que envolvem, por exemplo, a liquefação ou gaseificação do material original, a fim de criar um elemento com propriedades específicas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). No setor da energia, um exemplo deste processo é a transformação de resíduos orgânicos em bioetanol⁵⁷ (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Um outro exemplo deste tipo de processo é a transformação de resíduos do estaleiro de obras como o betão, pedra, vidro ou cerâmica, que podem ser pulverizados, moídos e cozidos a altas temperaturas num liquidificador especial, dando origem a um novo produto semelhante à pedra, sem adição de outros produtos de ligação artificiais. Este tipo de material é desenvolvido pela empresa Alemã *Stonecycling*. O material tem várias possibilidades de aplicação: telhados, instalações sanitárias, azulejos de cozinha, elementos de revestimento de piso ou parede a peitoris de janela (*Stonecycling, s.d.*) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 114 Lajetas StoneCycling (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

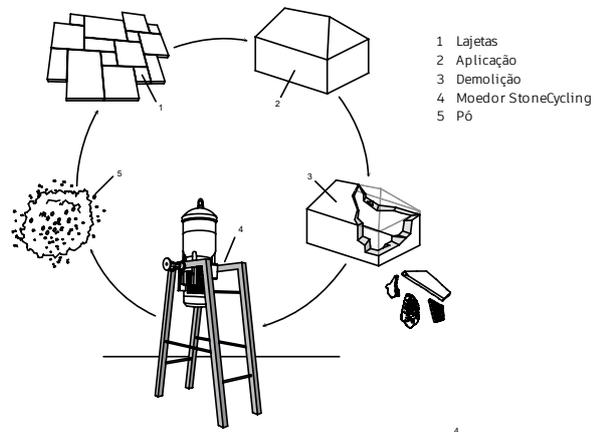


Figura 115 Produção das Lajetas StoneCycling (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

No âmbito do desenvolvimento deste trabalho é relevante identificar quais dos cinco processos de transformação definidos por Hebel Wisniewska & Heisel, podem ser considerados reutilização ou reciclagem. Para o efeito, foi identificado na subsecção anterior que a principal característica que distingue estes dois conceitos é a irreversibilidade do processo, ou seja, na reutilização, os resíduos após aplicados como material de construção

⁵⁷ Energia renovável, que pode substituir a gasolina

podem retornar à sua forma original; já nos processos de reciclagem, os resíduos passam por transformações mais complexas que os impossibilita de regressarem à sua forma original.

Assim, considera-se que os processos de transformação de resíduos dentro da reutilização podem ser divididos em: Simples, Densificação e Design. E os processos de transformação dentro da Reciclagem podem ser divididos em: Cultivação, Reconfiguração e Transformação.

3.3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO INVENTÁRIO DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O inventário de materiais e sistemas construtivos tem como base a reutilização indireta e a reciclagem *upcycling* de resíduos pós consumo e subprodutos de vários setores industriais, através de abordagens inovadoras na indústria de materiais de construção e na arquitetura. Assim centra-se no estudo de estratégias que atribuem um novo valor, igual ou superior ao valor inicial do resíduo. Desta forma, são excluídos do âmbito deste trabalho a reutilização direta e processos de transformação *dowcycling*.

Os processos de transformação que dão origem aos materiais e sistemas construtivos em estudo representam um corte temporário no fluxo normal de um determinado resíduo quando este apresenta o menor valor possível, para então lhe ser atribuída uma nova função na construção. No final do ciclo de vida do edifício, o material é libertado através da desmontagem, e idealmente é reintegrado noutra ciclo de valor semelhante. Quando o material sofreu uma transformação que é considerada reutilização pode reintegrar o seu ciclo de vida normal.



Figura 116 Representação gráfica de um corte temporário no fluxo normal de um determinado resíduo para ser aplicado como material de construção.

Os resíduos pós consumo são maioritariamente compostos por resíduos urbanos, ou seja, os resíduos de origem doméstica gerados pela sociedade nas suas atividades quotidianas. Em oposição, os resíduos ou subprodutos industriais são resíduos que resultam de processos produtivos industriais, ou desperdícios de uma determinada indústria incluindo a indústria da construção.

O inventário que se apresenta neste trabalho foca-se no estudo de materiais que resultam de resíduos pós consumo e industriais de plástico, madeira, papel, aço, alumínio e resíduos agrícolas. Foi desenvolvida uma metodologia que se considera adequada para a avaliação e seleção qualitativa dos novos materiais e sistemas construtivos em estudo.

O método de seleção de materiais sustentáveis de Ashby (Ashby, 2009), descrito na subsecção 2.1.3, define que a seleção de materiais deve ter como primeira etapa a tradução de requisitos:

- 1- Atribuir a função que o componente ou material vai exercer no edifício.
- 2- Definir os requisitos necessários para desempenhar esta função, assim como outros requisitos estéticos, financeiros e ambientais.
- 3- Compreender quais são os requisitos que não são negociáveis.
- 4- Compreender quais são os requisitos que são negociáveis e que os arquitetos podem mudar.

Depois de determinar a função e os requisitos, os materiais devem passar por um processo de triagem que envolve a eliminação dos materiais que não correspondem aos objetivos de desempenho exigidos pela função que vão desempenhar. Por fim os materiais passam por um processo de classificação, sendo ordenados de acordo com a sua capacidade de corresponder aos requisitos estabelecidos por ordem de preferência (Ashby, 2009).

Nesta dissertação a metodologia de seleção parte de um princípio inverso, pois procura-se determinar qual, das várias soluções construtivas estudadas, é a opção mais viável para determinada função nos edifícios do projeto final de arquitetura. Como num primeiro momento não é possível determinar a função que o material irá exercer no projeto final de arquitetura, os materiais serão avaliados de forma qualitativa de acordo com a capacidade de corresponder a requisitos. Desta forma, a metodologia está dividida em dois momentos principais, a avaliação prévia e a seleção. A avaliação prévia está dividida em:

1.1- Definir objetivos de desempenho: implica sintetizar requisitos de desempenho ambiental, essenciais para definir a circularidade e sustentabilidade dos materiais e os requisitos que são considerados importantes para que os materiais exerçam determinadas funções no edifício. No âmbito desta dissertação foram definidos cinco objetivos de desempenho ambiental que avaliam a circularidade dos materiais, e sete objetivos de desempenho funcional (figura 140).

1.2- Determinar dentro de cada objetivo de desempenho as categorias em que os materiais serão classificados (figura 140).

1.3- Avaliar de forma qualitativa a aptidão das soluções para desempenhar os objetivos de desempenho definidos através das categorias determinadas. Assim são os materiais ordenados e sintetizados em tabelas.

SELEÇÃO DE MATERIAIS COM RECURSO A RESÍDUOS INDUSTRIAIS E PÓS CONSUMO			
DESEMPENHO AMBIENTAL	TIPOLOGIA DO MATERIAL / SISTEMA CONSTITUTIVO	COMPLEXIDADE DO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO	POTENCIAL DE REINTEGRAÇÃO NO CICLO BIOLÓGICO E TECNOLÓGICO
	T1 - Resíduo Pós-Consumo T2 - Resíduo ou Sub-Produto Industrial	CPT1 - Reutilização Indireta : Simples (0) CPT2 - Reutilização Indireta : Design (0) CPT3 - Reutilização Indireta : Densificação(2) CPT4 - Reciclagem : Cultivação (1) CPT5 - Reciclagem : Reconfiguração (3) CPT6 - Reciclagem : Transformação (4)	PRC 1 - Nulo PRC 2 - Baixo PRC 3 - Alto
PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	CONTEÚDO TÓXICO	DISPONIBILIDADE E PROXIMIDADE LOCAL	
	CQ 1 - Nenhum CQ 2 - Baixo CQ 3 - Alto	PDL 1 - Disponibilidade num Raio de 10 km PDL 2 - Disponibilidade num Raio de 25 km PDL 3 - Disponibilidade num Raio de 40 km	
DESEMPENHO FUNCIONAL	CAPACIDADE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	DESEMPENHO TÉRMICO	DESEMPENHO ACÚSTICO
	CRM 1 - Baixo CRM 2 - Médio CRM 3 - Alto	DT 1 - Baixo DT 2 - Médio DT3- Alto	DA 1 - Baixo DA 2 - Alto
	RESISTÊNCIA À ÁGUA E À HUMIDADE	RESISTÊNCIA AO FOGO	DURABILIDADE
	CRM 1 - Impermeável CRM 2 - Hidrofílico, resistente à água CRM 3 - Hidrofílico, não resistente à água	RF 1 - Materiais não inflamáveis RF 2 - Materiais retardadores de fogo RF 3 - Materiais inflamáveis	D 1 - Durável D 2 - Não Durável
	PROPRIEDADES SENSORIAIS		
PS 1 - Textura PS 2 - Brilho PS 3 - Cor	PS 4 - Transparência PS 5 - Odor		

Figura 117 Parâmetros de seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo.

Os parâmetros de avaliação e as respectivas categorias são descritos no ANEXO I.

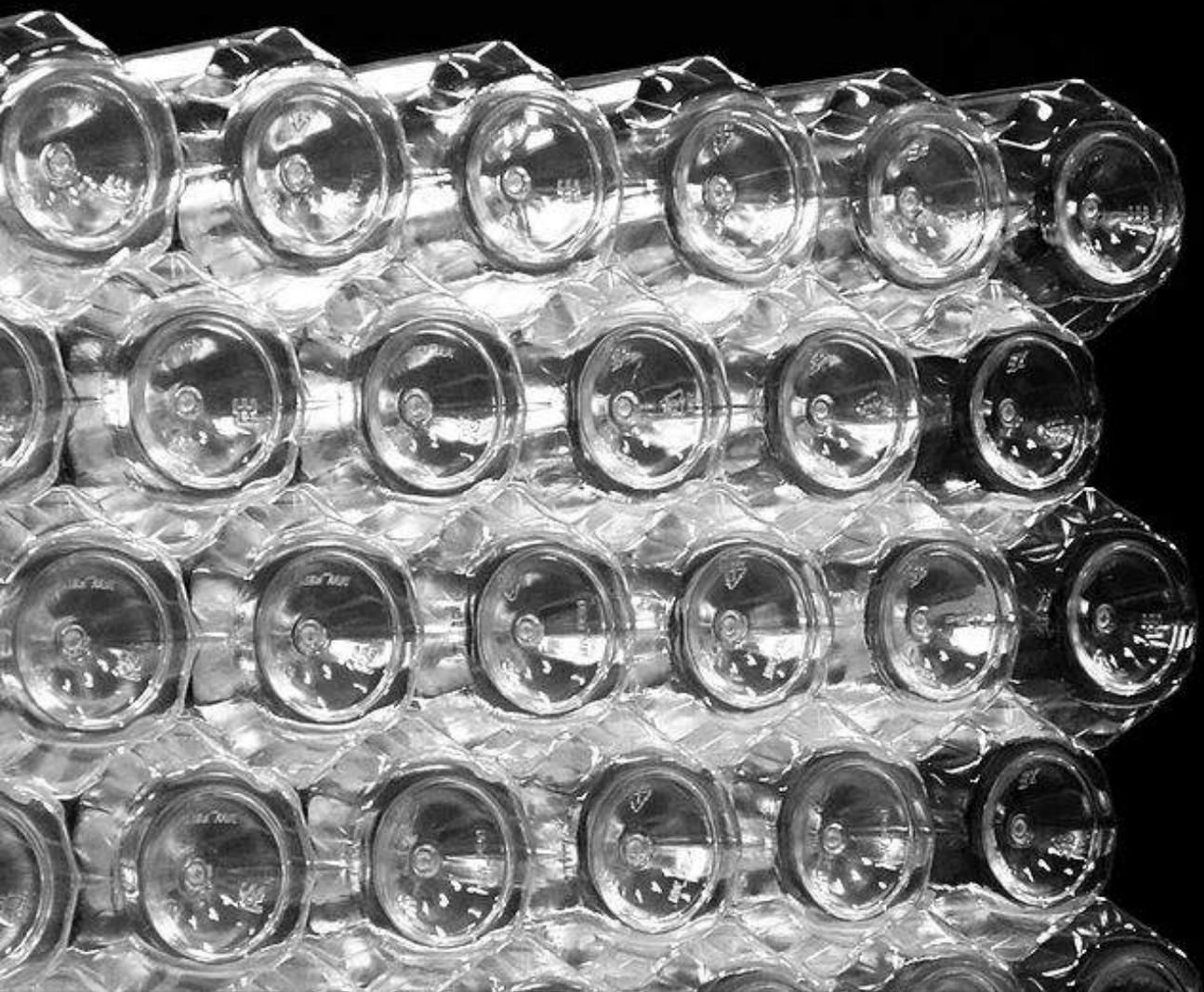
Após esta avaliação é possível obter uma síntese sobre as características de desempenho funcional e ambiental de cada material em estudo, e é possível comparar as várias soluções construtivas disponíveis.

A segunda fase, a seleção prática, está diretamente relacionada com o desempenho funcional e a função que estes materiais vão exercer no projeto, esta dividida nas seguintes etapas:

2.1- Identificar as funções necessárias no projeto final de arquitetura (exemplo: parede interior, revestimento de piso da casa de banho).

2.2 Identificar as necessidades funcionais (Exemplo: é necessário um material para exercer a função de revestimento de casa de banho, logo este necessita de ser durável, resistente e impermeável).

2.3 - Selecionar os materiais aptos para desempenhar essa função e aplicá-los no edifício.



Parede de Polli-Brick(Minimiz Sustainable Energy Developmennt TLD, 2017).

3.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE PLÁSTICO

O plástico é um material que pelas suas características de leveza, resistência, durabilidade, versatilidade e baixo custo, foi ganhando destaque desde a revolução industrial. Atualmente, desempenha um papel significativo nas nossas vidas, é a matéria prima de diversos produtos industriais e urbanos. São produzidos atualmente por ano mais de 448 milhões de toneladas de plástico e estima-se que este valor duplique em 2050. O seu consumo excessivo e baixas taxas de reciclagem e tratamento tornaram o Plástico um dos maiores problemas ambientais do séc. XXI (Parker, 2019).

O ciclo de vida do plástico divide-se em 3 fases: a extração de matérias primas (gás natural, carvão e petróleo), a produção de polímeros, a produção de produtos de plástico e por fim a reciclagem, valorização energética ou deposição em aterro ou outros locais não especializados.

Os plásticos não são biodegradáveis e possuem uma vida funcional muito curta em oposição ao seu tempo de vida, pois é necessária uma quantidade de tempo considerável para que as cadeias moleculares se dividam em partículas pequenas, que atingem menos de 5 milímetros de diâmetro, e contaminam o solo, a água potável e o ar, afetando a saúde humana e de todos os seres vivos. (Cintil, Chirayil, Kumar, & Sabu, 2019).

A variedade de tipos de plástico e as diferentes combinações de corantes e aditivos, dificultam a sua separação e o processo de reciclagem. Acrescenta-se ainda que a recolha destes resíduos é um processo caro devido à sua leveza e volume, e a qualidade do plástico reduz significativamente a cada ciclo, como por exemplo, o poliestireno após três ciclos “sofre uma redução de 9% no tamanho das suas cadeias poliméricas e uma redução de 34 % de resistência ao impacto”⁵⁸ (Berge, 2009, p. 9). Neste sentido, torna-se mais rentável para a indústria de plástico produzir plástico virgem do que reciclado, assim a maioria destes resíduos são depositados em aterro ou em locais não especializados ou sofrem valorização energética. A nível mundial só 9% dos resíduos plásticos é devidamente reciclado. Estima-se que 8 milhões de toneladas de resíduos plásticos são libertados todos os anos nos oceanos (Parker, 2019).

Como alternativas ao aterro, à inceneração e à reciclagem *downcycling* de resíduos de plástico urbano, e resíduos resultantes dos processos produtivos, este subcapítulo introduz materiais e sistemas construtivos que transformam resíduos através da reutilização criativa e processos de reciclagem *upcycling*. Pretende-se que os resíduos sejam desviados temporariamente do seu ciclo de vida normal, como forma de aumentar o seu valor e tempo de vida útil.

⁵⁸ Traduzido pela autora do original “The quality of the plastic also becomes lower for every cycle performed. After three cycles of recycling polystyrene suffers a 9% reduction in the size of its polymer chains and a 34% reduction in impact strength”.

CARACTERÍSTICAS DOS PLÁSTICOS

Os plásticos estão divididos em 2 grupos distintos: os termoplásticos e os termoestáveis. Os plásticos termoplásticos, são os mais comuns e permitem através da temperatura a sua transformação continua, em oposição aos termoestáveis que não podem ser reprocessados, pois expostos a temperaturas elevadas degradam -se (American Chemistry Council, 2020). Existem sete tipos de termoplásticos diferentes: os PET (Politereftalato de Etileno) normalmente usado em garrafas, PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PVC (Policloreto de Vinilo), PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PP (Polipropileno) e PS (Poliestireno)” (NERSolutions, 2020).

Os plásticos possuem um peso reduzido, uma boa resistência ao impacto e à humidade e uma condutividade térmica baixa, e podem ser flexíveis, rígidos ou semirrígidos, translúcidos ou opacos. (Engelsmann, Spalding, & Peters, 2012) Os termoplásticos possuem um coeficiente de expansão térmica elevado, ou seja, o material expande consideravelmente com o aumento de temperatura devido ao movimento das moléculas. Em alguns tipos de plástico como policarbonato (PP) podem ter um grau de expansão térmica 7 vezes maior ao do vidro, portanto é importante o arquiteto prever o aumento de volume do material (Engelsmann, Spalding, & Peters, 2012) A maioria dos termoplásticos resistem a temperaturas entre os 80°C e os -3°C, quando são ultrapassadas o material começa a escamar e a ficar esbranquiçado (Engelsmann, Spalding, & Peters, 2012). Podem ser misturados aditivos que aumentam a resistência ao fogo, resistência ao impacto, distorção de calor e estabilidade UV.

O Terftalato de polietileno PET, resíduo usado para diversos sistemas construtivos nesta dissertação, é uma resina altamente flexível, incolor e semi-cristalina no seu estado natural, pode ser um material semirrígido e rígido, apresenta boa estabilidade e resistência ao impacto, humidade, álcool e solventes (Engelsmann, Spalding, & Peters, 2012). Para além disto, é forte e leve, apresenta boas qualidades de isolamento elétrico e térmico (Engelsmann, Spalding, & Peters, 2012). O PET é afetado por água a ferver, e apresenta um mau comportamento ao fogo (Omnexus, s.d.). Para melhorar as qualidades específicas do PET podem ser adicionados outros termoplásticos ou termo fixos como polietileno (Omnexus, s.d.).

CASO DE ESTUDO: AIRLESS

Recurso: Garrafas PET descartadas

Aplicação: Elemento Estrutural: Arcos
Vigas

País: Suíça

Ano: 2014

Fabricante: Luft & Laune, Zurich

Designer: Professor de Arquitetura e
Construção Dirk E. Hebel, ETH
Zurich/FCL

Singapore, Singapore, and Zurich,
Switzerland

Construção: Dirk E. Hebel, ETH
Zurich/FCL Singapore, Singapore, and
Zurich, Switzerland

Medidas padrão: Personalizadas

Densidade: 53 kg / m³

Pressão: 22-25 mbar

Classificação de Fogo: Retardador de
fogo B1 (DIN EN 13501) para membrana
de vácuo

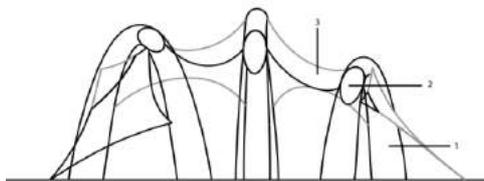


Figura 118 Seção transversal de uma estrutura possível 1- Tubo 2 Garrafas PET 3 Membrana (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 119 Sistema construtivo Airless de Dirk E. Hebel, Membrana (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

O AirLess é um sistema construtivo desenvolvido em 2014 pelo Professor de Arquitetura Dirk E. Hebel, que utiliza Garrafas PET vazias, envolvidas numa membrana unidas por vácuo. Segundo Dirk E. Hebel o sistema construtivo suporta cargas leves e pode ser utilizado em estruturas espaciais de grande envergadura. Foi produzido em forma de tubo envolto por uma membrana, esta atribui ao sistema uma classificação de incêndio B1 (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

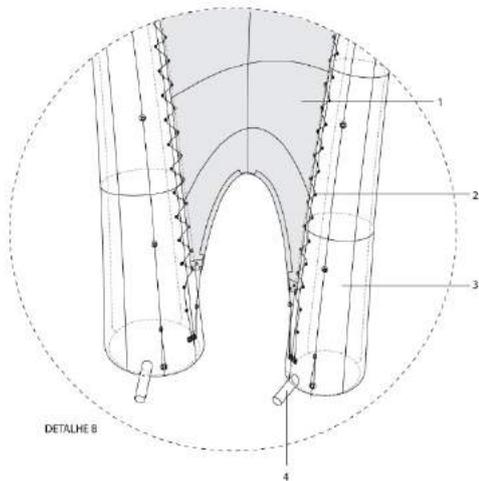
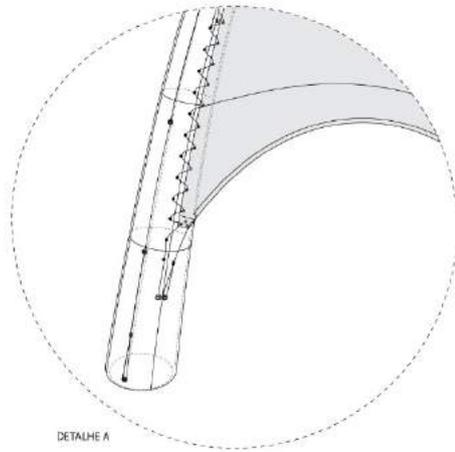
As garrafas de plástico descartadas são introduzidas dentro da membrana e o ar é removido. A rigidez do material é controlada através do aumento ou da diminuição da pressão negativa dentro da membrana e a partir da qualidade das garrafas utilizadas. Dirk E. Hebel afirma que com uma pressão negativa de 22mbar, o sistema consegue resistir a cargas combinadas apesar da densidade extremamente baixa (53 kg / m³) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As garrafas quando são fechadas com ar, apresentam mais resistência e capacidade de absorver forças externas ao contrário das garrafas abertas que formam um sistema menos rígido e com menor capacidade de absorver forças externas. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Acrescenta-se ainda que, para a utilização destes elementos estruturais, é necessário compreender o processo de retração e ter uma atenção especial nos elementos de conexão das estruturas. Pois, o sistema de vácuo provoca uma deformação de 7% (em altura e em diâmetro) dos arcos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O *Airless* funciona como um método de prolongar a vida útil dos resíduos de plástico, usando-os como material estrutural. Como é considerado um processo de transformação

semelhante à densificação, não modifica ou mistura o resíduo, no futuro estes resíduos podem reintegrar os seus respetivos ciclos de vida normal, sendo apenas necessário abrir a membrana e retirar as garrafas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Detalhes de conexão entre os tubos e uma membrana. Os arcos são equipados com ganchos especiais que permitem um fácil entrelaçamento dos fios do tecido.

- 1 membrana
- 2 conexão de olho de rosca
- 3 tubo
- 4 abertura de ventilação



Figura 120 Pormenor construtivo e Arco depois de aspirado. As garrafas comprimidas criam um sistema estrutural robusto (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 4 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Airless*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO AIRLESS										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Garrafas PET descartadas										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração	Reciclagem: Transformação					
		0	0	1	2	3	4					
	Complexidade do Processo						✓					
		Potencial de Reintrodução no Ciclo		Baixo			Alto					
	Bio.	Tec.						✓				
	Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto			
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 40 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Bom	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓		✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
	B1 ✓		✓			Irregular	Baço	Opaco	Branco	Nenhum		

Caso de estudo: UBUNTUBLOX

Recurso: Resíduos de Plástico e Raízes de vetiver

Ano: 2010

Aplicação Funcional: Bloco de Construção

País: Estados Unidos da América (Haiti)

Fabricante e Designer: Harvey Lacey, New York City, NY, USA

Construction: Dirk E. Hebel, ETH Zurich/FCL Singapore, Singapore, and Zurich, Switzerland

Medidas padrão: 200 mm × 400 mm

Densidade: 225 kg/m³

Comportamento Térmico: Bom (não especificado)

Classificação de Fogo: Sem Informação (em teste)

1- resíduos de plástico ou raízes de vetiver 2 - fios 3 - haste 4 - entalhes em arame 5 - roda de compressão 6 - tampas metálicas 7- espaço para cabos

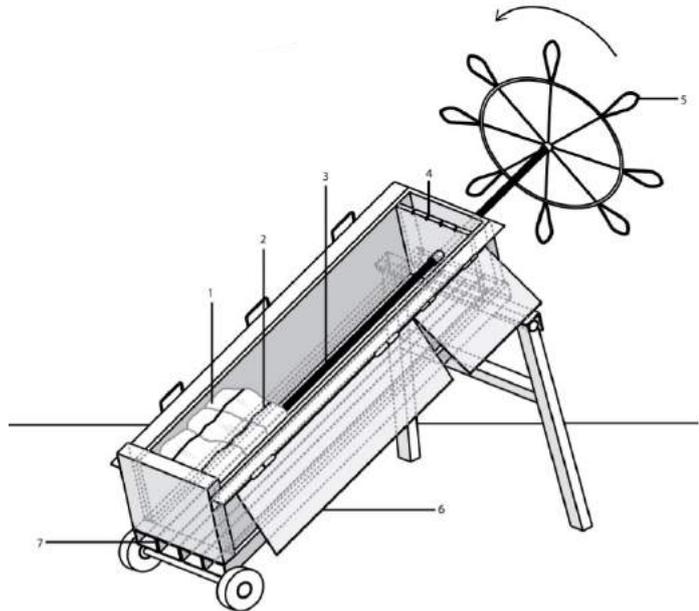


Figura 122 A Prensa (permite o transporte) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O Unbutublox é um sistema desenvolvido por Harvey Lacey para construir abrigos para as vítimas do terremoto de 2010 no Haiti (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Lacey desenvolveu uma prensa simples para condensar mecanicamente resíduos de plástico transformando-os em blocos de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). A prensa foi desenhada para ser leve permitindo o transporte manuseio.

Os primeiros protótipos foram então produzidos com resíduos de plástico, que apesar de apresentarem boas características estruturais e de isolamento térmico, não eram uma solução economicamente viável, pois o plástico usado é vendido à indústria secundária a preços significativos e não havia quantidade suficiente deste resíduo na região (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). De modo a controlar esta situação começaram a utilizar raízes de Vetiver (planta medicinal) que funcionam como um repelente de insetos, e é resistente a fungos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). A estrutura fibrosa e a superfície das raízes, permite uma fácil compactação e facilita a aplicação do reboco ou qualquer outro material de acabamento (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Desta forma tanto com os resíduos de plástico como com as raízes de vetiver foi possível produzir blocos resistentes e com bom comportamento térmico, aptos para a construção de abrigos com um piso. Para reforço estrutural e suporte das paredes era utilizado armações de ferro.

A prensa manual atribui uma densidade de 225 kg/m³ ao material, e os tijolos medem 400 mm×200 mm ×200 mm (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Como é um material que apenas tem como matéria prima plástico ou raízes prensadas, quando os abrigos foram

desmontados os resíduos plástico voltaram a ser reutilizados e reciclados e no caso das raízes retornaram ao ciclo biológico.



Figura 128 O Ubuntu block de resíduos orgânicos derivados de raízes de vetiver (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 129 O primeiro protótipo de Ubuntu block com resíduos de plástico usado na Comunidade de Port-au-Prince (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Tabela 5 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo.: Caso de estudo UBUNTUBLOX.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO <i>UBUNTUBLOX</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo		Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
			✓ Resíduos de Plástico Diversos					✓ Raízes de Vetiver					
	Processo de transformação		Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade		0		0		1		2		3		4
									✓				
	Potencial de Reintrodução no Ciclo		Nulo					Baixo					Alto
	Bio.							1					2
	Tec.		✓										✓
	Conteúdo Tóxico		Nenhum					Baixo					Alto
			0					1					2
		✓											
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 40 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água	
		✓			✓			✓	✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
			✓	✓			Irregular	Baço	Opaco	Colorido	Nenhum		

Caso de Estudo: *Artek Pavilion*

Recurso: Resíduos da Impressora de Autocolantes

Ano: 2007

Aplicação Funcional: Vigas Estruturais ou Deck

País: Milão (local da 1 exposição)

Fabricante : UPM Biocomposites, Lahti, Finland

Designer : Shigeru Ban, Shigeru Ban Architects, Paris, France

Medidas padrão: 60 € mm × 60 € mm × personalizado

Espessura padrão: 8 mm

Densidade: 1.200 € kg / m³

Força de Dobra: 12 MPa

Absorção de água: 2,5% (CEN / TS 15534)

Classificação de Fogo: Classe E (EN ISO 11925-2)

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 123 Resíduos da Fábrica de Impressão e os compósitos da UPM (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

O arquiteto Shigeru Ban, no âmbito de construir uma sala de exposições para a empresa de moveis Artek Milão em 2007, utilizou um material compósito, que tem como matéria prima resíduos de impressão de adesivos e autocolantes (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As Impressoras de adesivos e autocolantes são cada vez mais eficientes, mas ainda produzem uma quantidade significativa de resíduos que geralmente não podem ser reciclados porque estão misturados com vários materiais, plásticos, colas, painéis e tintas de impressão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A empresa UPM finlandesa desenvolveu uma maneira de reutilizar os resíduos de papel contendo fibras de celulose e polímeros plásticos subprodutos da produção de etiquetas adesivas, através de um novo material de construção. Os resíduos utilizados na produção do novo material, são provenientes de preparações, montagens, impressões erradas, restos de corte e perfuração e são constituídos por 60% de celulose e 40% de plástico (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Este processo de transformação não necessita de aditivos adicionais e combina apenas as propriedades dos plásticos e do papel presentes nos adesivos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (UPM, 2020).

O material apresenta um bom comportamento estrutural com uma força de dobra de 12 Mpa, e uma absorção de humidade muito baixa, cerca de 2,5%, desta forma não necessita de nenhum agente impermeabilizante. A ausência de lignina, o aglutinante de madeira natural, impede que o material fique cinza quando exposto à luz UV (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Este material é produzido por moldagem de extrusão e injeção (um método utilizado

na indústria primária de plástico para moldar os produtos finais). O material apresenta, uma densidade de 1.200 € kg / m³ e pode adquirir diversas formas e ser polido e serrado, através de ferramentas convencionais. Para o pavilhão de Shigeru Ban, o material foi moldado em perfis com secção L e em painéis ondulados.

Os perfis L foram combinados com colunas e vigas nas zonas onde foi necessário um reforço estrutural. Os painéis ondulados à prova de água foram aplicados na cobertura e nas fachadas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (UPM, 2020).

A sala de exposições tem 40 metros e permite uma montagem e desmontagem fácil de modo a poder ser recolocado noutras feiras e exposições. O pavilhão foi produzido na Finlândia e enviado para Milão onde foi montado para a primeira exposição oficial. “Em 2008 o pavilhão foi vendido num evento de Objetos de Design Importantes do Século XX” (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Atualmente, o fabricante UPM Biocomposites vende um material semelhante para revestimento e Decks, uma alternativa mais sustentável (UPM, 2020).

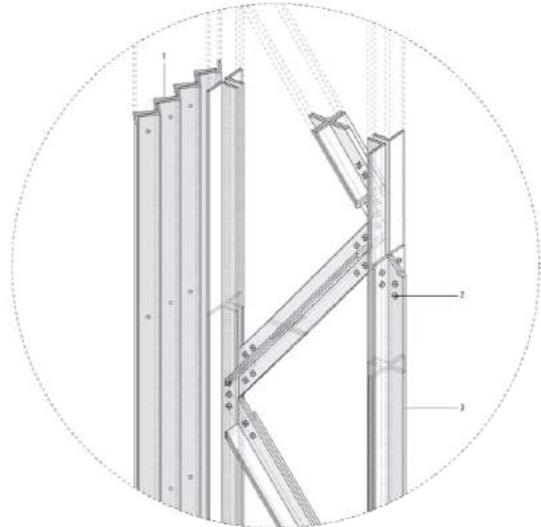


Figura 124 Os perfis L são aparafusados juntos para formar elementos em forma de T ou X que suportam carga. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

- 1 -revestimento exterior de perfis em forma de L
- 2 -parafuso de conexão
- 3 -elementos estruturais em forma de T e X



Figura 125 Fotografias do exterior do Artek Pavilion (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

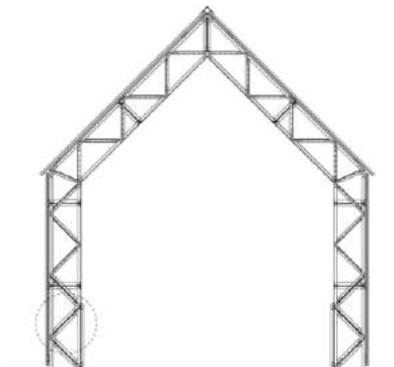


Figura 126 Pormenor construtivo que mostra a estrutura do Pavilhão com perfis da UPM (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 128 Perfis UPM do Artek Pavilion (Zinger & Snead, 2009)



Figura 127 Interior do Artek Pavilion exterior (Zinger & Snead, 2009)

Tabela 6 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo Artek Pavilion

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Artek Pavilion</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos da Impressora de Autocolantes										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo					Alto
	Bio. Tec.											✓
Desempenho Funcional	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto
		✓										
	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 40 km	
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água
		✓		✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamáveis	Retardadores de fogo	Inflamáveis	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor		Odor
	✓		✓			Lisa	Baço	Opaco	Cinza		Nenhum	

Caso de Estudo: *BYFUSION BYBLOCK*

Recurso: Resíduos da Impressora de Autocolantes

Aplicação Funcional: Blocos de Construção

País: Nova Zelândia

Fabricante : UPM Biocomposites, Lahti, Finland

Designer : Shigeru Ban, Shigeru Ban Architects, Paris, France

Medidas padrão: 400 mm 198 mm 227 mm

Espessura padrão: 8 mm

Densidade: 375–625 kg/m³

Força de Dobra: 12 MPa

Resistência á compressão: 0.95; 0.1 Mpa

Absorção de água: 2,5% (CEN / TS 15534)

Classificação de Fogo: Classe E (EN ISO 11925-2)

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 129 BYBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

O Byfusion é uma empresa na Nova Zelândia que desenvolveu um sistema para transformar os resíduos de plástico doméstico em blocos de construção e painéis (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo é realizado numa máquina industrial produzida e comercializada pela empresa, a Community Blocker ou a Industrial Blocker. Numa primeira etapa os plásticos são misturados e triturados em tiras finas para serem limpos numa máquina de lavar rotativa, de seguida são secos com ar quente, compactados em moldes, tapados e movidos para uma câmara de fusão (figura 173). Na câmara de fusão o plástico é fundido numa massa sólida por meio de calor e pressão, e é arrefecido ainda dentro da câmara, dando origem a blocos de construção, os ByBlock, um produto de construção reforçado e de alto desempenho, fabricado apenas com resíduos de plástico - sem aditivos ou cargas (ByFusion Global, 2020) & (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). As máquinas industriais podem produzir 250 a 1000 unidades por dia (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os ByBlocks são projetados para atender às exigências estruturais do edifício, apresentam uma força à compressão entre os 950 e 1 MPa e uma boa resistência as forças laterais. São duráveis, fáceis de montar, não apresentam riscos de rachar, são resistentes aos fungos, insetos e à água e podem ser aparafusados, pregados, grampeados, serrados e perfurados (ByFusion Global, 2020)& (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O sistema de encaixe dos blocos permite que não seja necessário a utilização de argamassa ou cola, contudo costumam ser adicionadas guias verticais de aço de modo a facilitar a construção e a garantir estabilidade estrutural em paredes superiores a 2,5 m (ByFusion Global, 2020) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Os blocos podem ser revestidos no local com técnicas comuns como o gesso, chapas ou o estuque ou combinados com outros materiais como a madeira, o aço e o betão (ByFusion Global, 2020)).

De forma a resistirem ao fogo devem ser colocadas barreiras térmicas como parte do acabamento ou retardadores de fogo secundários (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

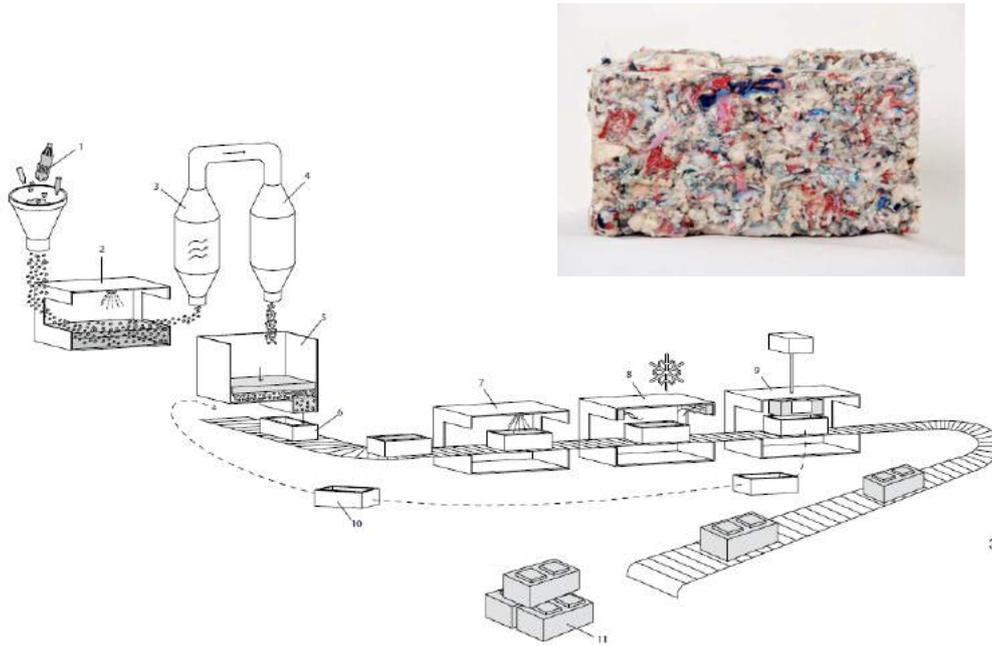


Figura 131 O processo e produção. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

1- Trituradora de resíduos de plástico 2 - Lavagem 3 - Secagem 4 - Silo 5 - Prensa 6 - Correia transportadora 7 - Câmara de fusão 8 - Ciclo de refrigeração 9 - Remoção de tampa 10 - Recuperação de molde 11 - Tijolo Byfusion

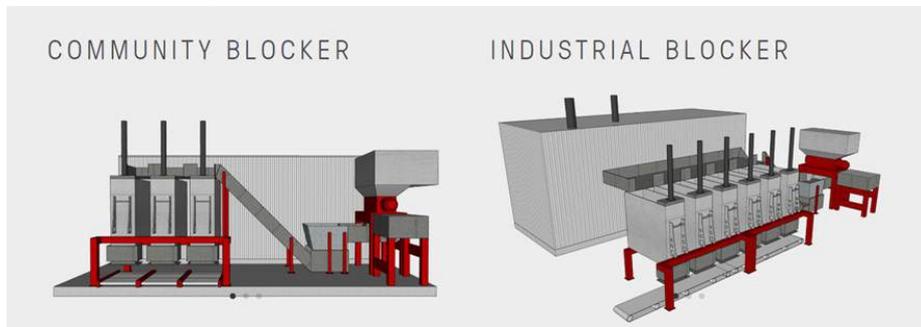


Figura 130 COMMUNITY BLOCKER - Processa até 30 toneladas por mês. INDUSTRIAL BLOCKER - Processa mais de 90 toneladas por mês (ByFusion Global, 2020).

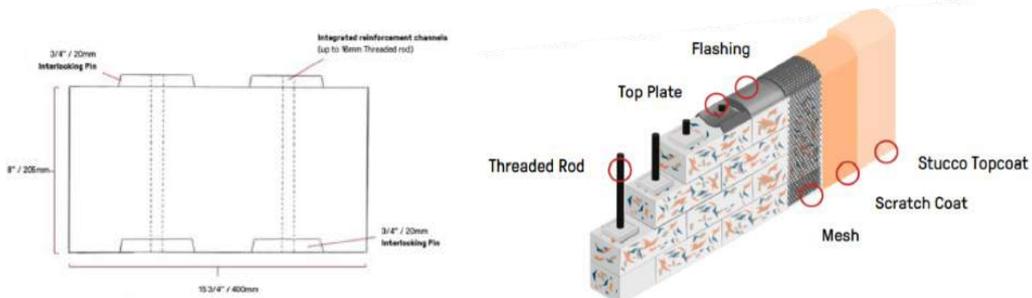


Figura 132 Tipos de Revestimento (ByFusion Global, 2020).

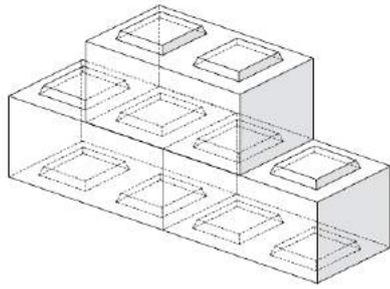


Figura 133 BYBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 134 ByBLOCK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 7 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo.: Caso de estudo *BYFUSION BYBLOCK*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>BYFUSION BYBLOCK</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos de Plástico Diversos										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo					Alto
	Bio.											✓
	Tec.	✓										
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água
		✓			✓			✓	✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor		Odor	
		E ✓	✓			Rugosa	Baço	Opaco	Colorido		Nenhum	

Caso do estudo: *Polli-Brick*

Recurso: Garrafas Pet
Aplicação Funcional: Enchimento de Reforço e Blocos Estruturais
País: China
Fabricante e Designer: MINIWIZ, Taipei, Taiwan
Medidas padrão: altura: 308/180/118 mm diâmetro: 160 mm
Peso: 48 g
Reforço estrutural: Folha PVC, Telha metálica.
Resistência a forças laterais: 3300 pascal
Medidas Padrão Parede Modelar: 162.4cm x 176cm x 38.5cm
Peso Parede Modelar: 36 kg
Resistência térmica: 12.0 K·m²/W
Carga Parede: 345kg/m²
Capacidade do recipiente: 6000 / 690 / 400ml
Classificação de Fogo: Auto-extinguível; Fireretardant à especificação
 Certificação: - ASTM E-330/331 (Structural Performance); AAMA 501.4 (Water Penetration); UL Certification E 98658 (Plastics Component)
Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (Minimiz, 2020) & (Minimiz Sustainable Energy Development TLD, 2017).

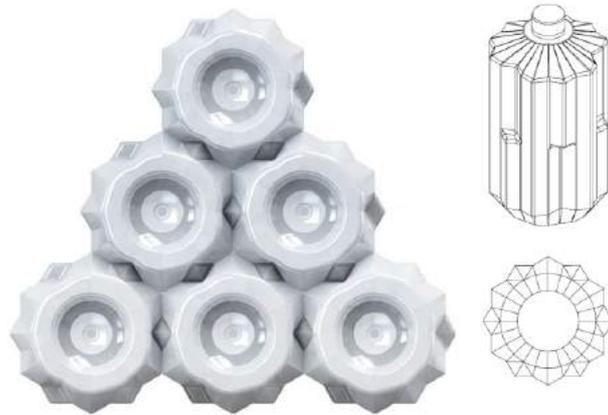


Figura 135 A forma do *POLLI-Brick* permite a construção de estruturas modulares. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

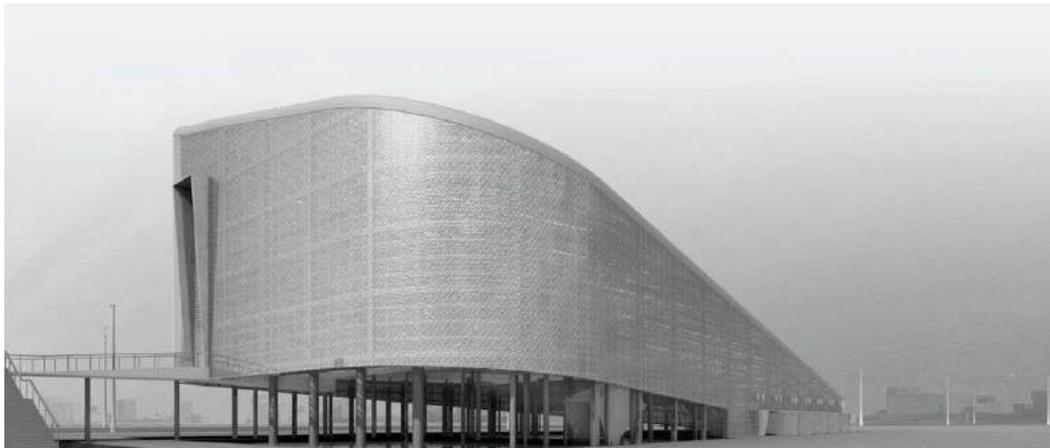


Figura 136 EcoARK (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

A empresa Winimiz é composta por uma equipa de designers e engenheiros, que trabalham com uma visão circular os materiais de construção, desenvolvem materiais e sistemas construtivos com recurso a resíduos de vários setores. Na base de dados online da empresa é possível ter acesso à pesquisa de engenharia de materiais realizada durante 10 anos (Minimiz, 2020). O TrashLab é o local onde exploram e testam novos materiais, métodos de produção, máquinas, técnicas e tratamentos moleculares (Minimiz, 2020).

Os Polly-Bricks são garrafas 100% recicladas de polímero de Polietileno Tereftalato, projetadas para que após consumo possam ser reutilizadas diretamente na construção, como um material translúcido, leve e reciclável. O design das garrafas é alterado em 3D para uma forma modular, semelhante ao favo de mel, o resultado é um recipiente muito resistente sem aditivos químicos para que possa ser adequado ao setor da construção. (“Curtain Walls”)

(Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). A tecnologia utilizada para fabricar as garrafas em massa é altamente inovadora, os engenheiros alteram a linha de modelagem por injeção e sopro, tornando a fabricação em massa mais eficiente, reduzindo a pegada de carbono comparativamente com outros sistemas semelhantes (Miniwiz, 2020).

A forma modular das garrafas permite a montagem / desmontagem rápida e a formação de painéis retangulares (modulo de parede) as paredes pesam apenas 1/5 do peso de outros sistemas convencionais semelhantes (“Curtain Walls”) (Minimiz Sustainable Energy Developmennt TLD, 2017). As paredes de Polli-brick podem recorrer a uma estrutura de suporte nos edifícios de maior dimensão. (Miniwiz, 2020) & (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O edifício EcoARK da Exposição Internacional de Flora 2010 em Taipei, Taiwan, usou o Polli-Brick na fachada, onde as garrafas foram encaixadas dentro de uma estrutura metálica, as garrafas têm a função de enchimento reforçado e um sistema adicional de painel plástico controla a emissão de luz UV, o vento e a infiltração de água (Miniwiz, 2020) & (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O módulo dos painéis utilizados no edifício suporta forças até 3300 pascal, contraventos laterais, a translucidez do material permite a redução do consumo de energia para iluminação interna, e o sistema construtivo oferece ótimas qualidades isolantes. A instalação do sistema construtivo é simples, leve e autoblocante, o que permitiu a redução de energia e tecnologia para a construção e, no futuro, irá permitir que este possa ser desmontado e montado noutra local de forma rápida e eficaz. Para além disso, importa salientar que foi integrado no EcoArk um sistema interativo de luzes led no interior das garrafas alimentado por energia solar, que pode ser controlado por android e iPad criando um efeito de pixéis nos painéis e um sistema de capação de água da chuva para a climatização dos espaços (Minimiz Sustainable Energy Developmennt TLD, 2017).

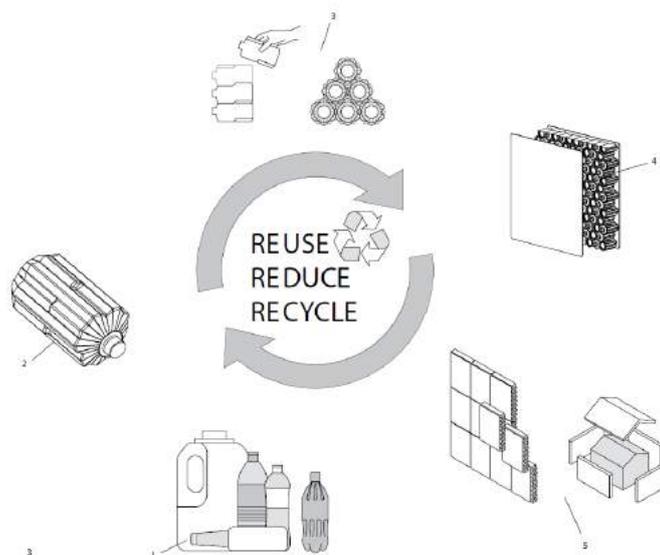


Figura 137 EcoARK O conceito de ciclo de vida do POLLI-Brick. 1 - Reciclagem 2 - Remodelagem 3 - Montagem 4 - Construir módulos pré-fabricados 5 - Construção(Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 141 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)



Figura 143 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)



Figura 140 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)



Figura 142 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)



Figura 139 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)

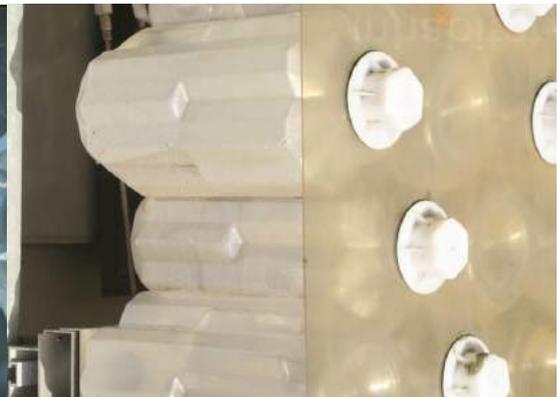


Figura 138 Exterior *EcoARK* (Inhabitat, s.d.)

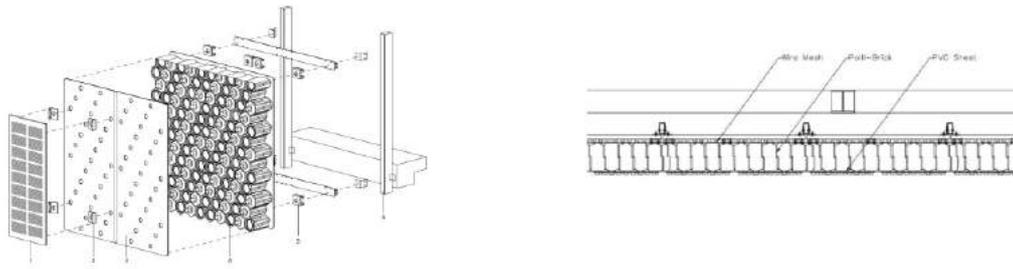


Figura 144 Módulo padrão POLLI-Brick (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

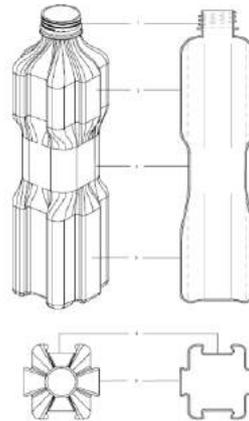
1- Módulo fotovoltaico solar 2 - junta de corte fotovoltaica solar 3 - revestimento duro em PVC 4 - montagem pré-fabricada POLLI-Brick 5 - juntas de fixação 6 - subestrutura

Tabela 8 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Polli-Brick*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Polli-Brick</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Garrafas PET										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
				✓								
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio.	Tec.							✓			
	✓											
	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 40 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água
			✓			✓		✓	✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		E	✓			Padrão Geo.	Brilhante	Translucido	Nenhuma	Nenhum		

Caso de Estudo: United_Bottle e PET (b) rick

Recurso: Garrafas Pet
Aplicação Funcional: Blocos de Construção
País: UB-Suíça PB- República Checa
Fabricante e Designer:
 UB -UNITED BOTTLE Group
 PB- Kateřina Nováková, Karel Šepsb, Henri Achtena
Medidas padrão:
 UB -89 mm × 89 mm x 350 mm
 PB- sem informação
Capacidade do Recipiente:
 UB-1,500 ml
 PB- sem informação
Carga Máxima da Garrafa:
 UB-Sem Informação
 PB- 3KN
Peso: aproximado 40- 50 g
Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017)



Cada unidade pode ser conectada a outras quatro unidades. 1- Gargalo 2- presa externa 3- alça de mão 4 -presa interna

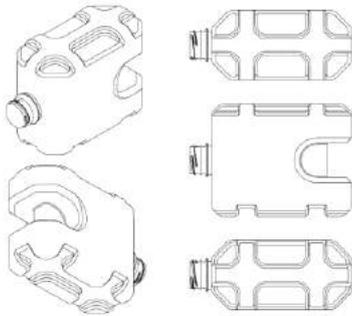


Figura 146 PET (b) rick (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017)



Figura 145 PET (b) rick. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

O United Bottle é um material que sugere de um novo design para o recipiente de PET comum, permitindo que após a sua vida útil este seja usado diretamente na construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A garrafa é desenhada com duas dobras para dentro e duas para fora, permitindo o encaixe entre elas. Uma vez montadas formam um sistema estrutural horizontal e vertical, semelhante a uma parede de alvenaria comum, sem necessidade de cola ou argamassa (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As garrafas podem ser cheias com terra, água, sacos de plástico, papel ou penas, de forma a aumentar as suas propriedades térmicas, acústicas ou estéticas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Para a aplicação em grande escala do United Bottle, apenas seriam necessárias pequenas alterações no processo de fabricação atual de garrafas Pet, nomeadamente no molde de injeção por sopro e a adesão das empresas dispostas a utilizar o recipiente. Este projeto mostra que é possível através do design ativar o potencial de valor dos resíduos. Mas apesar de ser um conceito promissor, o *United Bottle*, está apenas disponível em pequenas quantidades e principalmente exposto em museus (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O PET(b)rick é um material, semelhante ao United_Bottle, desenvolvido pela universidade de engenharia Civil Técnica de Praga (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

Este material pode ser produzido com PET virgem ou reciclado. O design do PET (b)rick teve que responder a 2 requisitos principais: o recipiente tinha de ser realizado com tecnologia convencional de modelagem por injeção e sopro, implicando o uso de pré-formas industriais e ter a máxima conexão entre as garrafas por clique seco (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

Após vários testes de prototipagem foi possível desenvolver um protótipo que não explodisse durante o processo de fabricação, mantivesse a transparência e com uma boa conexão por clique (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

As garrafas Pet(b)rick foram submetidas a vários testes de stress (imagem 105), e as amostras (garrafas) testadas, continham no seu interior ar, água, areia e Co2 (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

Nas garrafas com ar, verificou-se que a deformação é proporcional ao peso: a carga entre 0.08 e 0.1 kN provoca uma deformação de 10mm na garrafa e com carga de 13 kN as garrafas sofrem alterações irreversíveis (deformam ou colapsam) (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

Os testes de stress com a combinação de garrafas mostraram que é necessário distribuir de forma regular a força pela estrutura força. O teste realizado num cubo de garrafas, apontou que a estrutura consegue resistir com uma carga de 13kN sem deformar (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

Os testes realizados a diferentes temperaturas ($\geq 60^{\circ} \leq 0^{\circ}$) concluíram que quanto maior a temperatura menor é o desempenho, e a temperaturas negativas comprometem a resistência à tensão (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).

De todos os blocos testados (ar, CO₂, água, areia), os blocos com areia e com CO₂ são os que possuem melhor desempenho. Para além da resistência à tenção e compressão, foram analisadas as características térmicas, acústicas e estéticas dos materiais, e concluiu -se que estão diretamente relacionadas com as substâncias dentro presente nas garrafas (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017).



Figura 147 Ilustração e os vários tipos de conteúdo das Garrafas *United Bottle*, (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 148 Testes de Stress das Garrafas Pet(b)irck (Nováková, Šepsb, & Achtena, 2017)

Tabela 9 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *United_Bottle e PET (b) rick*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>United_Bottle e PET (b) rick</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial						
		✓ Garrafas PET											
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação	
	Complexidade	0		0 ✓		1		2		3		4	
	Potencial de Reintrodução no ciclo biológico	Nulo					Baixo					Alto	
	Bio. Tec.											✓	
	Conteúdo Tóxico	Nenhum ✓					Baixo					Alto	
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0					Disponibilidade num Raio de 10 km					Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 40 km
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água	
	✓			Depende do material de enchimento.			Depende do material de enchimento		✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor		Odor	
		✓	✓			Padrão Geo.	Brilhante	Translucido (garrafa vazia)	Depende		Nenhum		

Caso de estudo: *RECY BLOCKS*

Recurso: Sacos de plástico usados

Aplicação Funcional: Blocos de Construção

País: Holanda

Fabricante e Designer: Gert de Mulder

Medidas padrão: 600 mm × 300 mm

Espessura padrão: 100–150 mm

Densidade: 167 kg / m³

Classificação de Fogo: Não há informação

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 149 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

O Recy Block é um material desenvolvido pela Gert de Mulder, uma artista holandesa, e tem como única matéria prima sacos de plástico descartados e outros resíduos de plástico. O Recy Block pretende ser uma alternativa para perlongar e estimular novos ciclos dos resíduos de plástico (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O material é projetado de forma a aproveitar as capacidades estruturais do polietileno com uma abordagem artística, neste sentido os plásticos são selecionados de acordo com as características pretendidas (cor e transparência). O processo de produção envolve a reciclagem de polietileno, o plástico reciclado fundido é colocado num molde, onde é aquecido e compactado para formar um elemento sólido de construção. O molde utilizado é de forma retangular 600 mmx 300 mm para facilitar a construção de paredes.

O sistema de conexão implica a utilização de furos no material e tubos de metal. Os tubos permitem pequenas alterações e movimentações nos blocos, oferecendo aos usuários a possibilidade de abrir ou fechar a parede para obter luz e visão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Outro produto com o mesmo processo de transformação desenvolvido por Gert de Mulder, é o Recy Screen, que ao contrário do primeiro é muito mais fino (4 a 10 mm), resultando num material translúcido, que pode ser fixo a uma estrutura". É um material resistente à água pode ser aplicado no interior ou exterior, em paredes divisórias não estruturais, apresentando um comportamento acústico moderado (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 150 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 151 RECY BLOCKS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 10 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *RECY BLOCKS*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>RECY BLOCKS</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo						Resíduo Industrial				
		✓ Sacos de Plástico Descartados										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo				Baixo				Alto		
	Bio.									✓		
Tec.	✓											
Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 40 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água
	✓			✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência		Cor	Odor
		✓	✓			Lisa	Brilhante	Translucido ou Opaco depende da espessura		Depende	Nenhum	

Caso de estudo: *Bima's Microlibrary* | SHAU Bandung

Recurso: Caixas de Gelado Usadas
País: Indonésia
Ano: 2016
Arquiteto: SHAU Bandung
Fabricante: Artesãos Locais e a Comunidade
Medidas padrão: 600 mm × 300 mm
Espessura padrão: 100–150 mm
Densidade: 167 kg / m³
Classificação de Fogo: Não há informação
Orçamento: 3500
Fonte: (Griffiths, 2016)



Figura 152 Vista Exterior *Bima's Microlibrary* (Griffiths, 2016)

Microlibrary é um projeto piloto e o primeiro protótipo de uma série de pequenas bibliotecas, projetada pelo atelier SHAU Bandung.

É uma pequena instalação de leitura comunitária na Indonésia, no bairro Taman Bima. O projeto tinha o objetivo de oferecer um espaço de apoio ao ensino e outras atividades como forma de combater o analfabetismo da região. O primeiro piso é libertado para albergar múltiplas funções e a biblioteca é elevada (SHAU Bandung,, 2016).

A escolha do material teve de responder a uma série de exigências: ser um material acessível e amplamente disponível, proporcionar um equilíbrio entre a sombra e a luz natural e permitir a permeabilidade de ar (Griffiths, 2016).

A ideia inicial era usar bidões de plástico brancos e translúcidos, mas não havia a quantidade suficiente destes resíduos na região, portando os arquitetos decidiram usar caixas de gelado, cerca de duas mil. Assim foram combinadas caixas com fundo e sem fundo (cortadas por artesãos locais) e orientadas em diferentes direções. O padrão da orientação e combinação das caixas teve um significado simbólico, uma codificação duma frase de Ridwan Kamil ""buku adalah jendela dunia", que significa "os livros são as janelas do mundo" (Griffiths, 2016).

A utilização das caixas (abertas e fechadas) garantiu a ventilação natural e criam um ambiente agradável de iluminação interna, pois dispersam a luz solar direta e agem como "lâmpadas naturais" (Griffiths, 2016).

A estrutura da biblioteca é composta por vigas de aço assentes numa laje de betão que funciona como um palco. As caixas de plástico são fixas com parafusos em nervuras de aço verticais inclinadas, para resguardar a parede e para proteger o interior da biblioteca da chuva e das tempestades. Atrás das fachadas de plástico são colocadas janelas de correr. (SHAU Bandung,, 2016)



Figura 153 Vista Exterior Bima's Microlibrary (Griffiths, 2016)



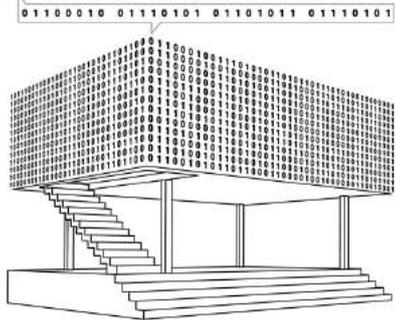
Figura 154 Vista Interior Bima's Microlibrary (Griffiths, 2016)



Figura 155 Interior Bima's Microlibrary (Griffiths, 2016)



buku adalah jendela dunia*



*books are the windows to the world

Figura 157 Código Bima's Microlibrary (Griffiths, 2016)

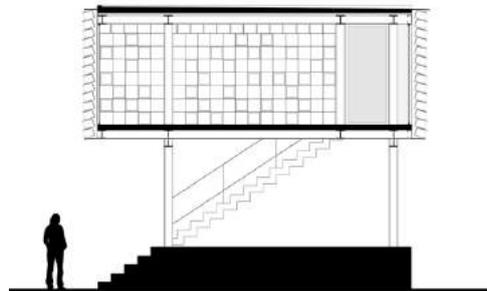
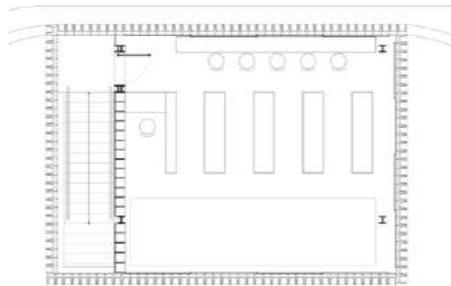


Figura 156 Desenho Técnico -Vista Exterior Bima's Microlibrary (Griffiths, 2016)

Tabela 11 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Bima's Microlibrary*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Bima's Microlibrary</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Caixas de Gelado										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio.									✓		
	Tec.	✓										
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
			✓		✓		✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Padrão Geo.	Brilhan-te	Translucido	Branco	Nenhum		

Caso de estudo: *Pet Pavilion*

Recurso: Garrafas de Plástico Pet (40Mil); Tampas das Garrafas (25Mil); Vidro Recuperado
Aplicação Funcional: PAINEL de Fachada
Ano: 2014
Arquitetos: Project.DWG e LOOS.FM
Área: 227 m²
País: Holanda
Classificação de Fogo: Não há informação
Fonte: (Loos.FM, 2014)



Figura 158 Textura dos painéis com Garrafas Pet/ Vista exterior do Pet Pavilion

O Pet Pavilion está localizado na cidade de Enschede na Holanda, num parque com hortas locais e eventos comunitários, projetado em 2014 pelo atelier LOOS.FM em colaboração com Project DWG. O edifício albergava uma galeria de Arte e Sala de estar para os habitantes do bairro (Loos.FM, 2014).

O projeto inspirou-se na Casa Farnsworth de Ludwig Mies van der Rohe. Segundo os arquitetos “foi uma referência perfeita para transformar os resíduos num gesto arquitetónico intemporal”⁵⁹ (Loos.FM, 2014). Neste sentido os arquitetos desenharam duas lajes monumentais unidas por paredes que funcionavam com cortinas transparentes luminosas. Estas paredes eram compostas por duas folhas de plástico unidas com um sistema de encaixe que utiliza os gargalos e as tampas das garrafas de plástico, e no espaço vazio (entre as duas folhas) foram colocadas 40 mil garrafas plásticas (Loos.FM, 2014). A transparência das garrafas permitiram iluminar o interior com luz natural difusa e à noite funcionam como uma lanterna abstrata na paisagem (Loos.FM, 2014).

A rampa que liga a rua ao pavilhão é revestida com 25 mil tampas brancas de garrafas. Na fachada oposta uma série de painéis pivotantes de vidro recuperado de uma antiga estufa abrem-se para um terraço e para a extensão do parque. O terraço atua como um palco da paisagem (Loos.FM, 2014).

⁵⁹ Traduzido pela autora do holandês: “Het opgetilde volume van het iconische Farnsworth House (door Ludwig Mies van der Rohe) bleek een perfecte referentie te zijn om van het grove afvalmateriaal een tijdloos architectonisch gebaar te kunnen maken.”

O pavilhão funcionou até 2017 como um espaço recreativo e comunitário, que depois foi recolocado noutra local e contexto. Segundo os Arquitetos, o pavilhão pode ser desmontado e facilmente recolocado noutra local e facilmente inserido em diferentes contextos e funções (Loos.FM, 2014).

O grande objetivo dos Arquitetos era explorar as possibilidades da construção sustentável através de fluxos de resíduos, dando-lhe uma nova utilidade, um novo valor, e sensibilizar os usuários para a quantidade de resíduos que são produzidos (Loos.FM, 2014).



Figura 159 Vista exterior Pet Pavilion (Archdaily, 2014)



Figura 160 Textura Parede Pet Pavilion (Archdaily, 2014)



Figura 161 Vista Exterior Pet Pavilion (Archdaily, 2014)



Figura 162 Pormenor de União de painéis Pet Pavilion (Archdaily, 2014)



Figura 163 Testes parara as Paredes Pet Pavilion e os Gargalos usados para unir os painéis (Loos.FM, 2014)



Figura 164 Interior Pet Pavilion (Archdaily, 2014)

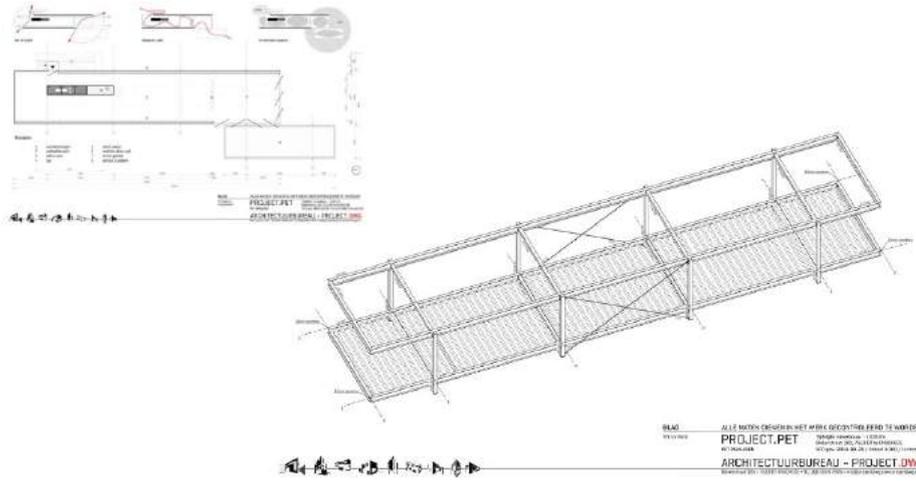


Figura 165 Axonometria Pet Pavilion (Archdaily, 2014)

Tabela 12 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Pet Pavilion*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Pet Pavilion</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Garrafas PET										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
Bio.											✓	
Tec.	✓											
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0					Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km	
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓			✓		✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Irregular	Brilhante	Translucido	Azul e Branco	Nenhum		

Caso de estudo: *Rising Moon Pavilion*

Recurso: Garrações de Polycarbonato (4800) e Garrafas Pet (2300)
Ano: 2013
Aplicação: Fachada
País: China (HongKong)
Arquiteto: DayDreams Design
Classificação de Fogo: Sem Informação
Fonte: (A'designaward & Competition, 2013) & (Designboom, 2013)



Figura 166 Vista Exterior *Rising Moon Pavilion* (Designboom, 2013)

O *Rising Moon Pavilion* foi uma instalação temporária desenhada pelo atelier DayDreams Design em HongKong no ano de 2013, para o Festival do Meio Outono. O Festival é uma tradição da região e é realizado pela comunidade chinesa todos os anos, para celebra a Reunião (A'designaward & Competition, 2013).

O conceito do projeto, parte de uma tentativa de aproximar a lua dos habitantes, através da criação de uma Lua Sintética, com impacto visual dinâmico, ao mesmo tempo que pretende incorporar de princípios de construção sustentável, com a utilização de resíduos de plástico e materiais reutilizáveis (A'designaward & Competition, 2013).

Para a construção reutilizaram 4800 garrações de polycarbonato (5 litros) e 2300 garrafas Pet. Os garrações funcionavam como as lanternas tradicionais de papel chinesas, e cobriam toda a superfície da cúpula da lua sintética. Cada garrafa estava equipada com um sistema led (económico e reutilizável) controlado por um computador (A'designaward & Competition, 2013).

A estrutura era uma cúpula geodésica, tinha 10 metros de altura e 20 de diâmetros, com 148 componentes modelares triangulares pré-fabricados de aço, com uma rede de cabos de aço incorporada, as garrafas enroscavam-se numa pega metálica que cobria as luzes led. No interior estavam penduradas 2300 duas garrafas de Pet, em forma de onda (A'designaward & Competition, 2013).

A zona circundante do pavilhão era uma piscina que refletia o pavilhão em várias perspetivas, imitando as fases da lua (A'designaward & Competition, 2013). No final do evento o pavilhão foi desconstruído e completamente reciclado.



Figura 169 Vista Interior do Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)



Figura 170 Vista Exterior do Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)

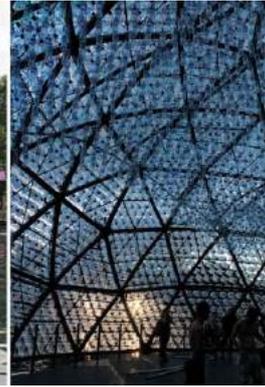


Figura 171 Vista Exterior do Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)



Figura 172 Pormenor fachada do Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)

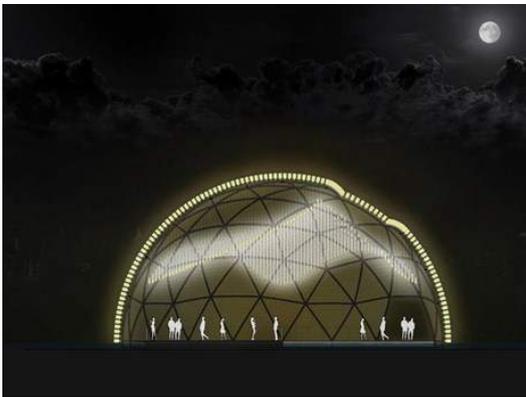


Figura 173 Desenhos Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)

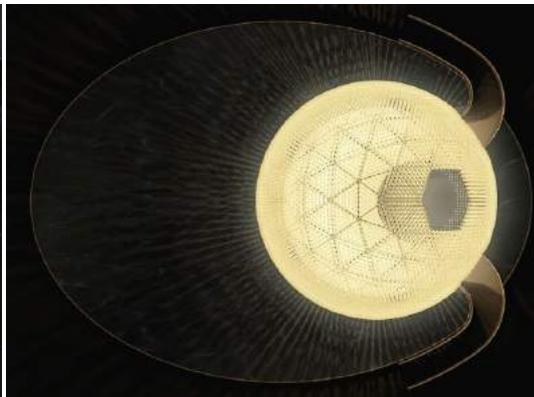


Figura 174 Desenhos Rising Moon Pavilion (Designboom, 2013)

Tabela 13 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Rising Moon Pavilion*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Rising Moon Pavilion</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial						
		✓ Garrafões de Policarbonato (4800) e Garrafas Pet (2300)											
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração:	Reciclagem: Transformação:						
	Complexidade	0	0	1	2	3	4						
		✓											
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo			Baixo			Alto					
	Bio.	Tec.							✓				
	✓												
Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo			Alto						
	✓												
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico, Não resistente à água		
			✓	✓			✓		✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura		Brilho	Transparência	Cor	Odor		
		✓	✓		Padrão Geo.	Brilhante	Translucido	Azul e Branco	Nenhum				

Caso de Estudo: *Tailored Tile* e *Pretty Plastic*

Recurso: Resíduos de Plástico

Aplicação Funcional: Paineis de Fachada, Pisos, Paredes interiores

Fabricante: Tailored tile; Prettyplastic

País:

TailoredTile: Portugal

Pretty Plastic: Países Baixos

Fonte: (Eco.nomia, s.d.)

(Tailored Tile,

s.d.).(PrettyPlastic, s.d.)



Figura 175 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.) e Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.)



O *Tailored Tile* é um material português criado pela Arquitecta Ana Rita Rodrigues em 2008. Este tem como única matéria prima plástico reciclado da Marina Grande no Porto (Eco.nomia, s.d.).

A ideia surgiu quando a autora desenvolveu a tese de mestrado sobre azulejos e ao visitar as fábricas de cerâmica, apercebeu-se que era possível reaproveitar peças partidas na produção. Desta forma decidiu criar azulejos com plástico 100% recuperado, adquirido em empresas de trituração de resíduos plásticos na Marina Grande (Eco.nomia, s.d.). Os azulejos são moldados por injeção de sopro. A variedade de cores é obtida com a adição de corantes. Os azulejos podem ser adquiridos online ou em lojas de produtos para a casa como Ikea. São equipados com uma tira “bi-adsiva”, para aplicação rápida nas paredes. No seu fim de vida podem voltar à empresa e reintegrar esta cadeia específica ou voltar ao ciclo normal de reciclagem de plástico (Tailored Tile, s.d.).

Outra empresa semelhante é a Pretty Plastics, na Alemanha. Fabrica um material de revestimento feito com resíduos de plástico do setor da construção como caixilharias de janelas, algerozes e calhas da chuva. O objetivo da empresa é dar um novo valor estético a este resíduo. A cor dos azulejos depende da cor dos resíduos (PrettyPlastic, s.d.).

Os azulejos podem possuir um sistema de encaixe numa grelha metálica, semelhante ao usado no *Peoples Pavilion* na Suíça em 2015 ou podem ser aparafusados a uma estrutura de madeira com ripas verticais e horizontais. O *Pretty Plastic* pode reintegrar a cadeia produtiva da empresa, ou voltar ao ciclo normal do plástico (PrettyPlastic, s.d.).



Figura 176 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.).



Figura 177 Ajuleitos Tailored Tile (Tailored Tile, s.d.).



Figura 179 People's Pavilion (Tailored Tile, s.d.).



Figura 180 Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.)



Figura 178 Ajuleijos Pretty Plastic (PrettyPlastic, s.d.)

Tabela 14 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Tailored Tile e Pretty Plastic*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Tailored Tile e Pretty Plastic</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos de Plástico Variados										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
		0		0		1		2		3		4
	Complexidade								✓			
	Potencial de Reintrodução no Ciclo		Nulo			Baixo			Alto			
	Bio.	Tec.							✓			
		✓										
Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto				
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água
	✓			✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Padrão Geo.	Brilhante	Opaco	Várias	Nenhum		

Caso de Estudo: Lã de Pet

Recurso: Garrafas Pet
Aplicação Funcional: Isolamento Termo acústico
Fabricante: SupaSoft Insulation Reino Unido
Espessura: varia
Absorção de Água: 0%
Coefficiente de transferência térmica de 0.04w/mk
Calor específico: 1000 J/kg -1 K -1
Classificação de fogo: Flammability to BS 5803-4
Resistência ao vapor: 5 MN·s·g-1m-1
Ponto de ignição: >500°C
Fonte: (Sustainables, s.d.) (Supa soft insulation, 2020) (Portal Acústica, 2019)



Figura 181 Lã de Pet (Supa soft insulation, 2020)

A lã PET ou lã de Poliéster é um material termo acústico fabricado partir de fibras de garrafas Pet usadas. É um material 100% reciclável e já é comercializado por algumas empresas em várias partes do mundo. Converter garrafas plásticas em isolamento de edifícios ajuda a desviar muitas toneladas de resíduos plásticos de aterros ou incineração (Sustainables, s.d.) (Supa soft insulation, 2020) (Acústica, 2019).

Para fabricar este material, as garrafas PET são recolhidas, prensadas, lavadas e moídas em flocos, para então serem colocadas numa máquina industrial que transforma os flocos em fibras PET. Para fabricar a lã PET pode ser adicionado outras fibras ou aditivos, como retardadores de fogo, mas geralmente são constituídas por 95% ou mais fibras de PET. É um material que não contém produtos químicos prejudiciais ou aglutinantes e é totalmente seguro para manusear é um material não combustível. Não permite a proliferação de fungos ou bactérias e não é atacado por insetos, pássaros ou roedores (Sustainables, s.d.) (Supa soft insulation, 2020) (Portal Acústica, 2019).

As mantas de lã de PET são aplicadas no preenchimento de paredes, sobre sistemas de forro, ou mesmo como revestimentos aparentes. É fabricado em diversas espessuras (300 – 200 mm) e possui um coeficiente de transferência térmica de 0.04 w/mk, é impermeável e a apresenta uma ótima capacidade de absorção sonora. (Portal Acústica, 2019).

Tabela 15 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Lã de PET*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: Lã de Pet										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Garrafas PET										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração:		Reciclagem: Transformação:
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio.									✓		
	Tec.	✓										
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
	✓					✓		✓	✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
✓			✓			Irregular	Brilhante	Opaco	Branco	Nenhum		



Fardos de resíduos de cartão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

3.5. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE PAPEL

O papel surgiu há muitos séculos e o seu método de produção foi evoluindo ao longo do tempo. Acredita-se que a produção de Papel surgiu na China, nos primeiros anos da Era Cristã, e este conhecimento foi-se espalhando pelo mundo até ao aparecimento das máquinas de papel (CELPA, s.d.).

A produção quadruplicou nos últimos 50 anos e atingiu 406 milhões de toneladas em 2015. Na europa foram produzidos 104 milhões de toneladas de papel e cartão, dos quais 70 % foram recuperados (Haggith, *et al.*, 2018). Em Portugal foram produzidos em 2014, 2182 mil toneladas de papel e cartão dos quais 63% foi recuperada (ReciPac, 2014).

O papel é um material de origem orgânica, e as matérias primas que estão associadas à sua produção são árvores de folha caduca e coníferas, o cânhamo, o algodão, o bambu, a cana e outras árvores que contenham celulose. (Latka, 2017)

O ciclo de vida do papel e do cartão divide-se em cinco estágios principais : a extração e preparação da matéria prima, a preparação da polpa de papel, o processamento da polpa para formar folhas de papel, o processamento por outras industrias especializadas (como caixas, produtos de papel) e por fim a reciclagem, a valorização energética ou aterro (Latka, 2017).

Atualmente o papel e o cartão estão presentes em diversos produtos, desde folhas de impressão, embalagens, caixas, papel higiénico, entre outros.

O papel reciclado faz parte integrante da produção de papel e celulose, trazendo benefícios ambientais comparativamente com a produção de papel virgem. Contudo, e de acordo como *The World Business Council for Sustainable Development*, a reciclagem do papel nunca pode atingir os 100%, porque as fibras de papel podem ser recicladas apenas cinco vezes até enfraquecerem e afetarem a qualidade do papel e uma parte significativa destes resíduos é contaminada ao longo da sua vida (Latka, 2017). A cada ciclo, as fibras do lodo reciclado separam-se e as tintas, os pigmentos, revestimentos e tratamentos tendem a acelerar este processo (Latka, 2017).

O preço da reciclagem de desperdícios e resíduos de papel é uma alternativa mais cara do que a valorização energética, neste sentido ainda há uma grande parte dos resíduos de papel enviados para incineradoras, ou depositados em aterro.

Este subcapítulo apresenta alternativas inovadoras para a reciclagem downcyclig e inceneração de resíduos de papel, ao mesmo tempo explora o seu potencial como material de construção. Assim, pretende-se retirar temporariamente os resíduos de papel do seu ciclo normal, atribuindo-lhes um novo valor estético e arquitetónico.

CARACTERÍSTICAS DO PAPEL

O papel é constituído por fibras de celulose que são insolúveis em água e apresentam uma grande resistência mecânica (Latka, 2017).

As suas propriedades mecânicas variam de acordo com o processo de fabrico, como por exemplo, a orientação das fibras na máquina de papel (dispostas na direção da máquina (DM) ou no sentido oposto (DM). Quanto mais ligações forem criadas entre as fibras de celulose, mais forte será o papel (Latka, 2017).

O papel apresenta melhor comportamento sujeito às forças de tensão, do que às forças de compressão.

A resistência à tração do papel varia entre 15 e 45 Mpa, mas alguns tipos de papel conseguem atingir os 80 Mpa, (Latka, 2017). As suas propriedades de resistência são influenciadas pela humidade pois é um material higroscópico e hidro-expansivo, com um teor ideal entre os 5% a 7%, com a humidade relativa de 50 %.

É um material inflamável, apresenta uma temperatura de combustão de 230^o (Latka, 2017).

O papel está sujeito ao ataque de fungos e outros microrganismos, mas podem aplicados métodos de impermeabilização com o objetivo de maximizar a performance do material (Latka, 2017). Um método tradicional é aplicar proteína de ovo, mas não há estudos que comprovem a sua eficácia. O arquiteto Shigeru Ban, conhecido pelas suas obras com recurso estrutura de papel, geralmente usa líquido de poliuretano para o revestimento dos tubos (Latka, 2017).

Caso de estudo: Corrugated Cardboard Pod

Recurso: Desperdício da Indústria de Caixas de Cartão Ondulado

Ano: 2001

Aplicação: Blocos de Construção

País: Estados Unidos da América (Alabama)

Fabricante: Corrugated cardboard box plants, USA
City, NY, USA

Designer: Rural Studio, Auburn University, Newbern, AL, USA

Medidas padrão: 800 mm × 2000 mm

Densidade: 400 kg/m³

Comportamento Térmico: Muito Alto (não especificado)

Classificação de Fogo: Sem Informação (em teste)

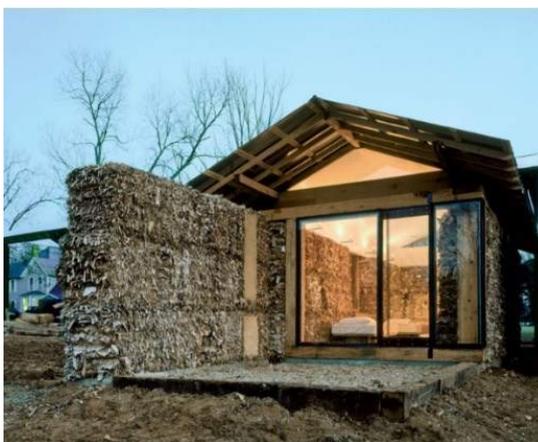


Figura 182 O Corrugated Cardboard Pod construído por estudantes do Estúdio Rural da Universidade de Auburn, AL, EUA. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O projeto CardBoard Pod é um projeto experimental da universidade Auburn que explora a possibilidade da aplicação de desperdícios da indústria de caixas de cartão como material de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O Protótipo desta universidade explora as características estruturais e isolantes deste material, incorporando os fardos na fundação e na estrutura da parede (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os fardos de resíduos de cartão foram comprimidos a altas pressões em forma de bloco. A colocação dos fardos é semelhante à dos sistemas de alvenaria, permitindo uma construção modular. As lacunas foram preenchidas com cimento Portland, terra e aparas de cartão. Para reforço estrutural usaram-se vigas de madeira, que suportam o telhado e cabos de aço que dão estabilidade à estrutura (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)..

A densidade alta dos fardos resultou num material de construção com bom comportamento térmico. O aumento da espessura da parede permitiu que o material ganhasse mais resistência ao fogo e à água, contudo, as classificações de incêndio podem ser melhoradas com sprays adicionais retardadores de chama, assim como, a impermeabilização, se forem adicionadas substâncias impermeabilizantes (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Este protótipo é usado pelos alunos da universidade para experimentar diferentes sistemas construtivos com recurso a resíduos e para realizar testes sobre o comportamento destes sistemas construtivos ao longo do tempo (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 184 *Corrugated Cardboard Pod* (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 183 Blocos de construção para o *Corrugated Cardboard Pod*. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

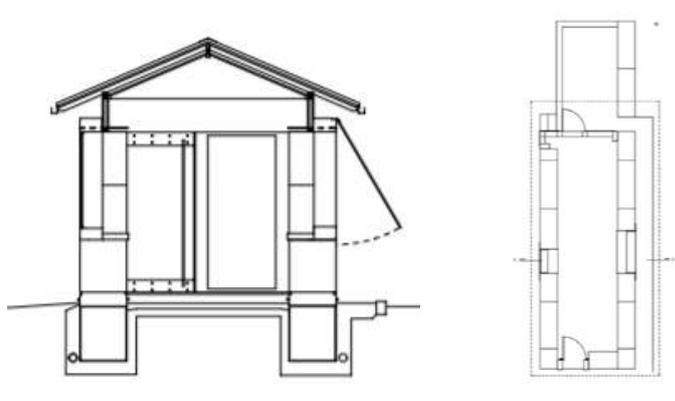


Figura 185 A secção transversal e planta *Corrugated Cardboard Pod*. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 16 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Corrugated Cardboard Pod*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Corrugated Cardboard Pod</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos de Papelão										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
		0		0		1		2		3		4
	Complexidade						✓					
	Potencial de Reintrodução no Ciclo		Nulo			Baixo			Alto			
	Bio.										✓	
	Tec.		✓									
Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto				
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
		✓				✓		✓			✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda-dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
			✓		✓	Irregular	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum		

Caso de estudo: PHZ2

Recurso: Desperdício de Cartão da Indústria de Caixas

Aplicação: Blocos de Construção

País: Alemanha

Fabricante: Paper recycling facilities, Oberhausen, Alemanha
Designer: Dratz & Dratz Architects, Oberhausen, Germany

Medidas padrão: 1,400 mm × 1,100 mm × 800 mm

Peso do Bloco: 500 kg: Foram usados 550 fardos de cartão um total de 275.000 kg

Força de Compressão: < 630 kPa

Comportamento Térmico: Muito Alto (não especificado)

Classificação de Fogo: Fire-retardant F30 (DIN EN 13501)



Figura 186 PHZ2 Dratz & Dratz Architects

Os arquitetos Dratz & Dratz projetaram uma habitação temporária para empresas *start-up* da Zollverein World Heritage Site na Alemanha que deveria albergar um espaço multifuncional para eventos, um bar e pequenas salas de atendimento. Este projeto ganhou o concurso devido a fatores económicos, pois apresentava um custo 40 % inferior em relação a estruturas semelhantes (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os fardos de cartão foram prensados e presos com cabos de metal e posicionados em fileiras semelhantes aos sistemas de alvenaria, e, para nivelar as superfícies e unir as camadas foi usada uma pasta adesiva (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Não foi necessário o uso de estruturas adicionais e foi possível aparafusar outros materiais aos fardos de papel, como o por exemplo, o telhado de madeira coberto por uma plataforma de cimento (destinado às áreas públicas exteriores do edifício) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Este material apresenta ótimas qualidades de isolamento, quando as paredes possuem espessura igual ao superior a 1 metro e apresentam uma boa resistência às forças de compressão. As paredes conseguem alcançar 30 metros de altura sem nenhum suporte adicional (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Não foi necessário a aplicação de nenhum agente impermeabilizante ou elemento de vedação nas paredes de cartão, porque a chuva forte apenas atinge cerca de 8-10cm da espessura da parede, permitindo uma secagem rápida (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)..

As cores do cartão atribuíam ao edifício um ar colorido e selvagem que, ao longo do tempo, se tornaram em tons mais subtis e homogéneos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A segurança contra incêndios não foi exigida dada a efemeridade do edifício, mas podia ter sido alcançada pela aplicação de materiais impermeabilizantes ou com o uso de sistemas de aspersão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O objetivo era que o edifício fosse desmontado e reciclado até 2011, mas em abril foi destruído por um incêndio (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

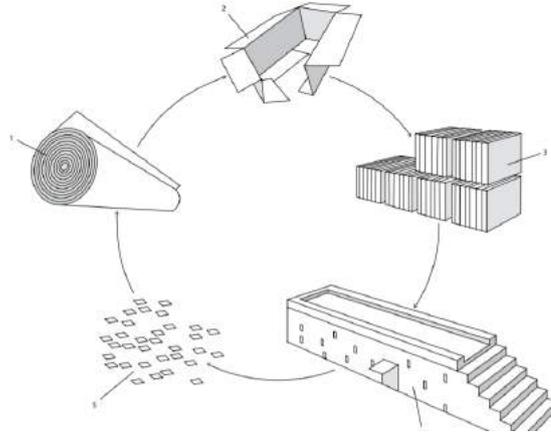


Figura 188 Ciclo de Vida do Cartão do Edifício (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Os blocos de construção de papel podem ser devolvidos ao processo regular após o uso. 1- Produção de cartão 2- caixa de cartão 3- fardos de cartão prensado 4- aplicação arquitetônica 5- celulose recuperada



Figura 189 O PHZ2 era uma estrutura temporária para abrigar empresas iniciantes no Patrimônio Mundial de Zollverein em Essen, Alemanha.” (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

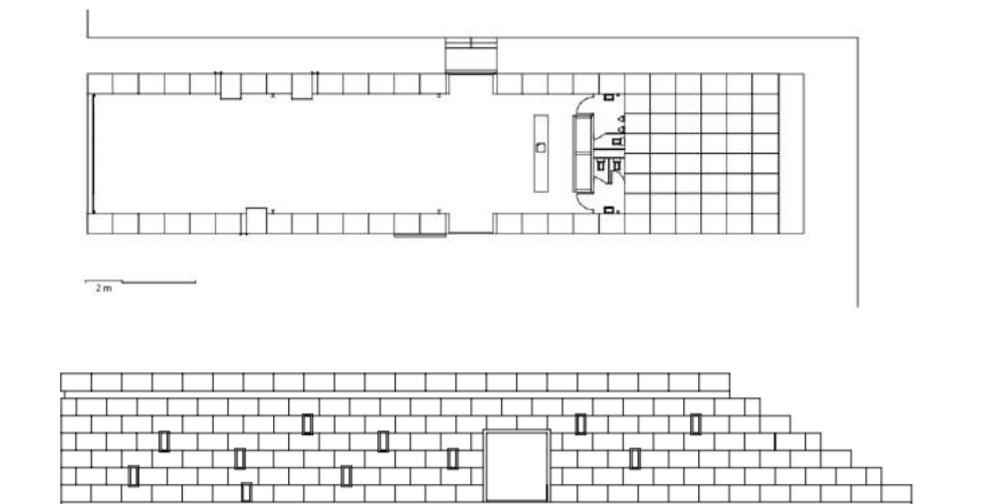


Figura 187 Planta do Piso térreo e Alçada do PHZ2 (Hebel, Wisniewska, & Heisel, Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction, 2014)

Tabela 17 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo PHZ2

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: PHZ2										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos de Papelão										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
		0		0		1		2		3		4
	Complexidade						✓					
	Potencial de Introdução no Ciclo		Nulo			Baixo			Alto			
	Bio.							✓				
	Tec.		✓									
Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto				
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água
		✓				✓		✓				✓
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓		✓		Irregular	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum	

Caso de Estudo: *PAPER TILE VAULT*

Recurso: Desperdício de papel
Aplicação: Blocos de Construção
País: Estados Unidos da América (NY)
Fabricante e Designer: BLOCK Research Group, ETH Zurich, Switzerland
Medidas padrão: 300 mm × 150 mm
Espessura Padrão: 25 mm
Densidade: 250–450 kg / m³
Força de Compressão: 1,2–1,4 Mpa
Comportamento Térmico: Muito Alto (não especificado)
À Prova de Fogo: através de ingredientes ou camadas adicionais
À Prova de Água: através de ingredientes ou camadas adicionais



Figura 190 Proposta estrutura temporária abobadada com *PAPER TILE VAULT* (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

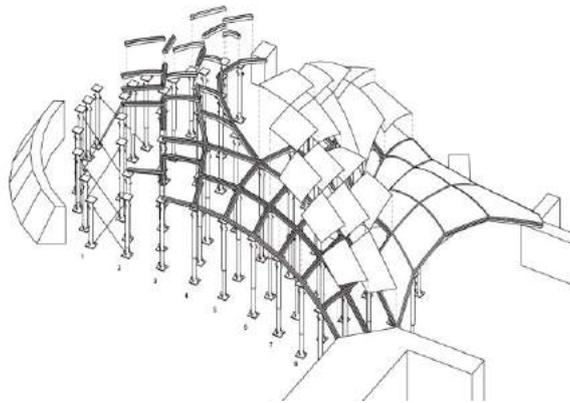


Figura 191 Axonometria explodida da estrutura abobadada temporária (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Os BLOCK Research Group projetaram uma estrutura temporária para a Cidade de Nova York, cujo material predominante foi o compósito *Paper Tile Vault*. Este material pretendeu ser um estudo sobre a possibilidade de reutilizar papel como um material de construção barato e acessível (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As fibras dos desperdícios de papel ao serem hidratadas dissolvem-se formando uma massa moldável que pode ser trabalhada em diversas formas. Após a formação da pasta de papel foi adicionado amido de trigo, e a mistura foi colocada em moldes de 3cm por 1,5 cm com espessura de 0,25 cm (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Quando a massa seca dá origem aos blocos de construção ou painéis, este processo é prático e requer pouca tecnologia.

O tipo de papel usado é o *papier-mâché* e estudos feitos pela empresa indicaram que a adição de amido de trigo aumenta significativamente a força à compressão do material.

Os Blocos de papel secos têm uma densidade de 250-450 kg / m³ e atingem uma resistência à compressão de 1,2-1,4 Mpa. As propriedades de impermeabilização podem ser obtidas adicionando ingredientes (boratos) à mistura ou revestimentos de laca (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Quanto mais espessura tiverem os blocos, maior o tempo de

secagem, por conseguinte, blocos mais finos são mais fáceis de produzir. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O BLOCK Research Group, com a ferramenta RhinoVAULT (3D), projetaram uma estrutura com bloco fino semelhante à abóbada catalã. A forma de abóboda é otimizada para transferir forças de compressão exclusivamente axiais, diminuindo a necessidade de resistência à flexão. Este método permite a otimização dos espaços e do uso do material (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os blocos foram produzidos no local da obra e montados em forma de abobadada (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). A estética do material é obtida pelas peculiaridades do papel usado, como a textura e a cor. Assim, na obra pode-se optar por desfiar menos ou mais o papel, influenciando a textura, e as escolhas dos papéis (letras, padrões, logotipos) podem manipular a cor e o aspecto do bloco (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O ciclo de vida da estrutura foi estudado para ter uma pegada mínima. A estrutura era reversível, projetada para a construção e desconstrução, assim como o material era composto apenas por papel, pasta orgânica e cola natural (amido de trigo), o que permitiu que estes reintegrassem o ciclo regular de reciclagem de papel (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 193 No processo de produção, o papel picado é adicionando água para dissolvê-lo. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 194 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 195 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 192 Bloco de construção (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

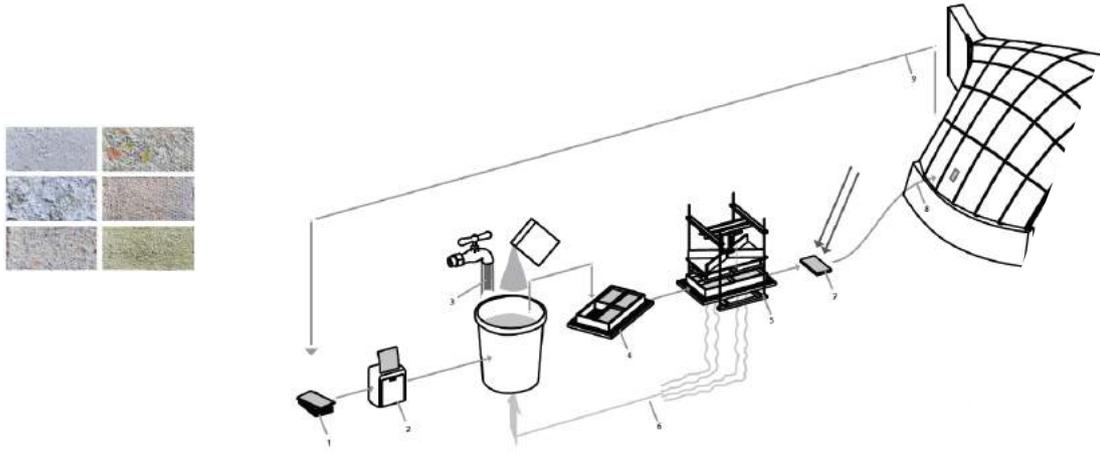


Figura 196 O ciclo de produção do Paper Tile VAULT (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

1- papel reciclado, 2 – trituração, 3 – mistura de água e cola, 4 – remoção da água, 5 - preenchimento do molde, 6 - prensagem, 7 -secagem, 8 - construção 9 - retorno à linha de produção. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 18 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo PAPER TILE VAULT

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: PAPER TILE VAULT										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos de Papel Diversos										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		✓
	Bio. Tec											✓
	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto		Depende dos materiais impermeabilizantes e da cola usados ✓
Desempenho Funcional	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km	
	Capacidade de Resistência mecânica	Baixo		Médio		Alto		Desempenho térmico		Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	✓
		✓			✓			✓				✓
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓		✓		Rugosa	Baço	Opaco	Bege	Nenhum	

Caso de Estudo: *NewsPaperWood*

Recurso: Jornais Descartados

Aplicação: Principalmente Acabamentos, revestimentos, mobiliário

País: Países Baixos

Fabricante e Designer: Mieke Meijer with Vij5, Eindhoven, The Netherlands

Medidas máximas: 40 mm × 380 mm

Comportamento Térmico: (não especificado)

Classificação de Fogo: Fire-retardant (DIN EN 13501)



Figura 197 Amostras NewsPaperWood (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).

NewsPaperwood é um material criado pela empresa holandesa NewsPaperwood no estúdio Vij5 em 2003 e utiliza como matéria prima jornais de papel desperdiçados. O conceito deste material é a inversão do ciclo do papel, transformando os desperdícios de papel num material com propriedades estéticas semelhantes à madeira (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).

Para a produção deste material foi desenvolvida uma máquina especial, na qual o desperdício é embebido em cola (sem solventes, e plastificantes) e enrolado em torno de um eixo lineal radial, formando um rolo de papel (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As secções dos rolos assemelham-se aos anéis de crescimento anuais das árvores. E à semelhança da madeira pode ser cortado, serrado, perfurado e lixado (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).

O NewsPaperwood é um material com alguma textura e rigidez, apresenta uma resistência à compressão moderada, e uma boa resistência à humidade, neste sentido é mais indicado para uso de revestimentos, acabamentos e mobiliário (MaterialDistrict, 2020).

A empresa não pretende aplicar este conceito em grande escala, nem tão pouco substituir a madeira. O objetivo principal é introduzir estratégias alternativas de design para tornar o desperdício em algo com valor (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.).

O sistema retira os jornais do seu ciclo, antes da reciclagem, e após vida útil do material é sugerido que seja reintroduzido no ciclo regular e reciclado (a cola é escolhida de forma a não comprometer o processo de reciclagem, mas não é especificada) (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

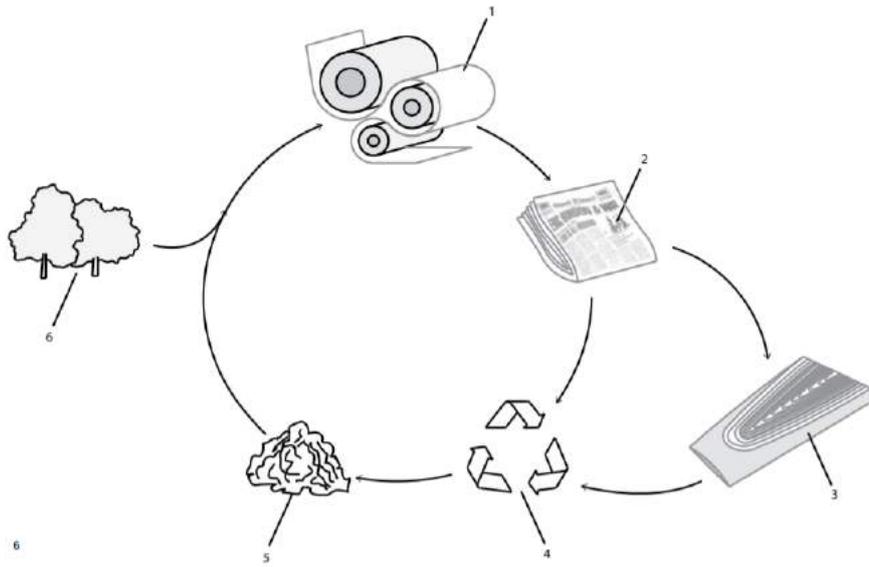


Figura 198 Ciclo de vida do NewspaperWood.
1- Produção de papel, 2- jornais, 3 - NewspaperWood 4 - papel, 5 - celulose recuperada, 6 - celulose nova.

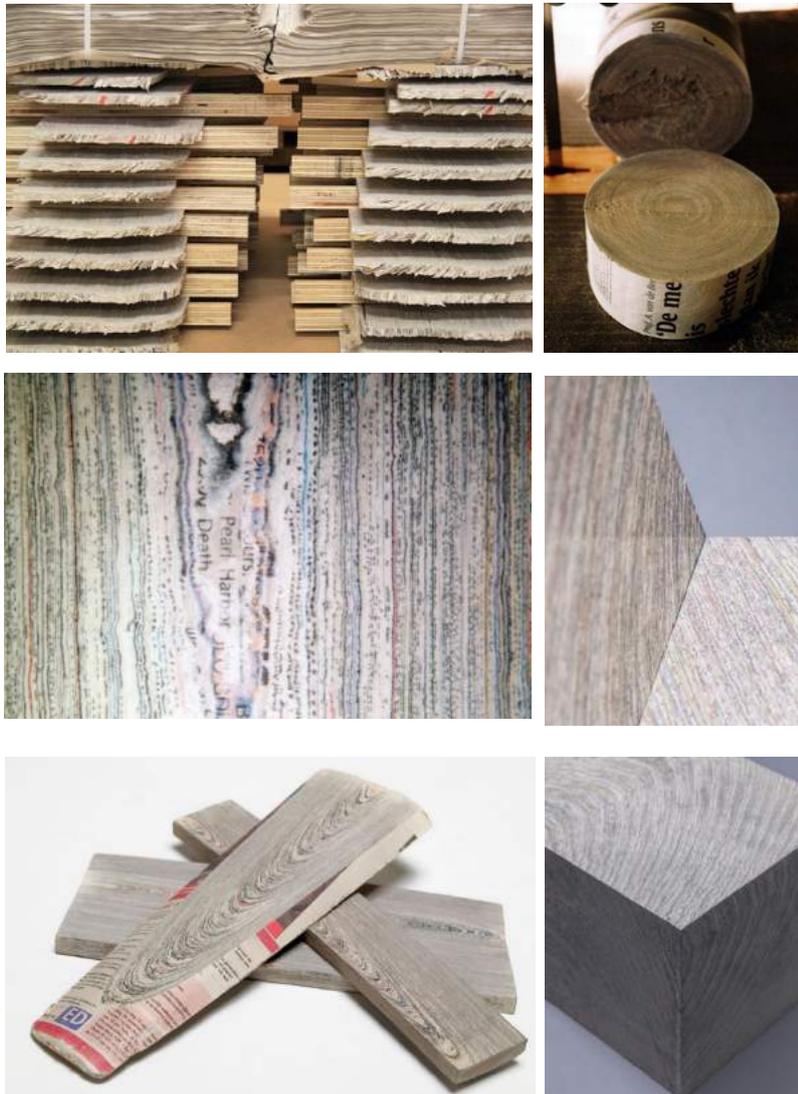


Figura 199 Newspaperwood. (Raadshooven, Meijer, Letterlé, & Branderhorst, s.d.)

Tabela 19 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *NewsPaperWood*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>NewsPaperWood</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial						
		✓ Jornais											
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação	
	Complexidade	0		0		1		2		3		4	
										✓			
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo					Alto	
	Bio.											✓	
	Tec.	✓											
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto		
	✓												
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água	
		✓		✓			✓					✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência		Cor	Odor	
			✓	✓			Semelhante à madeira	Baço ou Brilhante	Opaco		Depende - Bege	Nenhum	

Caso de estudo: *TUFF ROOF*

Recurso: Embalagens TetraPack descartadas
Processo de Processamento:
Reutilização Indireta:
 Reconfiguração
Aplicação: Chapas impermeabilizantes para coberturas
País: Índia
Fabricante e Designer: Daman Ganga Paper Mill, Gujarat, Índia
Medidas padrão: 2.250 mm × 950 mm
 Espessura Padrão: 45 mm
 Densidade: 148 kg/m³
Resistência à flexão: 7,630 kPa
Fator de evolução do calor: > 38.3 / < 55.9 (HEAT EVOLUTION FACTOR Q)
Classificação de Fogo: Fire-retardant (DIN EN 13501)



Figura 200 *Tuff Roof*, telha ondulada de embalagens Tetrapack (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

A variedade de materiais que constituem as embalagens Tetrapak (plástico, papel e alumínio), faz com que estas sejam resíduos que necessitam de ser separados em aparelhos especiais de reciclagem, o que torna o processo difícil e caro (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O *Tuff Roof* é um material que transforma estes resíduos em telhas onduladas, sem necessidade de um processo de separação ou a aplicação de outros materiais. As embalagens são trituradas em pedaços pequenos e colocadas num molde onde são aquecidas para ativar os plásticos e a cola aderente e, assim, funcionar como uma nova massa adesiva. Através da pressão a massa é moldada em chapas onduladas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os painéis de cobertura são à prova d'água, à prova de fogo, flexíveis, livres de corrosão e extremamente leves, pesam cerca de 6 kg por metro quadrado. Para além de apresentarem uma boa resistência à flexão, cerca de 7.630 kPa, a combinação do papel de alumínio permite que o *tuff roof* seja um material refletor protegendo os espaços dos "sobreaquecimentos", um problema que ocorre frequentemente nos sistemas de cobertura de chapas de ferro" (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Na Índia (país de origem do material), como há falta de unidades de reciclagem apropriadas, a maioria é depositada em aterro, este material beneficia deste fluxo de resíduos, e como é muito fácil de fabricar é uma solução prática e eficaz para a sua gestão (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Além disso, os espaços cobertos com chapas *TuffRoof* apresentam um ganho de calor 25% menor em comparação com os materiais de cobertura convencionais.



Figura 201 Embalagens TetraPack TuffRoof (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 202 Montagen telhas TuffRoof (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 203 TuffRoof (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 204 TuffRoof (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

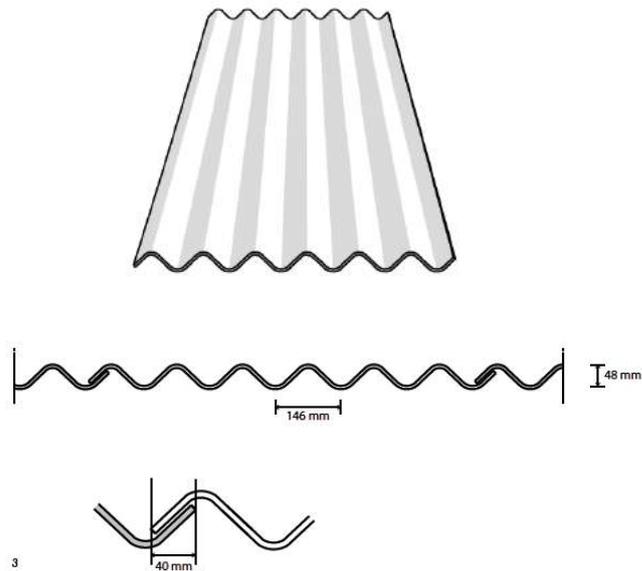


Figura 205 Desenho Telha ondulada TuffRoof (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 20 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *TUFF ROOF*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: TUFF ROOF										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Embalagens TetraPack										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
		0		0		1		2		3		4
	Complexidade								✓			
	Potencial de Reintrodução no Ciclo		Nulo			Baixo			Alto			
	Bio.	Tec.							✓			
	Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto			
			✓									
	Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km	
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓			✓			✓	✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
			✓	✓		Semelhante à madeira	Brilhante	Opaco	Colorido	Nenhum		

Caso de Estudo: REMATERIALS ROOF PANELS

Recurso: Embalagens de Papel e lixo agrícola

Aplicação: Painéis impermeabilizantes para coberturas

País: Índia

Fabricante e Designer: Hasit Ganatra and Swad Komanduri, ReMaterials, Ahmedabad, Índia

Medidas padrão: 610 € mm × 610 € mm

Espessura Padrão: 25 mm

Força de dobra: 6.58 kPa

Classificação de Fogo: Nenhuma informação



Figura 206 *ReMaterials Roof Panels* (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O Rematerials Roof Panels é um material que surgiu para colmatar dois problemas nas “favelas” da Índia: a quantidade de lixo acumulado nas ruas e ao preço das lajes em betão ou chapas onduladas. Assim, Hasit Ganatra and Swad Komandur criaram um sistema de cobertura alternativo barato e amplamente disponível na região, com embalagens de cartão descartadas e resíduos orgânicos, como fibras de coco (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de transformação é simples e prático: o cartão é triturado e misturado com água na polpa, e as fibras orgânicas são adicionadas como material de reforço. A pasta é então comprimida e moldada (em moldes) até secar, e se tornar num material rígido (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Depois de secos, os painéis são prensados entre chapas de metal para evitar flexões e aquecidos para reduzir a humidade do compósito e, por último, são revestidos por uma tinta impermeabilizante. Os painéis apresentam uma resistência à flexão de 6,85kPa. A modularidade dos painéis permite uma fácil instalação e manutenção do teto. A primeira instalação em grande escala foi numa das favelas em Ahmedabad, Índia (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 207 *ReMaterials Roof Panels* (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

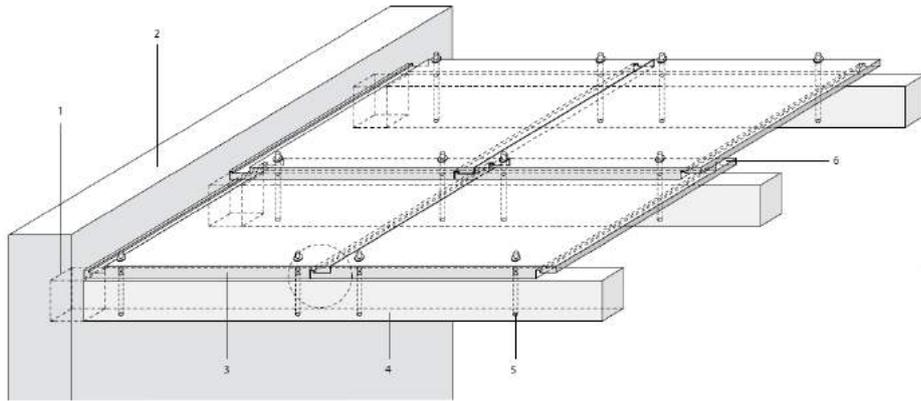


Figura 208 Pormenor dos painéis modelares 1 parede de rolamentos 2 painéis de telhado 3 subestrutura de madeira 4 parafusos 5 sobreposição de painéis de telhado

Tabela 21 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *REMATERIALS ROOF PANELS*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>REMATERIALS ROOF PANELS</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Embalagens de Papel e Lixo agrícola										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo					Alto
	Bio. ✓						✓					
Tec.												
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto	
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico			Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
		✓			✓		✓				✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Lisa	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum		

Caso de Estudo: ECOR

Recurso: Resíduos com alto teor de fibra: resíduos de escritório resíduos florestais, fibras agrícolas, fibra de processo bovino

Aplicação: Painéis de acabamento

País: Índia

Fabricante e Designer: Robert Noble of Noble Environmental Technologies, San Diego, CA, USA

Medidas padrão: 610mm × 2,440 mm

Espessura Padrão: 25 mm

Densidade: 940 kg/m³

Classificação de Fogo: Untreated ASTM Class B; treated ASTM Class A

Certificado: Cradle to Cradle

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (Technologies, s.d.)



Figura 209 Superfícies decorativas e painéis de parede (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O Ecor é um painel compósito formado a partir da conversão de fibra, através da pressão e do calor, dando origem a um composto de fibra de alta resistência. As matérias primas utilizadas são resíduos de escritório (papel e cartão), resíduos florestais, fibras agrícolas, fibra de bovino, e não são adicionados aditivos (Technologies, s.d.). O conceito inerente a este material é o desvio de fluxo de resíduos. Os resíduos que eram queimados ou depositados em aterros são transformados num novo material com valor (Technologies, s.d.). É um material com certificação *Cradle to Cradle* (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de transformação baseia-se na mistura das várias fibras com água até formar uma polpa, que é moldada em diferentes formas e espessuras conforme a aplicação funcional futura (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Nos moldes, o excesso de água é removido para de seguida ser submetida à pressão e ao calor, dando origem ao painel de alta densidade, o resultado é um produto forte, leve e resistente a impactes que não contém aditivos tóxicos, 100% de base biológica, 100% composto de resíduos reciclados, 100% reciclável (Technologies, s.d.). A estética do material pode ser manipulada e as propriedades de impermeabilização e resistência ao fogo podem ser adquiridas com camadas adicionais específicas (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

De acordo com o site oficial, este material supera os materiais tradicionais, incluindo a madeira, mdf (Technologies, s.d.). O ECOR está disponível numa ampla variedade de configurações, desde painéis simples até a uma gama extremamente versátil de montagens tridimensionais. O ECOR também está disponível numa variedade de cores e com vários tratamentos para aprimorar o desempenho de incêndio, acústica e humidade. (Technologies, s.d.)

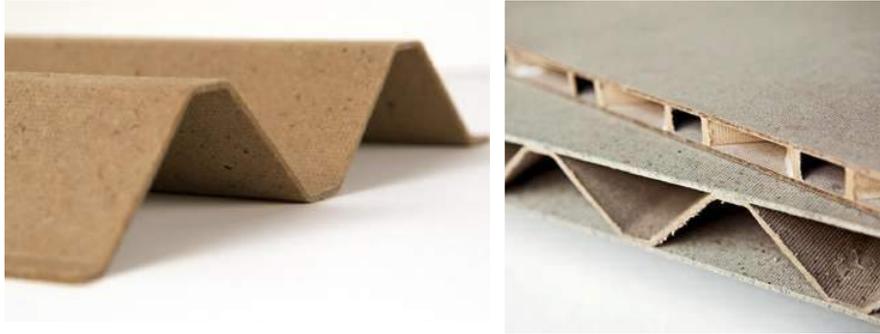


Figura 210 Superfícies decorativas e painéis de parede (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Tabela 22 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *ECOR*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: ECOR											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial						
							✓ Resíduos de escritório resíduos florestais, fibras agrícolas, fibra de processo bovino ...						
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação	
	Complexidade	0		0		1		2		3		4	
										✓			
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo				Baixo				Alto			
	Bio.									✓			
Tec.													
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto		
	✓												
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0				Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água	
		✓			✓		✓					✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor		Odor	
		✓	✓			Lisa	Baço	Opaco	Castanho		Nenhum		



Polish Pavilion at Milan Expo 2015 (Architekci, 2015)

3.6. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE MADEIRA

A madeira é um recurso renovável multifuncional adequado a diferentes materiais e usos energéticos (Suter, Steubing, & Hellweg, 2016). Comparada com outros materiais de construção como o betão armado, apresenta-se como uma alternativa mais ecológica, pois, não são necessários processos produtivos para obter o material na sua forma final. Contudo, a produção de madeira está associada a impactes ambientais durante todos os estágios da cadeia produtiva.

A produção intensiva de madeira, o seu desperdício e os tratamentos químicos a que é submetida, tornam o processo de produção pouco sustentável. Deve-se criar métodos para o equilíbrio entre o abate e a plantação, entre o consumo de nova matéria prima, a reciclagem e a reutilização e entre a toxicidade dos tratamentos químicos e as qualidades de durabilidade, e resistência que o material possui.

O ciclo de vida da madeira tem cinco estágios principais: começa na área de implementação de uma floresta e inicia-se o preparo do solo, segue-se a plantação, colheita e o transporte para a indústria especializada. Após a vida útil, a madeira pode ser reutilizada, reciclada ou sofrer valorização energética. Quando depositada em aterro, decompõem-se no meio ambiente.

A madeira tem um potencial muito grande de reutilização, tanto para produtos após uso como para subprodutos que resultam de processos produtivos como a colheita, desbaste e serrarias. Através da reutilização, estima-se que a vida útil do pinho possa ser estendida de 75 anos para mais de 350 anos (Berge, 2009). A madeira velha tem a vantagem de não torcer, é um material de alta qualidade (Berge, 2009). De acordo com o Eurostat (2016) foram produzidas 54.76 milhões de toneladas de resíduos de madeira, dos quais apenas 23.75 milhões de toneladas foram reciclados e reutilizados (Borzecka, 2018).

Este subcapítulo expõe alternativas inovadoras quer em termos tecnológicos quer criativos para a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos e industriais de madeira na construção.

CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

A madeira é um material esteticamente agradável, com boas propriedades acústicas, é fácil de trabalhar, tem uma boa relação resistência-peso e não sofre corrosão. As árvores são compostas por células orientadas na vertical, que compõem as fibras de madeira. Esta estrutura é responsável pelas suas qualidades de elasticidade e resistência (Berge, 2009).

A composição química da madeira não varia de forma significativa entre as espécies, e é sobretudo composta por Carbono (50 %), Oxigénio (43%), Hidrogénio (6%), Azoto (1%),” e pequenas quantidades de minerais. Uma árvore saudável contém “celulose, lignina e outras substâncias orgânicas, como proteínas, açúcar, resina e água (Berge, 2009) (Ferreir, 2013).

As propriedades físicas das madeiras são afetadas pelo clima, pelo desenvolvimento da árvore, pela forma como é cortada e pela parte que é utilizada, pois, as propriedades da madeira perto da copa diferem da parte inferior (Ferreir, 2013) A resistência da madeira à compressão está diretamente relacionada com a massa volúmica, com o seu teor de água e os defeitos como os nós e as fendas. “A direção mais forte de um elemento de madeira é a direção das fibras dos troncos” (ALMEIDA, 2012).

A madeira é um material combustível, em oposição ao aço, mas em caso de incêndio cria uma camada externa carbonizada isoladora que faz com que elementos de madeira de espessura considerável se conservem durante bastante tempo expostos ao fogo (ALMEIDA, 2012). A durabilidade da madeira está diretamente relacionada com os seus tratamentos contra fungos, humidade, ambientes marinhos, entre outros (Ferreir, 2013). A aplicação de tintas, vernizes e outros materiais de proteção de madeiras devem ser selecionadas de modo a evitar elementos tóxicos para o ambiente e para a saúde humana como os COV's, o cobre, o crómio e o arsénio (Torgal, 2010).

Caso de estudo: *PAVILLON CIRCULAIRE*

Recurso: Portas, moveis, candeeiros, madeira, vidro, lã rocha descartados
Ano: 2015
País: França (Paris)
Arquitetos: *Encore Heureux*
Área: 70 m²
Orçamento: 150 000 €
Fonte: (Heureux, 2015) & (Frearson, 2015)



Figura 211 Exterior do *Pavillon Circulaire* (Heureux, 2015).

O atelier *Encore Heureux* projetou uma estrutura efémera, o *Pavillon Circulaire*, na Praça do Hotel de Ville em Paris, em resposta à COP21 (Conferência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas em 2015). Neste sentido, o *Pavillon Circulaire* foi uma experiência arquitetónica sobre a reutilização de materiais na construção seguindo os princípios da economia circular (Heureux, 2015).

O volume do Edifício tinha uma forma peculiar, a linha do teto era em “zigzag” com vários planos (em forma de duas águas) com rasgos de luz zenital que iluminavam o interior. O exterior era caracterizado pelas 180 portas recuperadas e recolhidas após a reabilitação de um prédio de apartamentos no “*Arrondissement 19*” (zona de Paris) (Heureux, 2015). Toda a estrutura de madeira foi construída com restos do canteiro de obras de um lar de idosos (Heureux, 2015). Para o isolamento foi utilizada lã rocha recuperada de uma cobertura de um supermercado, para os revestimentos interiores (paredes, tetos e piso) foram utilizados painéis contraplacados usados em exposições antigas e o revestimento do piso exterior era composto por madeira reaproveitada dos passadiços da areia do evento *Paris-Beach* (Heureux, 2015). O vidro utilizado no pavilhão tinha sobrado de outra obra. Todo o mobiliário utilizado foi recolhido nos centros de reciclagem parisiense, cadeiras restauradas e pintadas e candeeiros públicos não utilizados (Heureux, 2015).

A estrutura de madeira é unida com elementos de ligação em metal e parafusos, o isolamento é colocado dentro da estrutura. Na parte exterior o isolamento é revestido um painel de OSB, onde as portas são aparafusadas diretamente, no interior o isolamento é revestido pelos painéis de contraplacado que possuem também a função de acabamento interior.

O Pavilhão funcionou durante 1 ano como local de exposições e conferências. O Sistema construtivo foi pensado para desmontagem em 2016, para ser reinstalado de forma permanente no *Arrondissement 14* como sede duma associação desportiva e para após o seu fim de vida, os materiais poderão ser libertados e reutilizados (Archdaily, 2015).

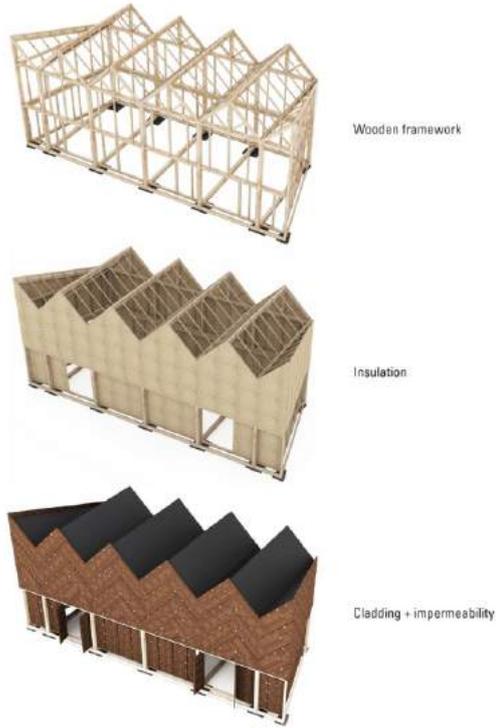


Figura 212 Camadas do Pavillon Circulaire Desenhos Técnicos do Pavillon Circulaire (Heureux, 2015).

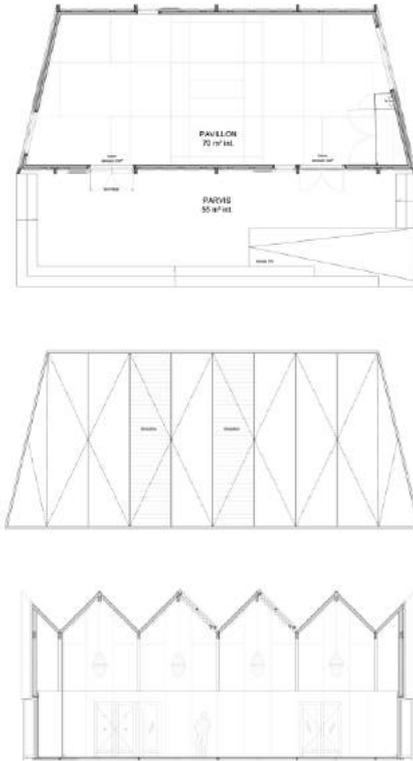


Figura 213 Desenhos Técnicos do Pavillon Circulaire (Heureux, 2015).



Figura 215 Exterior Pavillon Circulaire (Heureux, 2015).



Figura 214 Interior Pavillon Circulaire (Heureux, 2015).

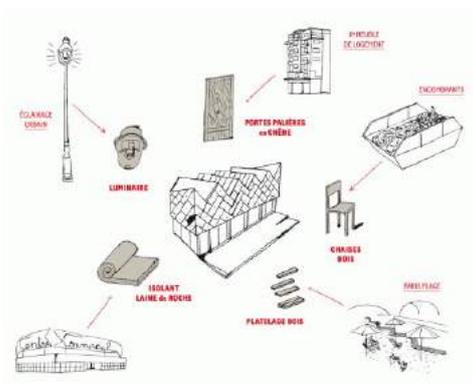


Figura 218 Materiais Reutilizados (Heureux, 2015).



Tabela 23 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *PAVILLON CIRCULAIR*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: PAVILLON CIRCULAIR										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Portas, moveis										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio.									✓		
	Tec.	✓										
	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto		
							✓					
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓			✓			✓	✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retardado res de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		Se a porta for corta-fogo. ✓		✓			Padrão Geométrico	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum	

Caso de estudo: *Polish Pavilion at Milan Expo 2015*

Recurso: Caixa de Fruta
Ano: 2015
Aplicação: Revestimento
País: Itália
Arquitetos: 2PM Architekci
Classificação de Fogo: sem informação
Fonte: (Architekci, 2015)

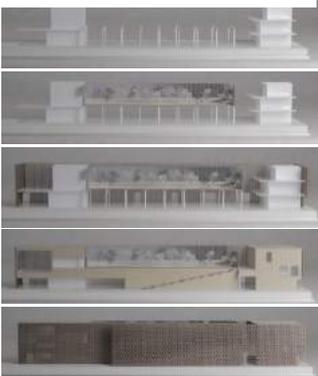


Figura 220 Fotografia Maquete (Architekci, 2015)

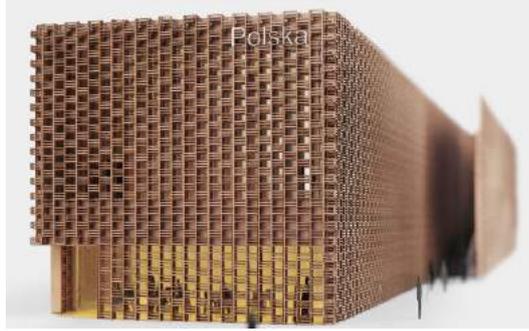


Figura 219 Vista exterior do *Polish Pavilion* at Milan Expo 2015 e Maquete *Polish Pavilion* at Milan Expo 2015 (Architekci, 2015)

O Projeto *Polish Pavilion* foi projetado pelo atelier 2PM Architekci para a Expo 2015 em Milão. O projeto foi inspirado nos pomares e na Horticultura Polaca. Os Arquitetos incorporam o conceito em dois níveis, o primeiro com o uso da caixa de fruta de madeira na fachada do edifício e o segundo, com a criação de uma capa que envolve o edifício, refletindo a ideia do pavilhão como uma embalagem para a apresentação da agricultura polaca (Architekci, 2015).

Atrás da capa composta por uma estrutura de caixas de fruta estava um jardim secreto, um pomar típico Polaco, encerrado por espelhos, dando a ilusão de infinito. Os visitantes eram obrigados a fazer um percurso estreito, sinuoso, longo e nivelado até ao jardim, um espaço horizontal e infinito. O edifício também possuía uma série de espaços recreativos e de exposição (Architekci, 2015).

A capa era composta por uma estrutura de caixas de fruta, estas foram desmontadas, e as faces aparafusadas a quatro vigas compridas de madeira lamelada, dando origem a uma fachada translúcida caracterizada por padrão geométrico.

Apesar do *Polish Pavilion* não ser um projeto que tem como principal objetivo os princípios de uma economia circular, é muito relevante o modo como conjuga esteticamente o elemento “a caixa de fruta” e a arquitetura, atribuindo-lhe um novo valor estético e arquitetônico.



Figura 221 Vista exterior do *Pavilhão Polish Pavilion* at Milan Expo 2015 (Architekci, 2015)



Figura 222 Interior *Pavilhão Polish Pavilion* at Milan Expo 2015

Tabela 24 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Polish Pavilion at Milan Expo 2015*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Polish Pavilion at Milan Expo 2015</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Paletes de madeira										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio. Tec.									✓		
	✓											
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓		✓			✓		Com tratamento	✓		
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Padrão Geométrico	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum		

Caso de estudo: *Ami-Lot*

Recurso: Paletes de Madeira
Aplicação: Revestimento
País: Paris
Arquitetos: Atelier Malka Architecture
Classificação de Fogo: Não especificado
Fonte: (Malka, 2011)



Figura 223 Fachada Exterior Ami-Lot (Malka, 2011)

O Edifício Ami-Lot é um projeto do arquiteto Stephane Malka realizado em 2011 para uma residência de estudantes, na Rua *Armelot* em Paris. Tinha como premissa reutilizar paletes de madeira para compor a pele de um edifício, como uma forma de alertar os arquitetos para o verdadeiro combate ecológico (Domus, 2012).

O Arquiteto descreve o projeto como um edifício fino, escondido por uma parede cega, um intrínseco urbano. A parede cega, “a pele”, é modelar, e a unidade mínima é a paleta de madeira reaproveitada. Algumas paletes são equipadas com dobradiças horizontais, e um cabo de aço ligado à parte inferior do painel e à superior, (figura 276) permite aos usuários, o contorno da privacidade e da luz natural (Malka, 2011). O objetivo do atelier era a reapropriação de materiais sem que fosse necessário reprocessamento adicional, contudo não há mais informação disponível em relação aos outros materiais utilizados, nem referência ao interior das residências. O edifício nunca chegou a ser construído (Malka, 2011).

A descrição do projeto do Atelier Malka Architectur acaba com a seguinte frase: «La réelle démarche environnementale consiste en effet à ne pas détruire, mais à superposer les interventions sur le patrimoine construit.»⁶⁰ (Malka, 2011).

⁶⁰ Tradução sugerida pela autora: A verdadeira abordagem ambiental consiste não na destruição, mas na sobreposição de intervenções na nossa herança construída.



Figura 224 Exterior Ami-Lot (Malka, 2011)



Figura 225 Exterior Ami-Lot (Malka, 2011)

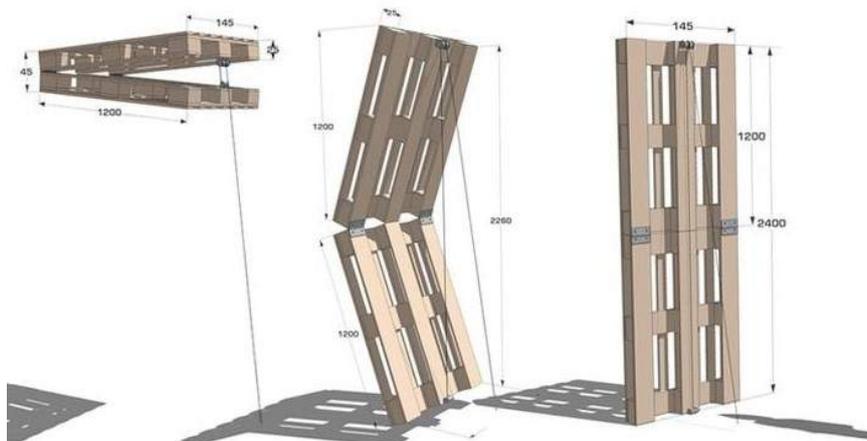


Figura 226 Pormenor da fachada Ami-Lot (Malka, 2011)

Tabela 25 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Ami-Lot*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Ami-Lot</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo						Resíduo Industrial				
		✓ Paletes										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração:		Reciclagem: Transformação:
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo				Baixo				Alto		
	Bio.									✓		
	Tec.	✓										
	Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto		
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água
		✓		✓			✓		Com Tratamento	✓		
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓			Padrão Geométrico	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum	

Caso de Estudo: *Vegan House*

Recurso: Persianas de madeira (típicas do sudeste asiático)
Ano: 2014
Aplicação: Revestimento
País: Vietname
Arquitetos: Block Architects
Classificação de Fogo: Não especificado
Fonte: (Blockarchitects, 2015)



Figura 227 Exterior Vegan House (Frearson, 2015)

A Vegan House foi projetada pelo atelier Block Architects em 2014. É uma renovação de uma casa antiga de 1965, convertida num espaço de convívio e alojamento local. Está localizada num bairro central da cidade de Ho Chi Minh no Vietname (Blockarchitects, 2015).

Como o proprietário da casa era colecionador de objetos antigos (mesas, cadeiras, armários e persianas), e devido ao orçamento reduzido, os arquitetos tiram proveito de várias peças antigas do dono e de outros edifícios já existentes (Blockarchitects, 2015).

A casa é estreita e possui três andares, é caracterizada pelas persianas recuperadas, assentes numa estrutura de aço reutilizada, que envolve a casa. As persianas coloridas são o elemento principal da casa, não só usadas na fachada, como também, na divisão de espaços interiores e na cobertura (sistema de sombreamento). As persianas são conhecidas como janelas venezianas, comuns no sudeste asiático. O sistema de encaixe das persianas na estrutura de aço que envolve a casa cria uma superfície flexível que permite aos usuários controlar a privacidade e a entrada de luz (Blockarchitects, 2015).

O material das paredes e dos pisos foi mantido, os arquitetos descrevem-no como superfícies de cimento não refinadas que, combinadas com as persianas e os arcos de bambu no teto, agitam o espírito da arquitetura vietnamita dos anos 60-70 (Blockarchitects, 2015).

No piso térreo, estão as áreas sociais e de refeição. No primeiro andar, há um quarto com quatro camas e uma casa de banho (Blockarchitects, 2015). O último andar, foi acrescentado, funciona como um balcão, espaço de estar e contém um quarto construído com chapas de aço reutilizadas do antigo telhado (Blockarchitects, 2015).



Figura 230 Cobertura *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 231 3º Piso *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 232 Piso térreo *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 233 1º Piso *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 234 Divisória com Persianas *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 235 2º piso *Vegan House* (Frearson, 2015)

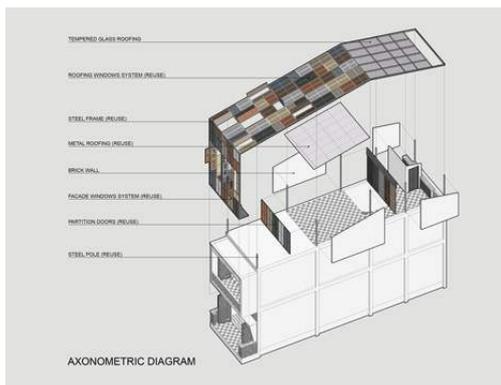


Figura 229 Axonometria explodida com os principais materiais utilizados *Vegan House* (Frearson, 2015)



Figura 228 Axonometria *Vegan House* (Frearson, 2015)

Tabela 26 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Vegan House*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Vegan House</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Persianas Vietnamitas										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração:		Reciclagem: Transformação:
		0		0		1		2		3		4
	Complexidade		✓									
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo					Baixo					Alto
		Bio.										
	Tec.	✓										
	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto
							✓					
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico			Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓		✓			✓		Com tratamento ✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dore de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓			Padrão Geométrico	Baço	Opaco	Depende	Nenhum	

Caso de Estudo: *Collage house*

Recurso: Janelas Portas e Canos de aço
Ano: 2015
Aplicação: Revestimento
País: Índia
Arquitetos: [Block Architects](#)
Classificação de Fogo: Os S+PS Architects
Fonte: (S+PS Architects, 2015)



Figura 236 Exterior e Interior da Collage house (S+PS Architects, 2015)

Os S+PS Architects projetaram a casa Colege House em 2015, uma casa unifamiliar no Mumbai, esta é caracterizada por uma série de materiais e objetos reutilizados (S+PS Architects, 2015).

Os arquitetos inspiraram-se nas construções informais características da cidade, analisando as suas particularidades, nomeadamente a “adaptabilidade, a flexibilidade e engenho” das habitações (S+PS Architects, 2015). Assim, nasce um projeto que pretende explorar a reutilização e a colagem, abordando vários aspetos que vão desde a materialidade e questões de sustentabilidade até ao espaço e às memórias tangíveis (S+PS Architects, 2015).

A fachada principal é marcada pela combinação de várias portas e janelas reaproveitadas (unidas numa peça única) de várias casas demolidas na cidade. A utilização das janelas vai pontuar a vivencia da sala de estar, assim como o uso do teto em betão e o chão de mármore branco. As dobradiças das janelas são mantidas, permitindo que os usuários controlem a ventilação. (S+PS Architects, 2015)

No pátio inferior é visível uma parede de antigos canos de metal reaproveitados, adjetivados pelos arquitetos como bambus, para além de terem função estrutural, captam água da chuva para um tanque subterrâneo (ver detalhe figura). Do lado oposto ao pátio, há uma parede de chapas de metal enferrujadas (reutilizadas) e um muro com pedras reaproveitadas do estaleiro (S+PS Architects, 2015).

O terraço da casa está equipado com “um pavilhão de aço e de vidro, painéis solares e colunas de madeira com mais de 100 anos. Segundo os arquitetos, a combinação da utilização das colunas traz sentimentos de lembrança e nostalgia ao espaço (S+PS Architects, 2015).

“O contraste entre o antigo e o novo, o tradicional e o contemporâneo, o bruto e o acabado”⁶¹ definem o conceito primordial da *College House*, que é reforçado no espaço interior com o uso de blocos antigos, móveis, desperdícios, além de novas maneiras de usar elementos e materiais tradicionais, como molduras de madeira esculpida, espelhos típicos e telhas tradicionais. Isto resultou numa nova linguagem “estranhamente familiar e que nos faz repensar as noções de beleza que consideramos óbvias” (S+PS Architects, 2015).

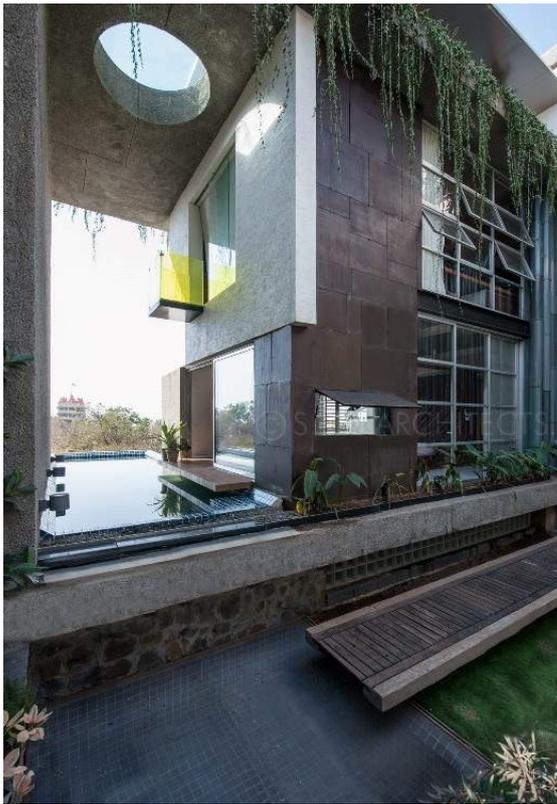


Figura 237 Exterior e Interior *Collage house* (S+PS Architects, 2015)

Figura 238 Interior *Collage house* (S+PS Architects, 2015)

⁶¹ Tradução da Autora do original “It plays up this contrast between the old and the new, the traditional and the contemporary, the rough and the finished”

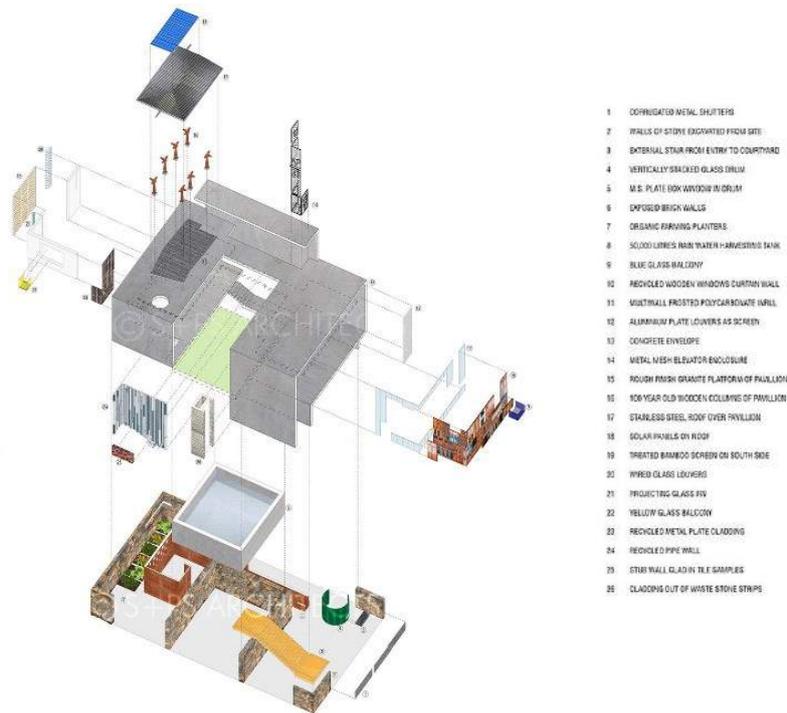


Figura 239 Axonometria Collage house (S+PS Architects, 2015)

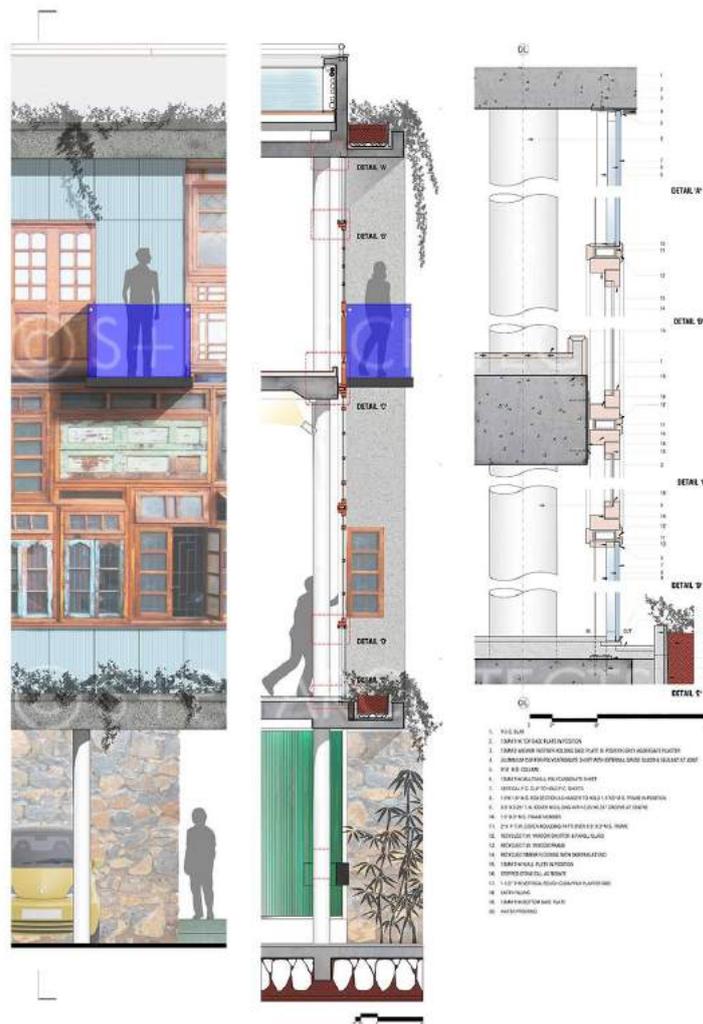


Figura 240 Pormenor fachada Principal Collage house (S+PS Architects, 2015)

Tabela 27 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo Collage house

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: Collage house										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo						Resíduo Industrial				
		✓ Janelas Portas										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo				Baixo				Alto		
	Bio.									✓		
	Tec.	✓										
	Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto		
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água
		✓		✓			✓		Com tratamento	✓		
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓			Padrão Geométrico	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum		

Caso de Estudo: *SongWood*

Recurso: Resíduos da indústria de móveis e aparas

Aplicação: Painéis de acabamento

País: Índia

Fabricante e Designer: Engineered Timber Resources, Boulder, CO, USA

Medidas padrão: 100 mm × 2,000 mm × 10–150mm, mm × 2,440 mm

Classificação de Fogo: Não especificado

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (Engineered Timber Resources, 2009)



Figura 241 Song Wood (Admin, 2011)

O *SongWood* é um material feito com subprodutos da indústria de móveis e celulose (Engineered Timber Resources, 2009).

As fibras, fillos, lascas e flocos são adquiridos, limpos secos e separados por cores. De seguida, as fibras de madeira são secas no forno, misturadas com uma resina sintética de baixo Composto Orgânico Volátil (VOC), para serem alinhadas num molde e pressionadas com 1800 toneladas. O Songwood pode ser sólido ou projetado, o sólido significa que em toda a espessura do material são utilizadas as mesmas fibras de madeira, orientadas na mesma direção. O projetado é constituído por uma camada múltipla de diferentes fibras como álamo, bétula ou eucalipto. (Engineered Timber Resources, 2009). Após este tratamento, o material precisa de curar em condições ambientais específicas por 40 a 45 dias, antes de poder ser cortado e seco em estufa (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O *Songwood* não é apenas um material muito durável e resistente, também é extremamente estável em comparação com os produtos tradicionais de madeira. Além dos benefícios funcionais do produto, também existem inúmeras características estéticas personalizáveis (Admin, 2011).

Após vida útil, este deve regressar à fábrica para ser reintroduzido na cadeia produtiva, e ao contrário da madeira não pode ser absorvido naturalmente pelo ciclo biológico.

Tabela 28 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>SongWood</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
							✓ Resíduos da indústria de moveis e aparas					
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo					Baixo			Alto		
	Bio.											
	Tec.						✓					
	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto		
							✓					
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água
		✓		✓			✓		✓ Com tratamento			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda-dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓			Lisa, semelhante à madeira	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum	

Caso de Estudo: Espuma de Madeira

Recurso: Desperdícios de serraria, desbastes florestais e lascas

Aplicação: Painéis de acabamento
País: Alemanha

Fabricante: Fraynhifer Instituut for Wood Research

Densidade: 40 a 200 kg/ m³

Condutividade Térmica: 0.04w/km; semelhante ao poliestireno expandido

Classificação de Fogo: Não especificado, semelhante ao dos materiais isolantes de fibra de madeira

Fonte: (Hebel & Heisel, 2017)



Figura 242 Espuma de madeira (Hebel & Heisel, 2017)

A espuma de madeira é um produto desenvolvido pelo Fraynhifer Instituut for Wood Research na Alemanha, obtido através da lignocelulose da biomassa das árvores e outras plantas lenhosas. A resistência do material não depende da qualidade da madeira, neste sentido, a madeira pode ter como matéria prima desperdícios de serraria, desbastes florestais e lascas. Porque a resistência da espuma está relacionada com o contacto entre as fibras cruzadas e não com o seu comprimento ou qualidade da fibra (Hebel & Heisel, 2017).

O processo de transformação utiliza tecnologias da indústria de produtos derivados de madeira e papel, é dividido em quatro fases: a primeira é a produção de aparas de madeira; a segunda é o refinamento das fibras de madeira; a terceira é a suspensão da madeira em água num processo de desintegração e por último, a formação da espuma e a secagem, (Hebel & Heisel, 2017).

Após a produção das aparas de madeira, estas são reduzidas a fibras num refinador a 150 ° C. No processo de suspensão, a madeira é novamente triturada com alto teor de água, para refinar as partículas até obter a suspensão da fibra. A formação da espuma pode ser realizada de três formas: utilizando proteínas na fase da suspensão, e, de seguida, a secagem em estufa; utilizando um agente espumante, e submetendo-a a altas temperaturas num forno; ou adicionam do CO₂ à mistura durante o processo de secagem (Hebel & Heisel, 2017). No processo de secagem, a celulose endurece os componentes de madeira que se ligam entre si dando origem a uma estrutura forte, dura ou elástica (Ritter, 2019).

As fibras têm um elevado nível de ligação entre si, eliminando a necessidade de aditivos, aglomerantes ou colas (Hebel & Heisel, 2017). A resistência à compressão e a resistência da união interna das fibras estão diretamente relacionadas com a densidade e o grau de moagem. As densidades também influenciam as capacidades de isolamento do

material. A espuma de madeira pode ser produzida com diferentes densidades de 40 a 200 kg/m³ e “possui níveis de condutividade térmica comparáveis ao poliestireno expandido, cerca de 0.04w/km”⁶² (Ritter, 2019).

Por ser um material poroso e hidróscopo comporta-se como uma esponja em contato com água e humidade, mas volume do material permanece intacto. O seu comportamento em contato com o fogo é semelhante ao derivados de madeira, ao contrário de algumas madeiras, não apresenta odor (Ritter, 2019) & (Hebel & Heisel, 2017).

No geral, a espuma de madeira tem uma resistência alta, uma baixa condutividade térmica, bom comportamento com água e fogo, neste sentido, pode ser aplicada como isolamento térmico, em embalagens de produtos, moveis, painéis não estruturais, entre outros. Para além de ser um produto produzido com resíduos, é 100% orgânico e reciclável, é uma alternativa eficaz às espumas feitas de produtos petroquímicos. (Ritter, 2019) & (Hebel & Heisel, 2017).

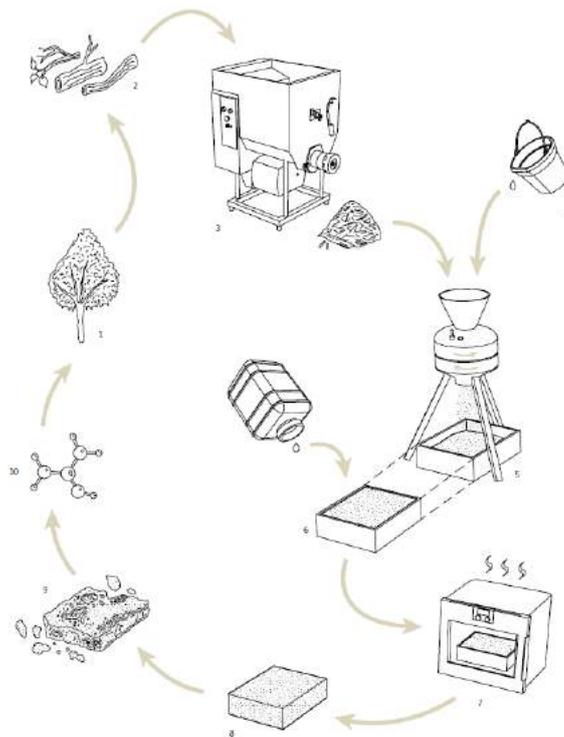


Figura 243 Produção da espuma de madeira (Hebel & Heisel, 2017)..

1 - Cultivo de recursos 2 - Troncos de árvores 3 - Lascas de madeira 4 - Água 5 - Processo de fibrilação 6 - Agente de formação de espuma 7 - Tratamento térmico 8 - Elemento de construção cultivado 9 - Decomposição biológica 10 - Nutrientes biológicos

⁶² Traduzido pela autora do inglês: “The thermal conductivities are alsodepending on the density and the values are below 0.04 W/mK and are comparable therefore with the values of polystyrene and wood fiber insulation panels.”

Tabela 29 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo Espuma de Madeira

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: Espuma de Madeira										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
							✓ Desperdícios de carpintaria, desbastes florestais e lascas					
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
												✓
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo				Baixo				Alto		
	Bio.	✓								✓		
	Tec.											
Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
		✓				✓		✓			✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda-dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓			Irregular	Baço	Opaco	Castanho Claro - Bege	Nenhum	



3.7. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS DE AÇO E DO ALUMÍNIO

O metal está presente na maioria dos produtos que consumimos e, por conseguinte, tem um papel importante na sociedade (Philip Nuss, 2014).

A produção de aço aumentou exponencialmente nos últimos 70 anos, e, de acordo com *The World Steel Association*, a produção de aço bruto mundial sofreu um aumento de 189 milhões de toneladas em 1950, para 1808 milhões de toneladas em 2018 (*World Steel Association*, 2019). A produção de alumínio aumentou desde o ano 1990 de 53 mil toneladas para 5477 mil toneladas métricas no ano de 2019 (*The World Aluminium*, 2020).

As principais matérias primas utilizadas para a produção em grande escala do aço são os minérios de ferro, o carvão, a sucata de aço, os fundentes, o calcário e as ligas (*SEAISI, The South East Asia Iron and Steel Institute*). O ciclo de vida do aço pode-se dividir em cinco estágios principais: a extração de matérias primas, a produção de aço, a produção do produto final e após a vida útil, a reciclagem ou o aterro (Asfora, Martins, & Batista).

Os produtos de aço podem ter uma grande variedade de fins, desde latas de conservar comida, pequenos eletrodomésticos, a elementos estruturais, máquinas e contentores industriais. As suas características estão dependentes dos processos produtivos e tratamentos químicos utilizados no seu fabrico.

A indústria do aço é responsável por emissões significativas de CO₂, gases do efeito estufa (GEE), dióxido de enxofre, compostos de flúor, poeira, elementos tóxicos como o arsénico, escórias de alto forno e pequenas lascas provenientes do corte e da serragem (Berge, 2009).

O aço reciclado é uma matéria prima importante na indústria de aço, mais de 670 milhões de toneladas de sucata foram recicladas em 2017 (*World Steel Association*, 2019). É um material 100% reciclável, depois de recolhido é selecionado e reintegra a produção, onde é misturado com aço virgem. Desta forma, pode fazer parte de um ciclo contínuo e fechado sem perder as suas características. (SteelConstruction, s.d.) A utilização do aço reciclado reduz significativamente os impactes ambientais da indústria.

A indústria de alumínio está associada à elevada libertação de gases GEE e de outros gases, como o dióxido de carbono, os perfluorcarbonetos, o poliaromático, os fluoretos, a poeira e o dióxido de enxofre (Berge, 2009). Durante os processos produtivos do alumínio são gerados quatro tipos de resíduos sólidos: o pó, as escórias e a sílica (Oliveira E. S., 2006). Apesar do alumínio apresentar um potencial de reciclagem elevado (pode estar inserido em ciclos contínuos sem nunca perder qualidade), há uma parte significativa de resíduos de aço e alumínio depositados em aterros ou em locais não especializados, contribuindo para a poluição dos terrenos e das águas (Berge, 2009).

Este subcapítulo apresenta formas de reutilizar e reciclar com uma abordagem *upcycling* produtos de aço no seu fim de vida e subprodutos industriais, dando a este material,

numa altura que apresenta uma retenção de valor muito baixo, um novo valor comercial, estético e arquitetónico.

CARACTERÍSTICAS DO AÇO E ALUMÍNIO

O Aço é uma liga de ferro, carbono (<2.14%) e outros elementos químicos como o silício e o enxofre. Podem ser acrescentados outros elementos ao aço para dar propriedades especiais, as ligas, por exemplo, a liga de cromo atribui-lhe resistência à corrosão e a liga de níquel atribui-lhe características de condutividade e de resistência à erosão. (Oliveira R. G., 2009). As características mais relevantes na aplicação deste material são a sua força, dureza, elasticidade, condutividade térmica e durabilidade.

O aço apresenta uma densidade entre 7.8 e 8.00 gm/cc, uma condutividade térmica relativa que varia entre os 0.12 e os 0.177 w/cm °C; e uma resistência à tração que pode variar entre os 295 a 2400 MPa, dependendo da sua composição (MatWeb, s.d.).

A durabilidade do aço pode ser comprometida pela sua corrosão, afetando as suas propriedades, para além das ligas como o cromo, os aços podem ser pintados ou galvanizados, garantido a eficiência das suas características mecânicas e físicas (Imianowsky & Walendowsky).

As principais características do alumínio são a sua cor brilhante, a leveza, flexibilidade, e resistência à corrosão. A resistência à corrosão deve-se ao facto do alumínio oxidar com o ar formando uma capa protetora de alumina (Pereira, 2010).

À semelhança do aço, é acrescentado ao alumínio elementos de liga que permitem melhorar as características de resistência à tensão e tração, como por exemplo o magnésio, silício, zinco, cobre, e o ferro entre outros. (Pereira, 2010) e (Mat Net, Material Property Data, 2020) .

O alumínio, apresenta uma condutividade térmica entre 88 e 251 w/mk, um valor que bastante superior ao do aço, uma densidade entre 2.57 e 3.95 gm/cm °C e uma resistência à tração entre 27,6 e 525 mpa (Kaufman, 2016) (Mat Net, Material Property Data, 2020). A condutividade térmica elevada permite que o calor seja distribuído de forma mais eficiente ao longo da estrutura nos estágios iniciais de um incêndio (Kaufman, 2016).

Caso de estudo: *D3 Abwab Pavilion*

Recurso:Contentores Industriais
Processo de Processamento:
Aplicação: Estrutura e Revestimento
País: África do Sul
Arquitetos: Lot-el
Fonte: (Eicker, 2018)



Figura 244 Exterior *D3 Abwab Pavilion* (Archdaily, 2017)

O edifício Drivelines foi projetado pelo atelier Lot-el, uma empresa com sede em Nova York, conhecida por reutilizar objetos industriais e infraestruturas, especialmente contentores (Lot-ek, 2017).

Este edifício em particular localiza-se no distrito de *Maboneng* na África do Sul, numa área urbana. Foi a primeira estrutura de contentores construída no país. Segundo o arquiteto, estes contentores antigos são uma fonte de aço córtex que deve ser aproveitada pela atribuição de novos valores estéticos e arquitetónicos (Eicker, 2018).

O edifício é composto por dois volumes com 140 contentores empilhados e ligados com os *twistlock* habituais e soldados (Wiegel, 2019). Estes funcionam como elemento estrutural de todo edifício, apenas foi adicionado um reforço estrutural nos espaços de galeria. Os contentores foram selecionados por cores para eliminar a necessidade de pintura (Wiegel, 2019). Devido à dimensão do projeto e ao número de elementos, a abertura dos vãos foi realizada no local após a montagem da estrutura (Wiegel, 2019). Os restos do corte foram reaproveitados para reforço estrutural e para a construção de mobiliário urbano. O corte dos vãos foi realizado na diagonal, definindo esteticamente as fachadas e proporcionando vãos grandes e luminosos (Eicker, 2018).

Cada residência é composta por dois ou três contentores. O piso térreo foi equipado com lojas na rua principal e residências na parte traseira (Wiegel, 2019). O espaço entre os dois volumes é partilhado pelos habitantes e possui pequenos espaços verdes e uma piscina.

Como os contentores são objetos modulares com medidas idênticas, podem ser facilmente reutilizados após a vida útil do edifício para fins semelhantes, ou podem ser desmontados e reintegrar o ciclo de reciclagem regular de aço.

Importa ainda salientar outro projeto dos mesmos arquitetos, a *Carroll House*, com sistema construtivo idêntico. Neste caso, são vinte e um contentores cortados na diagonal que são a estrutura e o revestimento duma casa unifamiliar em Nova York (Köhler, 2018).



Figura 245 Montagem D3 Abwab Pavilion



Figura 246 Alçados Abwab Pavilion (Archdaily, 2017)



Figura 247 Piso Térreo D3 Abwab Pavilion (Archdaily, 2017)



Figura 248 Fachada para o interior do lote D3 Abwab Pavilion (Archdaily, 2017)

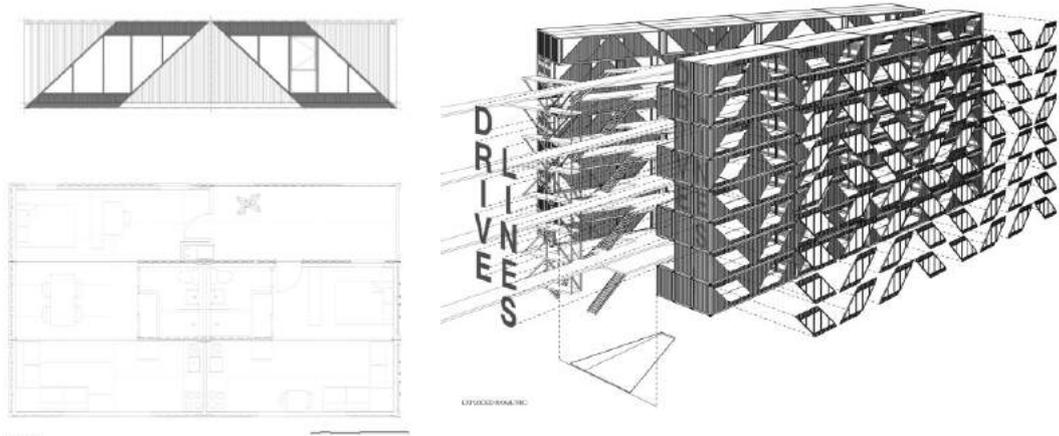


Figura 249 Desenho técnico da Planta e Alçado topologia *D3 Abwab Pavilion* (Archdaily, 2017)

Figura 251 Axonometria Explodia *D3 Abwab Pavilion* (Archdaily, 2017)

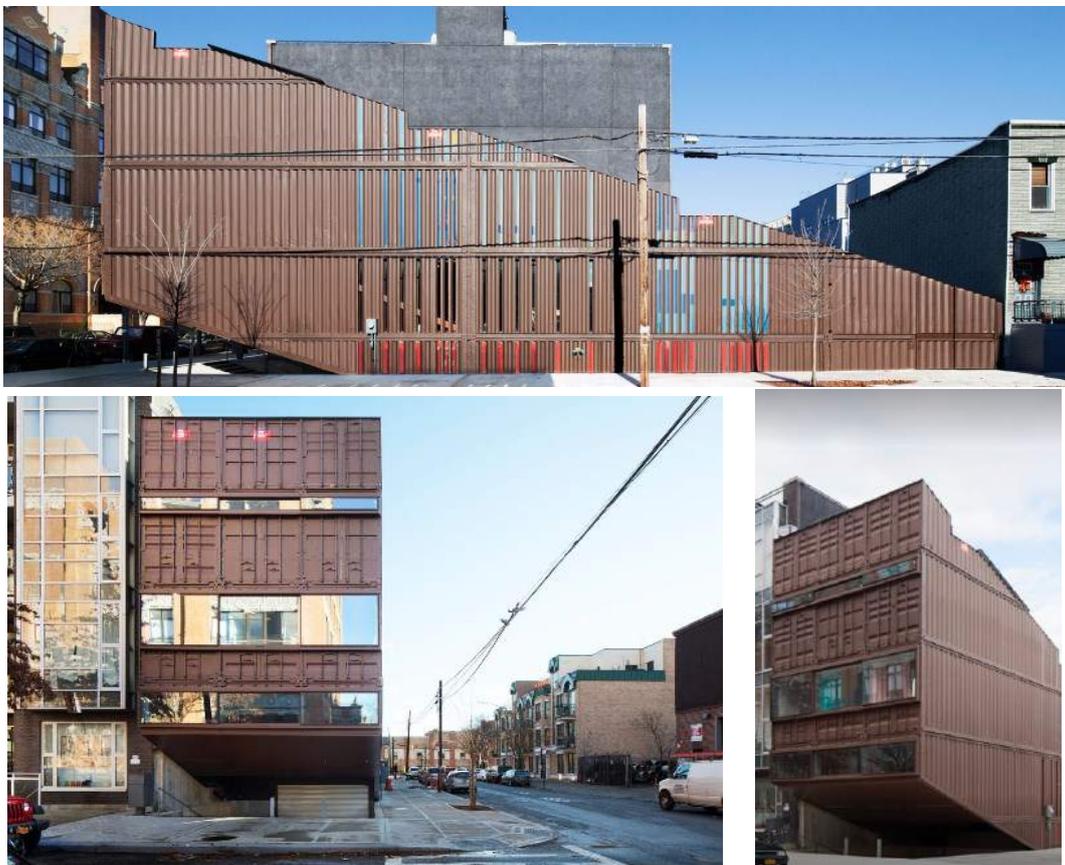


Figura 250 Vistas exteriores e desenhos *Carroll House* (Archdaily, 2017)

Tabela 30 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo D3 *Abwab Pavilion*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>D3 Abwab Pavilion</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo						Resíduo Industrial				
		✓ Contentores Industriais										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração	Reciclagem: Transformação					
	Complexidade	0	0	1	2	3	4					
										✓		
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo			Baixo			Alto				
	Bio.							✓				
	Tec.											
	Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo			Alto				
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Bai-xo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
			✓	✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
	✓			✓		Lisa	Baço	Opaco	Depende da pintura		Nenhum	

Caso de estudo: *Dubai Design Week 2015 Pavilion*

Recurso: Molas de Colchão, Tubos de Aço, Perfis de Aço, Pneus, Agregados finos

Ano: 2017

Aplicação: Molas de Colchão, Tubos de Aço: Estrutural | Pneus, Agregados finos: Pavimento

País: Emirados Árabes Unidos (Dubai)

Arquitetos: Fahed Architects

Fonte: (Fahed Architect, 2017)



Figura 252 Exterior *D3 Abwab Pavilion* (Fahed Architect, 2017)

O atelier Fahed Architects foi convidado a projetar um pavilhão temporário para o *Dubai Design Distrit* com materiais de uma empresa de gestão de resíduos locais, a Bea'ah. Os arquitetos projetaram o pavilhão para ser uma obra de arte inovadora e de expressão criativa (Fahed Architect, 2017).

O pavilhão era composto por 1100 molas de colchões usados. Os arquitetos escolheram este resíduo, pela sua força, leveza e silhueta. As molas possuíam a função de malha estrutural orgânica (semelhante a uma nuvem) que controlava a luz natural e recriava sombras padronizadas no chão. A estrutura celebrava a forma e o caráter do material, mantendo-o e representando-o na sua forma pura. As molas foram revestidas com um spray anti corrosão e foram utilizados canos de aço para reforço estrutural.

O pavimento era composto por pneus usados e agregados finos (Fahed Architect, 2017).

O pavilhão funcionou como um local de exposição, foram expostas quarenta e sete obras de arte de vários países. No final da exposição, o pavilhão foi desmontado e todos os materiais regressaram à Bea'ah, para serem reciclados (Morris, 2017).



Figura 254 Exterior do *Dubai Design Week 2015 Pavilion* (Fahed Architect, 2017)



Figura 253 Interior do *Dubai Design Week 2015 Pavilion* (Fahed Architect, 2017)



Figura 255 Interior do Dubai Design Week 2015 Pavilion (Fahed Architect, 2017)



Figura 256 Interior do Dubai Design Week 2015 Pavilion (Fahed Architect, 2017)

Tabela 31 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo Dubai Design Week 2015 Pavilion

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: Dubai Design Week 2015 Pavilion										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Molas de colchoes										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo						Baixo			Alto		
	Bio. Tec.									✓		
	✓											
Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo			Alto			
	✓											
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Bai-xo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água		Hidrofílico não resistente à água
			✓	✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor		Odor
✓			✓			Irregular	Brilhante	Translucido	Cobre		Nenhum	

Caso de estudo: *Can Cube*

Recurso: Latas de Alumínio

Área: 1000 m²

Ano : 2010

País: Estados Unidos da América

Arquiteto: Arch Union

Cabin John,

Medidas padrão: 920 / 1,220 mm × 1840 / 2440 mm × 13 mm

Fonte: (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)

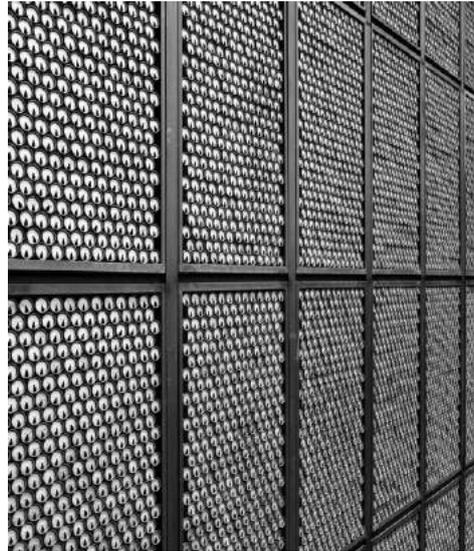


Figura 257 Painel Fachada com Latas de Alumínio *Can Cube* (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)

O *CAN Cube* é um edifício residencial e comercial localizado em Xangai, desenhado pelo atelier Arch Union em 2009. Segundo os arquitetos, este edifício utiliza vários sistemas que tornam o edifício mais eficiente em termos de energia e mais sustentável (Archdaily, 2010),

O piso 0 e o piso -1 funcionam como escritórios e os pisos superiores como habitações recreativas. A fachada principal está virada para um jardim e fachada oposta para um lago, uma ponte liga o 1 piso na fachada principal com a cota do jardim (Archdaily, 2010).

A fachada do edifício diferencia-se pelo sistema de painéis com latas de alumínio reutilizadas. As latas foram encaixadas numa estrutura de alumínio pré-fabricada, composta por uma moldura, uma rede de fios nylon, calhas, latas e elementos de ligação (imagem 320). Esses painéis, podem ser abertos permitindo o controlo da luz solar e a ventilação no edifício através de peças semelhantes aos caixilhos das janelas. Desta forma, os arquitetos pretenderam economizar energia associada à reciclagem das latas de alumínio, reaproveitando-as na sua forma original (Archdaily, 2010).

O sistema construtivo utilizado, irá permitir que no final da vida útil as latas de bebida sejam libertadas facilmente para, então, poderem reintegrar o seu ciclo regular.

Importa ainda salientar que o projeto beneficia de dispositivos de aquecimento e arrefecimento subterrâneos, filtragem de águas pluviais e sistemas de captação de energia solar, que proporcionam mais eficiência e minimizam o desperdício de energia (Archdaily, 2010).



Figura 258 Vista exterior Painel Fachada *Can Cube* (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010) **Figura 259** Vista exterior *Can Cube* (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)

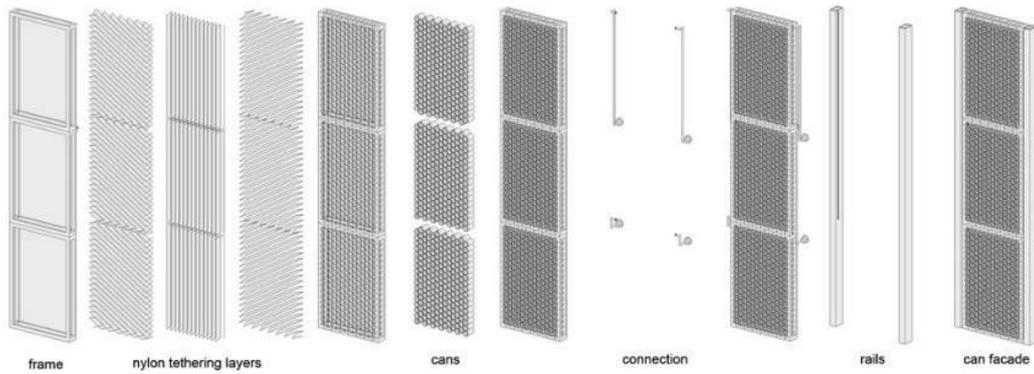


Figura 260 Pormenor Painel com Latas e Axonometria explodida *Can Cube* (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)

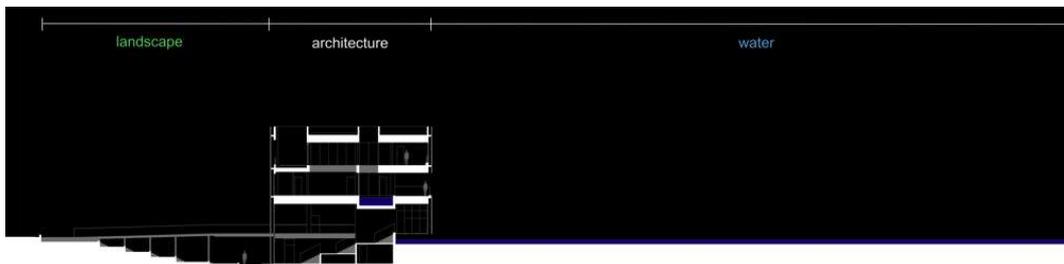


Figura 261 Perfil *Can Cube* (Archdaily, Can Cube / Archi-Union Architects, 2010)

section A-A

Tabela 32 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Can Cube*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Can Cube</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial						
		✓ Latas de Alumínio											
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação	
	Complexidade	0		0		1		2		3		4	
		✓											
	Potencial de Reintrodução no ciclo biológico	Nulo				Baixo				Alto			
	Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto			
					✓								
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água	
			✓	✓			✓		✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência		Cor	Odor		
✓			✓			Padrão Geométrico	Brilhante	Opaco		Cinza	Nenhum		

Caso de estudo: *Alkimi*

Recurso: Resíduos da Produção Alumínio e resíduos acrílico

Aplicação: Painéis de acabamento

País: Estados Unidos da América

Fabricante e Designer: Renewed Materials, LLC, Cabin John,

Medidas padrão: 920 / 1,220 mm × 1840 / 2440 mm × 13 mm

Resistência de Impacto: 0.55 ft-lb/in., ASTM D 256, Method A.

Absorção de água: 0.172 percent, ASTM D 570.

Resistência á tenção: 2,579 psi, ASTM D 638.

Coefficiente de expansão linear: 5.30x10-5 ASTM D 696.

Deflexão de calor: 95,6 graus C, ASTM D 648)

Absorção de som: Classe B (ISO 111654)

Fonte: (Renewed Materials, 2009)



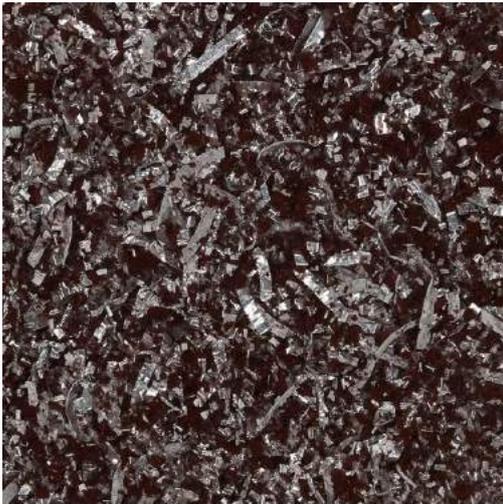
Figura 262 Akimi aplicação bancada (Renewed Materials Inc.)

A empresa *Renewed Materials*, desenvolveu uma linha de materiais de construção com resíduos de sucata de alumínio, compostos por 83% a 93% deste resíduo e resíduos acrílicos sólidos.

Os materiais são fabricados com os flocos resultantes da serragem e polimento do alumínio, que não estão aptos para a reciclagem convencional porque são lascas demasiado finas que se queimam no processo produtivo. Os flocos são combinados com uma resina (polímeros ecológicos, não especificados) que quando endurecem formam um material resistente, de diferentes cores, adequado para bancadas, mesas, pias ou ladrilhos (Inhabitat, 2006).

Como a maioria dos materiais de revestimento, o Alkimi pode ser lixado, personalizado, polido e aparafusado. As cores e os padrões são o resultado direto da sucata disponível e o método usado na mistura dos resíduos com a resina (não especificada). (Inhabitat, 2006)

O Alkimi foi projetado para após a sua vida útil voltar à empresa e reintegrar a cadeia produtiva, contudo o nível de reciclagem e reutilização futura limita-se a esta produção específica não pode reintegrar o ciclo como um resíduo de alumínio (Inhabitat, 2006).



ALKEMI-acrylic **Sonoma-870**

Figura 263 Alkimi Catálogo (Renewed Materials Inc.)



ALKEMI-acrylic **Aquarius-730**

Figura 264 Alkimi Catálogo (Renewed Materials Inc.)



Figura 265 Aplicação ALkimi em Bancada (Renewed Materials Inc.)



Figura 266 Aplicação ALkimi em Bancada (Renewed Materials Inc.)

Tabela 33 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *Alkimi*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Alkimi</i>									
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial				
		✓ Resíduos da Produção Alumínio e resíduos de acrílico									
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração	Reciclagem: Transformação				
	Complexidade	0	0	1	2	3	4				
						✓					
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo			Baixo			Alto			
	Bio.						✓				
	Tec.	✓									
	Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo			Alto			
		✓									
Desempenho Funcional	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km		
	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico		Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade					
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água
		✓	✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo		Durabilidade		Propriedades Sensoriais						
Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
✓			✓		Lisa	Baço	Opaco	Várias	Nenhum		

Caso de Estudo: *Alusion– Stabilized Aluminium Foam Panels*

Recurso: Alumínio Descartado
Processo de Processamento: Upcycling: Transformação
Aplicação: Painéis de acabamento
País: Canadá
Fabricante e Designer : Cymat Technologies Ltd., Mississauga, ON, Canada
Medidas padrão: 2.440 mm × 1.220 mm
Espessura Padrão: 12,7 / 25,4 / 43,2 mm
Densidade: 110–550 kg/m³
Resistência á tração: 414 MPa (ASTM B557)
Classificação de Fogo: Não combustível (E136)
Absorção de som: Classe B (ISO 111654)
Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

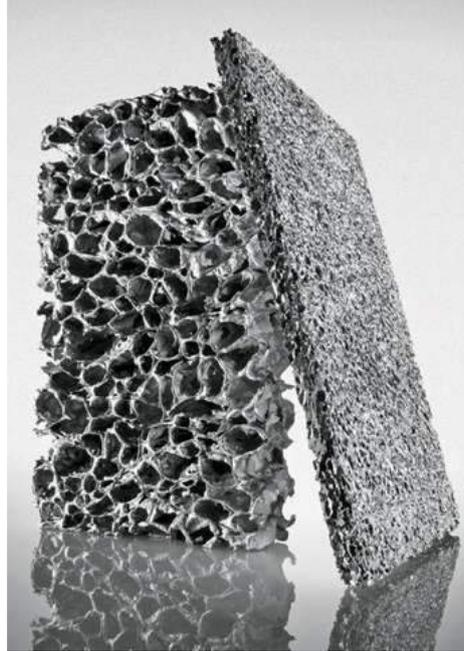


Figura 267 ALUSION– STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A reciclagem do alumínio envolve a fusão de sucata previamente separada, este processo economiza muita energia (95%) comparativamente com a produção primária de alumínio (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A espuma de alumínio da Cymat é uma alternativa ao processo regular de reciclagem através de um *loop* adicional. A produção deste produto envolve o uso de sucata 100% recicladas através de um processo de reutilização inovador (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) (Cymat Technologies Limited, s.d.) . O material é aquecido além do ponto de fusão e é então derramado num aparelho de fundição, onde o ar é injetado no alumínio fundido. As bolhas de ar sobem e o alumínio é arrefecido e solidificado no molde em forma de painel. Os painéis mais leves têm aparência semelhante a uma esponja metálica e podem ser cortados nas formas e comprimentos desejados. Não é adicionado nenhum material durante a produção e o material é 100% reciclável (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

A superfícies dos painéis pode ser tratada e obter texturas diferentes e diferentes níveis de opacidade e translucidez. A espessura do material está relacionada com a densidade, e existem três tipos básicos de painéis de espuma de alumínio estabilizada ALUSION: os de células pequenas, os de célula média e os de célula grande (Cymat Technologies Limited, s.d.). Os materiais de células pequenas são usados quando as aplicações exigem maior resistência mecânica, enquanto uma estrutura de células grandes é extremamente leve e frequentemente usada em combinação com efeitos de iluminação ou na construção de paredes (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Os painéis apresentam um bom comportamento acústico e são resistentes ao fogo e ideal para investimentos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 268 ALUSION- STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 269 Montagem, possível aplicação (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



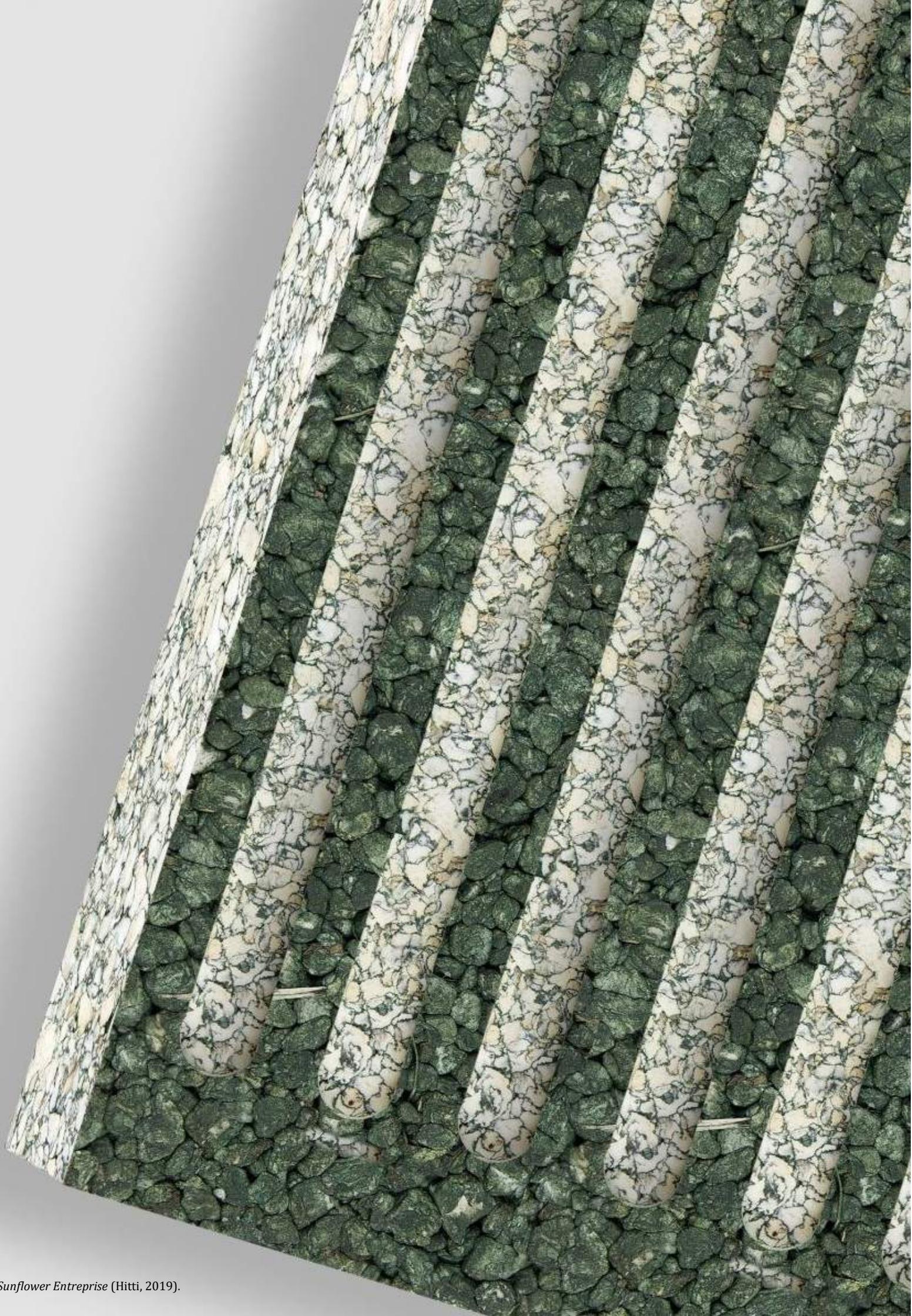
Figura 270 ALUSION- STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 271 ALUSION- STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 34 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS</i>											
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo						Resíduo Industrial					
		✓ Sucata de Alumínio											
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação	
		0		0		1		2		3		4	
	Complexidade		✓										
	Potencial de Reintrodução no Ciclo		Nulo				Baixo			Alto			
	Bio.	Tec.											
		✓											
	Conteúdo Tóxico		Nenhum				Baixo			Alto			
			✓										
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água	
			✓	✓				✓	✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais						
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência		Cor	Odor	
	✓			✓			Lisa	Brilhante	Opaco ou Translucido		Cinza	Nenhum	



3.8. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Os produtos agrícolas incluem cereais, vegetais, produtos hortícolas, fruta, café, gorduras e óleos vegetais e são produzidos diariamente em grandes quantidades quer pela sociedade quer pelo setor industrial (Instituto Nacional de Estatísticas, 2017). Os resíduos de colheitas representam mais de metade da biomassa agrícola do mundo (Luzzira, Sanarica, & Stefanizzi, 2017).

O ciclo de vida dos produtos agrícolas tem geralmente sete estágios principais: a plantação, o crescimento e manutenção do plantio, a colheita e a indústria de derivados, e, após a vida útil, o aterro, a compostagem ou Digestão Anaeróbica.

A maioria dos subprodutos agrícolas são incinerados para libertar os campos de cultivo, e só uma parte é reaproveitada para valorização energética ou para alimentar gado (Dahy & Knippers, 2017). A maioria dos resíduos agrícolas urbanos é depositada em aterro porque não é devidamente separada do restante lixo doméstico, o que impede a sua valorização.

Alguns destes resíduos podem ser usados como matéria prima para a produção de novos materiais e ganhar um novo valor, como por exemplo, os subprodutos da colheita do trigo e a cevada que são ricos em fibras lignocelulósicas. Nos últimos anos, têm surgido diversas abordagens que utilizam como recurso as fibras vegetais, que podem substituir por os produtos aglomerados à base de madeira, através de processos de produção semelhantes, ou integrar outras indústrias químicas que necessitem de celulose, amido, lignina, ceras, gorduras e minerais presentes nestes recursos.

Este capítulo introduz uma alternativa para o aproveitamento de subprodutos e resíduos agrícolas urbanos como materiais de construção. O desperdício da indústria agrícola ganha, assim, um novo valor económico e introduz recursos mais sustentáveis e eficazes para produzir polímeros, e outros materiais de construção.

Os materiais que tem como matéria prima fontes renováveis vegetais ou animais podem ser considerados bioplásticos⁶³ ou bio-compósitos.

De acordo com a European Bioplastics e V. Association, um material plástico é definido como um bioplástico se for de base biológica, biodegradável ou apresentar ambas as propriedades. (Dahy & Knippers, *Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*, 2017). São obtidos através polímeros naturais derivados, por exemplo, de resíduos agrícolas, de celulose ou de amido de batata e milho.

Os Bio-compósitos são materiais poliméricos, compostos por um reforço (fibra) e uma matriz aglutinante (Dahy & Knippers, *Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*, 2017), pelo

menos um dos dois é baseado em fibras naturais vegetais, ou fibras naturais animais. Os Bio compósitos verdes são compostos por um reforço e uma matriz, ambos derivados da biomassa vegetal ou animal (Dahy & Knippers, *Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*, 2017). O reforço representa 30 a 70% do compósito e pode ser composto por fibras ou partículas como por exemplo cascas de arroz, cevada, palha, lascas de madeira. A matriz é a substância que envolve as fibras, garantindo a sua posição e orientação, ao mesmo tempo que as protege da degradação ambiental. A matriz pode ser derivada de resinas sintéticas ou bio resinas. A bio resina e os adesivos naturais são polímeros derivados de óleos, cera e gorduras vegetais ou animais e apresentam-se como uma alternativa às resinas derivadas de produtos petroquímicos (Dahy & Knippers, 2017).

EXEMPLOS DE RESINAS E ADESIVOS NATURAIS

Adesivos de amido

Os agentes de ligação à base de amido têm-se tornado populares. O amido é extraído de plantas clorófitas como o milho, o trigo, o arroz e a batata, e é composto por polissacarídeos formados durante a fotossíntese. É obtido como um pó branco que pode ser dissolvido em água. Pode ser usado como um elemento de ligação de adesivos para fixar azulejos, placas de gesso, cartão, entre outros (Peters, 2012).

Adesivos de soja

As proteínas contidas na planta de soja podem ser usadas para produzir colas biodegradáveis com uma pegada de carbono muito reduzida e com propriedades adesivas fortes. Contudo, são adesivos solúveis em água. Nos últimos anos a comunidade científica desenvolveu uma forma de alterar a composição molecular destas proteínas e, assim, torná-las resistentes à água. Apesar de estarem aptos para uma grande variedade de aplicações, como móveis e revestimentos, são pouco usados (Peters, 2012).

Lignina

A lignina é um bio polímero contido nas paredes celulares de todas as fibras vegetais, que atua como um componente de endurecimento no tecido celular. As suas propriedades termoplásticas adequam-se à função de adesivo em várias indústrias (Peters, 2012).

Possui boa estabilidade mecânica, é insolúvel em água e possui uma decomposição mais difícil comparativamente com os outros adesivos naturais. É usado como alternativa à resina sintética (Peters, 2012).

Resinas naturais

As resinas são substâncias viscosas que endurecem em determinadas circunstâncias. A resina natural é produzida pela árvore para proteger a casca. São compostas por ácidos resíneos e terpenos que endurecem em contacto com o ar e são insolúveis em água. A resina mais comum é o colofónio, retirado do pinheiro ou do abeto. Na indústria são usados como aditivos na produção de adesivos, vernizes e tintas. (Peters, 2012).

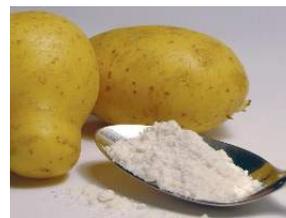


Figura 276 Amido como um pó branco (Peters, 2012)



Figura 274 Pasta de amido de batata com aroma de amêndoa (Peters, 2012)



Figura 275 Biocompósito feito com adesivo de soja (Peters, 2012).



Figura 273 Resina do pinheiro



Figura 272 Resina de goma laca

Adesivos de colagénio

Para além dos adesivos à base de plantas existem agentes de ligação biológica de origem animal, como ossos, peixes e cola de couro. A principal substância é o colagénio. É obtido através da fervura de produtos animais como escamas de peixe, cartilagem e pele de animais

As adições de tanino (polifenóis de origem vegetal presentes na uva, chá, amêndoa.) tornam o agente insolúvel; o ácido acético (vinagre) reduz a temperatura de fusão e aumenta a força de união até 20%; a adição de glicerina pode dar propriedades elásticas à cola (Peters, 2012). Estes adesivos são usados na indústria de madeira e papel (Peters, 2012).

Adesivos de mexilhão

Os mexilhões possuem um adesivo que lhes permite aderir a qualquer superfície inclusive de baixo de água. Esta propriedade é extraída da proteína proveniente do aminoácido didroxifenilalanina (DOPA). Assim, são capazes de absorver íons metálicos da água do mar e formar um composto polimérico estável que possui um efeito de adesão sobre os óxidos inorgânicos da rocha (Peters, 2012).

Os adesivos de mexilhão estão em fase de desenvolvimento, e são capazes de endurecer com a variação do pH da água e perdem qualidades adesivas sobre influencia da radiação UV. De acordo com Peters, a aplicação deste adesivo pode ser vantajosa em estruturas e aparelhos subaquáticos e prevê que no futuro possa ser usado no corpo humano para fixar implantes e fechar feridas (Peters, 2012).

Adesivos de Sangue

O sangue, antes da segunda guerra mundial, era usado para a produção de contraplacados, devido à elevada capacidade de resistência à água, comparativamente com outros bios resíduos. Jack Munro, Arthur Mamou-Mani e Toby Burgess da Universidade de Westminster em Londres exploram a utilização deste adesivo para a produção de tijolos. O sangue é misturado com anticoagulantes e transformado em pó, assim, é possível conservar o sangue antes de ser usado como adesivo. De seguida, o sangue é misturado com areia e prensado em moldes. Para solidificar o tijolo o sangue deve coagular exposto ao sol ou em fornos solares. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 279 Cola animal em grânulos (Ardec, s.d.)



Figura 277 Mexilhões (Peters, 2012).



Figura 278 Blood Brick (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Caso de estudo: TRAshell | Bio-flexi | Plant Culture

Recurso: Resíduos Agrícolas

Aplicação: Painéis de Revestimento Interior e Exterior

País: Alemanha

Resistência: Resistente o suficiente para resistir a cargas leves

Fabricante e Designer: Departamento de Materiais de Base Biológica e Ciclos de Materiais em Arquitetura (BioMat); Universidade de Stuttgart, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Stuttgart

Classificação de Fogo: Class A (ASTM E84)

Fonte: (Dahy & Knippers, 2017)



Figura 280 TRAshell diferentes texturas e transparências (Dahy, 2017)

Investigadores do Departamento de Materiais de Base Biológica e Ciclos de Materiais em Arquitetura (BioMat) da Universidade de Estugarda na Alemanha em 2011 (Dahy & Knippers, Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction) desenvolveram um protótipo bio-compósito verde, o *Trashell*, e testaram a sua viabilidade como revestimento de paredes exteriores. O processo de produção destes painéis envolveu a moldagem de agro fibras, curtas e orientadas de forma livre e a bio-resina do óleo de linhaça e anidros orgânicos (endurecedor).

As fibras utilizadas nos bio-compósitos foram fibras de coco, resíduos da colheita de cereal (palha) e cinzas de carvão preto. A textura, a transparência e resistência do material são influenciadas pelo comprimento das fibras, pela quantidade de resina utilizada, pela espessura e pela forma dos protótipos. Como forma de garantir as qualidades de resistência, foi definido que 20% da biomassa do compósito devia ser composta por fibras de palha.

Os protótipos foram produzidos com a espessura entre 2 e 5 mm e foram colocados em moldes, pressionados durante 24 horas à temperatura ambiente, para de seguida serem retirados e endurecerem por mais 24 a 48 horas (Dahy, 2017).

A viabilização deste material como material de revestimento exterior foi conseguida através de testes mecânicos e testes de resistência às condições metrológicas. Conclui-se que este material é resistente às radiações UV, chuva, vento e calor, assemelhando-se aos materiais convencionais não estruturais. (Dahy, 2017) (Dahy & Knippers, 2017).

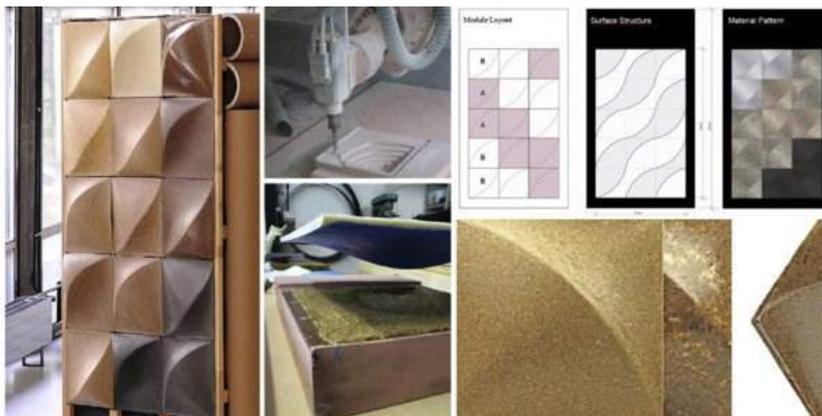


Figura 281, Processo de Moldagem 'TRAshell' e produto final fixados num pavilhão para testar como elemento de revestimento (Dahy, 2017)

Posteriormente, o BioMat desenvolveu três protótipos bio-compósitos verdes com matrizes termoplásticas e termofixas⁶⁴, entre eles o *Trashshell*, o *Bio-flexi* e o *Plant Culture*. (Dahy, 2017).

O Bio-flexi é uma placa de fibra flexível de alta densidade composto por 80% de agro fibras provenientes de resíduos agrícolas (palha de trigo, milho, arroz, aveia, cevada ou centeio) e por um aglutinante elástico termoplástico ecológico. “A palha de arroz oferece às placas de fibra uma vantagem extra devido à alta concentração de silicato, o que permite atingir a classificação “*particularly fire-resistant*” de acordo com a norma alemã DIN 4102-B1”⁶⁵ (Dahy & Knippers, 2017, p. 120).

A elasticidade do adesivo permite que o protótipo possa ser dobrado e convertido em diversas formas. Acrescente-se ainda que o material pode ser laminado com uma superfície folheada de madeira de um lado. Segundo Dahy, esse material é adequado para a produção de móveis, divisórias, bem como para revestimentos antiderrapantes com absorção de choque (Dahy, 2017).

⁶⁴ Os termoplásticos são uma classe de polímeros que podem ser derretidos ou amolecidos por meio de calor (P.K.Mallick, 2010). Os Termofixos são polímeros nos quais ocorre uma reação de reticulação, promovendo a ligação química entre as cadeias macromoleculares e criando uma rede tridimensional, estes não são moldáveis por meio de calor. (A.T.Marques, 2011)

⁶⁵ Traduzido pela autora do original: “In the case of rice straw, the fibreboards offer an extra advantage due to the high silicate concentration of up to 20 per cent, which allows the material classification “*particularly fire resistant*” according to the German DIN 4102-B1 standard”



Figura 282 Ilustração da flexibilidade do painel Bio-flexi quando folheado de um lado e como ele pode ser folheado de ambos os lados

O *Plant Culture* é composto por agrofibras provenientes de resíduos agrícolas variados, com uma matriz termoplástica de base biológica, aditivos estabilizadores de UV, pigmentos e aditivos retardadores de chama à base de minerais. Para a produção dos painéis a mistura passou por um processo de extrusão prévio, que permite reduzir o tamanho das fibras naturais, para de seguida ser estruída e moldada, dando origem ao produto semiacabado (fase 3 da figura 350). Por fim, o produto assume a forma final num processo de termo-modelagem assistida a vácuo. O processo de termo-moldagem implica que o biocompósito seja aquecido previamente e submetido ao vácuo por um determinado espaço de tempo, os melhores resultados foram obtidos com placas de 2 mm de espessura num intervalo de tempo de 2,5 4 min a 500 ° C. De acordo com Dahy, este material deve apenas ser aplicado no interior (divisórias, moveis e revestimentos). (Dahy, 2017).



Figura 283 lustração dos seis necessários processos de fabricação *Plant Culture*

Para testar a viabilidade dos três protótipos em aplicações arquitetónicas, foram realizados diferentes testes de acordo com aplicação alvo de cada um dos materiais (Dahy, 2017).

Desta forma, concluiu-se que o *Bio-flexi* é apto para sistemas de pavimento, pois, apresentou uma boa resistência à tração (2.6N/mm²) e uma resistência ao recuo após ser submetido a cargas elevadas suficientes para se considerar um bom material de pavimento de zonas desportivas, como pavilhões (Dahy, 2017).

Verificou-se que o *Trashell* possui um modelo de elasticidade médio equivalente a 600N/mm² e uma resistência à tração de 12 N/mm². O *Plant Culture* tem um modelo de elasticidade médio de 700 N/mm², uma resistência à tração de 45 N/mm². Assim, conclui-se que ambos os materiais estão aptos para desempenhar a função de revestimento não estrutural comparativamente a outros materiais semelhantes.

Acrescente-se, ainda, que o Bio-Fléxi e o Plant Culture, são termoplásticos facilmente reciclados, enquanto o Trashell pode ser reciclado através da pirolise⁶⁶ para recuperação de energia ou pode ser triturado e usado como enchimento em outros compósitos. (Dahy, 2017).

Para testar a biodegradabilidade dos materiais, estes foram enterrados durante quinze meses e analisados de três em três meses, assim, foi possível determinar como é que as bactérias aeróbicas decompõem as amostras. (Dahy, 2017). O *Trashell* não foi testado pois não é um material biodegradável devido à composição do adesivo. O *Bio-flexi* após três meses apresentou rachas e após nove meses começaram a crescer raízes de plantas. Passados quinze meses, 41 % do material tinha-se bio degradado (Dahy, 2017). Em oposição o *Plant Culture* não apresenta uma biodegradabilidade tao rápida, após quinze meses apenas 15% do seu peso foi absorvido (Dahy, 2017).

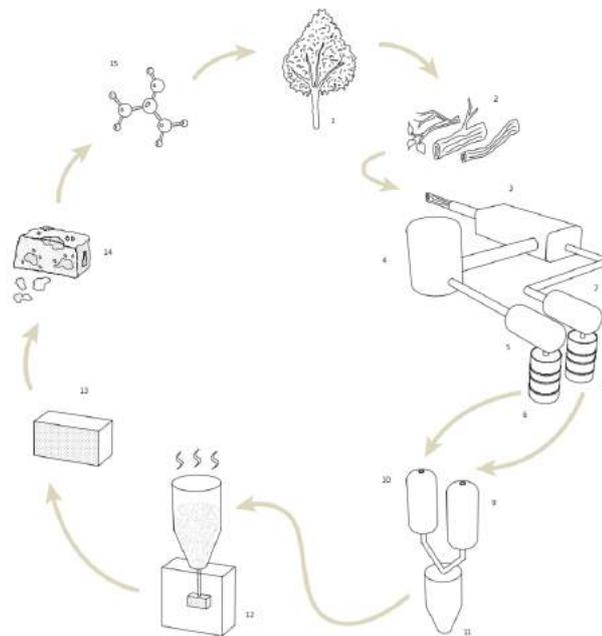


Figura 284 As fibras lignocelulósicas vegetais recuperadas de resíduos agrícolas são um recurso para a produção de bioplásticos e bio-compósitos eficientes.

1 - Cultivo de recursos; 2 - Troncos de árvores; 3 - Polpação de pré-tratamento para, por ex. indústria de papel; 4 - Sacarificação; 5 - Fermentação; 6 - Biocombustível; 7 - Processamento químico; 8 - Produtos químicos e monômeros; 9 - Processamento químico; 10 - Fermentação; 11 - Bio-polímero; 12 - Técnicas de processamento termoplástico; 13 - Elemento de construção de bio-polímero / bio compósito; 14 - Decomposição biológica; 15 - Nutrientes biológicos. (Dahy & Knippers, 2017).

⁶⁶ Pirólise é uma reação ou decomposição que ocorre pela ação de altas temperaturas, geralmente implica uma quebra da estrutura molecular original de um composto, num ambiente sem oxigênio.

Tabela 35 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo TRAshell (preto) | Bio-flexi (laranja) | Plant Culture (azul)

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>TRAshell</i> <i>Bio-flexi</i> <i>Plant Culture</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		Resíduos Agrícolas variados										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓ ✓ ✓		
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo					Baixo					Alto
	Bio						✓					✓ ✓
	Tec.											✓ ✓
	Conteúdo Tóxico	Nenhum					Baixo					Alto
		✓ ✓ ✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km		
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
	✓ ✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓ ✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
✓	✓		✓	✓		Lisa	Brilhante ou Baço	Opaco ou Translucido	Castanho e Bege	Nenhum		

Caso de estudo: *AGRICULTURAL WASTE PANELS*

Recurso: Resíduos da Agricultura

Aplicação: Painel de Construção e Isolamento

País: Países Baixos

Fabricante: Berne University of Applied Sciences

Designer: Berne University of Applied Sciences, Biel, Switzerland; University of Nigeria, Enugu Campus, Nigeria; Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

Medida Padrão do Painel: 700 mm × 500 mm

Espessura: 5-40 mm

Densidade: 150-1,000 kg/m³

Liga Interna: 0,05-2 N / mm²

Condutividade Térmica: 0.044-0.051 W/m.K

Classificação de Fogo: Sem informação

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)(T.O.OdoziO & AkarantaP.N.Ejike, 1986)



Figura 285 Resíduos agrícolas que podem ser usados no processo: talos de milho, espigas de milho, cascas de trigo ou cascas de cevada. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

A Universidade de Berne e a da Nigéria desenvolveram um material de construção que tem como base a lignocelulose de resíduos agrícolas proveniente do amendoim, do trigo, da cevada e do milho com uma matriz de tanino (bioresina). Este bio-compósito verde é uma alternativa igualmente eficiente e mais barata comparativamente com os painéis convencionais (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O processo de transformação dos painéis pode ser implementado na produção atual de painéis aglomerados de madeira. A matéria prima no seu estado natural é desidratada (numa estufa com 12% de humidade) e peneirada. De seguida, são trituradas em pedaços pequenos e tratadas com estratos de casca de cebola roxa, tanino da casca de mangue(árvore), resorcina formaldeído (RF) e resinas de ureia formaldeído (UF). O material tratado é misturado com formaldeído e prensado numa prensa hidráulica, num molde de ferro com força de 200-400 Psi por 30 minutos. Dependendo dos tipos de resíduos utilizados, a prensagem pode ser realizada à temperatura ambiente ou a 140 (T.O.OdoziO & AkarantaP.N.Ejike, 1986). Como este material utiliza produtos à base de formaldeído (sustância proibida) a reintrodução do material no ciclo biológico é comprometida, sendo considerado um material com conteúdo tóxico baixo.

Verifica-se que a maioria apresenta uma resistência à flexão superior a 170psi e uma absorção de água (5 h) de 10,2% ou menos. Segundo T.O.OdoziO et. al os valores de resistência altos estão associados à quantidade de taninos polimerizáveis e a quantidade de resina usada. No geral, os resultados mostram que os painéis com resíduos agrícolas têm um desempenho superior aos painéis convencionais com aparas de madeira (0.5 espessura) (T.O.OdoziO & AkarantaP.N.Ejike, 1986).

TABLE I
Properties of Particle Boards Made Using Different Contents of Agricultural Wastes

Material used	Adhesive type	Specific gravity	Bonding strength (psi)		Water absorption (%)		
			Dry	Wet	5h	24h	
					of water immersion	of water immersion	
1. Corncob (50%) Bagasse (50%)	10% ^a tannin-resorcinol formaldehyde resin (WS) + 5% Natrosol ^b + 2% paraformaldehyde	1.07	177.6	151	22.25	10.2	44
2. Wood shavings (25%) Bagasse (25%) Corncob (50%)	10% tannin-resorcinol formaldehyde resin (WS) + 5% Natrosol + 2% paraformaldehyde	1.08	200	159	59	8.6	32
3. Wood shavings (50%) Bagasse (25%) Corncob (25%)	10% tannin-urea formaldehyde resin (WS) + 5% Natrosol	0.98	80	Cr	Cr	60	—
4. Wood shavings (25%) Bagasse (25%) Corncob (25%) Mangrove bark (25%)	25% tannin-urea formaldehyde resin (WS) + 5% Natrosol + 2% paraformaldehyde	1.09	204.7	175	90	4.4	19.4
5. Commercial grade board	—	1.08	157.2	59	—	—	—

^a 10%, etc. by weight on particulate material.
^b Commercial grade cellulose thickener. WS = Water soluble Cr = Crumbled.

Figura 290 Propriedades de vários painéis com resíduos agrícolas (T.O.OdoziO & AkarantaP.N.Ejike, 1986).



Figura 286 Os resíduos agrícolas são compactados (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 288 Um misturador de baixa tecnologia mistura o lixo agrícola com o aglutinante de tanino (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 289 Painéis de isolamento com resíduos agrícolas. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 287 Os resíduos agrícolas são compactados (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 36 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *AGRICULTURAL WASTE PANELS*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: AGRICULTURAL WASTE PANELS										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos Agrícolas										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração		Reciclagem: Transformação
	Complexidade	0		0		1		2		3		4
										✓		
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo				Baixo				Alto		
	Bio ✓					✓						
Desempenho Funcional	Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto		
						✓						
	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0			Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km			Disponibilidade num raio de 50 km	
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade					
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofílico, resistente à água	Hidrofílico não resistente à água	
		✓		✓			✓		✓			
	Resistência ao fogo	Durabilidade			Propriedades Sensoriais							
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor		
		✓	✓		Irregular	Brilhante	Opaco ou Translucido	Castanho e Bege	Nenhum			

Caso de estudo: *HY-Fi*

Recurso: Resíduo Agrícola (Talo de Milho)

Aplicação: Projeto Hy-Fi: Blocos de Construção

Outras aplicações do material: Painéis, Embalagens, Escultura

País: Estados Unidos da América (NY)

Fabricante: Ecovative, Green Island, NY, USA

Designer: The Living, New York City, NY, USA

Tempo de Crescimento: 15 dias

Tempo de Vida: Infinito

Densidade: 7.6 lbs/ft³ (variável)

Resistência à compressão: 18psi (a 15%) (variável)

Resistência à flexão: 34 psi (variável)

Classificação de Fogo: Class A

(ASTM E84)

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

& (Ecovative, 2020).



Figura 291 Blocos utilizados no Projeto Hi-Fi (The Creators Project, 2014)

O projeto Hy-Fi, projetado pelo atelier *The Living* em colaboração com a empresa Ecovative para o programa *Young Architects*, foi premiado pelo museu de Arte Moderna de Nova Iorque, e localizava-se no MoMA PS1 na cidade de Long Island. O edifício era constituído por um conjunto de torres circulares, com materiais 100% naturais (Frearson, Organic tower grown from agricultural waste wins MoMA PS1 Young Architects Program 2014, 2014).

Os blocos que formavam a base da torre eram compostos por subprodutos agrícolas e micélio de cogumelos, que tinham a função de cola digestiva natural (Frearson, Organic tower grown from agricultural waste wins MoMA PS1 Young Architects Program 2014, 2014).

A secção superior da torre foi preenchida com blocos ocus refletores. Todos os materiais usados no edifício foram recolhidos num raio de 250 quilómetros. Os espaços deixados na alvenaria ajudavam a ventilar o interior, empurrando o ar quente para cima, neste sentido, o design da torre funcionava como microclima, que inspirava ar frio pela parte inferior e expirava ar quente pela parte superior (Frearson, Organic tower grown from agricultural waste wins MoMA PS1 Young Architects Program 2014, 2014).

Após a vida útil do edifício, o sistema construtivo utilizado permitiu a desmontagem, e os blocos foram “processados por uma empresa local, a *Build It Green Compost*, e distribuídos como composto e fertilizante entre as hortas e jardins locais (Frearson, Organic tower grown from agricultural waste wins MoMA PS1 Young Architects Program 2014, 2014).

A produção dos blocos foi assegurada pela Ecovative, uma empresa que desenvolve materiais a partir do micélio e subprodutos agrícolas, designados de compósitos micélios. Este

tipo de materiais cultivados utiliza o crescimento natural de fungos como método de bio fabricação (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020).

O processo de fabricação é muito simples, os resíduos agrícolas são misturados com água e com o organismo vivo (raízes de cogumelos/micélio). Após cinco dias a mistura pode ser colocada num molde fechado, onde repousa por mais cinco a dez dias (25-27 ° C). As raízes e os organismos crescem e fundem-se numa biomassa dando origem a um material sólido que é submetido ao calor (70- 90 ° C), prensado a quente, seco em estufa ou ao ar livre para desidratar o material, interrompendo o processo de crescimento, e neutralizar o fungo. (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020)

O micélio é uma parte vegetativa dos fungos, composto por fibras tubulares designadas de hifas que ramificam e formam uma estrutura semelhante a uma rede (Islam, Tudryn, Bucinell, Schadler, & Picu, 2018). O micélio cresce e consome as partículas orgânicas, incorporando-as na rede de hifas, ou seja, para além de funcionarem como alimento, as partículas funcionam como um reforço durante a função mecânica. Desta forma, os resíduos agrícolas usados nos compósitos vão influenciar a densidade, a resistência e a condutividade térmica do material final (Islam, Tudryn, Bucinell, Schadler, & Picu, 2018).

A densidade dos compósitos pode variar entre 60 e 300 kg/m³, a resistência à tração entre 0,05-0,29 Mpa, e a resistência à compressão entre 0,17-1,1 Mpa. Os compósitos com partículas como as da palha apresentam densidade entre 60 e os 130kg/m³ e a resistência à tração entre 0.01 e 0.03 Mpa, enquanto que nos compósitos com subprodutos florestais e de serraria apresentam uma densidade entre 87 e 300kg/m³, a resistência à tração varia entre 0.05 e 0.18 Mpa. Importa, ainda, salientar que a prensagem do material a frio ou a quente aumenta a densidade e a capacidade de resistência à tração e à compressão (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020).

Os compósitos de micélio apresentam uma condutividade térmica entre 0,04-0,18 W/m-k, que pode ser otimizada com o uso de fibras de palha e cânhamo (densidade baixa), reduzindo os valores para 0.04-0.08 W/m-k. O micélio por si só possui a capacidade de absorver sons de baixa frequência (<1500 Hz) superando o desempenho da cortiça (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020).

O micélio não tem propriedades retardantes de fogo, apesar de alguns constituintes hifais como a quitosana e a hidrofina formarem um revestimento hidrofóbico, e os resíduos ricos em fenólicos naturais como a lignina e a sílica terem a capacidade de retardar o processo de decomposição (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020).

Os compósitos de micélio são materiais hidrocópios, tem a capacidade de absorver 40% a 58% do seu peso em água (88-192h), apesar desta característica ser uma das maiores limitações do material, pode ser benéfica quando utilizada em espaços interiores secos (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020) .

Os principais benefícios deste material são o bio-fabrico, a capacidade de reter CO₂ durante o processo e as propriedades térmicas que se assemelham aos produtos isolantes do mercado. As desvantagens são a vulnerabilidade ao mofo e à humidade. De acordo com o

cofundador da MycoForm, empresa semelhante à Ecoative, os tijolos com micélio podem ter uma vida superior a 20 anos, sem contacto com o solo, chuva e vento. Porém, podem ser usados agentes de impregnação como uma resina à base de soja para aumentar a vida útil e adaptando-o a painéis, pisos, armários e outros móveis (Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, & Johna, 2020).

No projeto Hy-fi, os blocos eram testados e cultivados, os resultados dos testes de stress eram enviados para os engenheiros da Arup que analisavam as questões estruturais com auxílio do modelo 3D do atelier *The Living* (The Creators Project, 2014).

A empresa Ecoative ficou conhecida pelos blocos usados no projeto Hy-fi, mas o primeiro material desenvolvido ligado ao setor da Construção foi um material de isolamento (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Neste, a mistura orgânica secava numa cofragem de madeira durante 1 mês, dando origem a “uma parede de alto desempenho térmico” e com uma boa capacidade de carga. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Atualmente, a empresa dedica-se à venda de embalagens, espuma de micélio, que pode ser aplicada na indústria de têxteis, a cuidados de pele e a painéis de construção, MycoBoard (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014). Na página online *Grow it Yourself* é possível comprar a bactéria e os substratos, para criar peças com micélio e produtos agrícolas em casa.



Figura 292 Edifício Hi-fy (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 293 Edifício hi-fy (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)



Figura 295 Construção do Hy-Fi (The Creators Project, 2014)

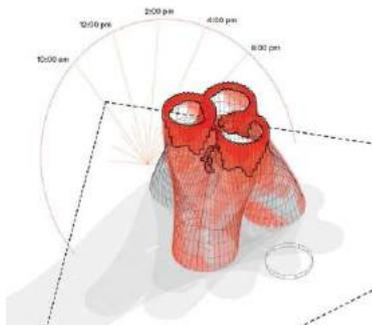


Figura 297 Hy-Fi (The Creators Project, 2014)

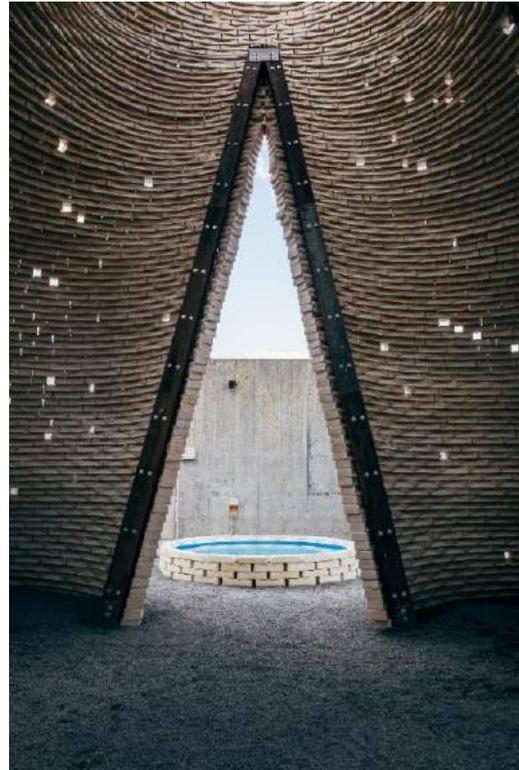


Figura 296 Hy-Fi vista interior (The Creators Project, 2014)

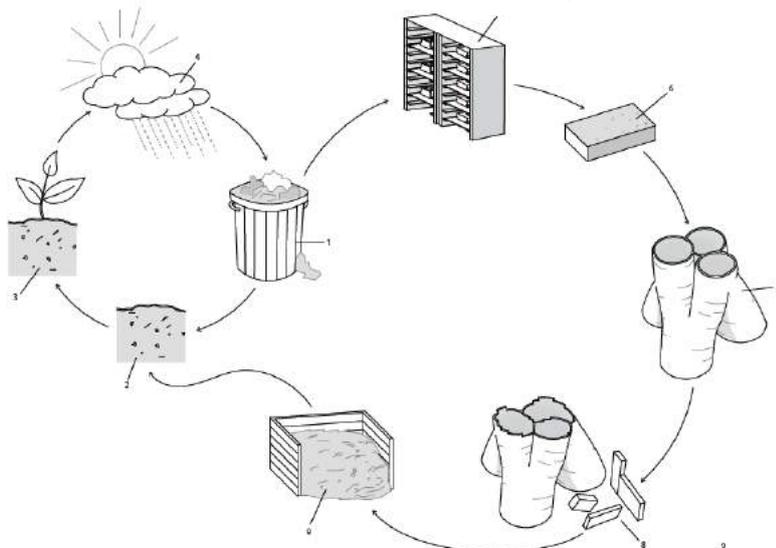


Figura 294 - Reintrodução dos Tijolos no ciclo metabólico regular através da compostagem.

Lixo orgânico; 2 - Solo; 3 - Plantas; 4 - Atmosfera; 5 - Crescimento de tijolos; 6 - tijolo de cogumelo; 7 - Construção civil; 8 - Desconstrução de edifícios; 9 - Compostagem de tijolos. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014)

Tabela 37 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *HY-FI*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>HY-FI</i>									
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo		Resíduo Pós Consumo			Resíduo Industrial					
			✓ Resíduos Agrícolas								
	Processo de transformação		Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração	Reciclagem: Transformação			
	Complexidade		0	0	1	2	3	4			
					✓						
	Potencial de Reintrodução no ciclo		Nulo			Baixo			Alto		
	Bio.		0			1			2		
	Tec.								✓		
	✓										
	Conteúdo Tóxico		Nenhum			Baixo			Alto		
		0			1			2			
		✓									
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km		Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água
		✓				✓		✓			✓
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais				
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓		✓	rugosa	Baço	Opaco ou Translucido	Cinza	Nenhum	

Caso de estudo: MyCoform

Recurso: Micélio de Cogumelos, Resíduo com celulose e Latas de Alumínio

Organismo: Ganoderma lucidum, Ganoderma tsugae, e Ganoderma sichuanense

Aplicação: Blocos de Construção

País: Estados Unidos da América (NY)

Designer: Mitchell Joachim, Maria Aiolova, Oliver Medvedik, Dylan Butman, Greg Mulholland, Terreform ONE, New York City, NY, USA

Tempo de Crescimento: 10 dias

Alimentação: Resíduos orgânicos

Tempo de Vida: Infinito

Densidade: 7.6 lbs/ft³ (variável)

Resistência à compressão: 2–46 kPa com 10% micélio, 496–1,792 kPa at 50% micélio

Classificação de Fogo: Class A (ASTM E84)

Fonte: (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) & (Terreform, sd)



Figura 298 Bloco projetado por Kazuyo Sejima e Ryue Nishizawa / SANAA. (Terreform, sd)

O MyCoForm é um material feito a partir de micélios fúngicos e substratos orgânicos compactados em moldes, com características idênticas aos compósitos usados nos Projeto Hy-fi. A empresa que pretende desenvolver novas tecnologias para a construção tornou-se autossuficiente e mutável (Terreform, sd).

A espécie fúngica utilizada é o *Ganoderma lucidum*, possui enzimas que digerem subprodutos orgânicos à base de celulose. O crescimento rápido de micélios ramificados resulta num material denso, capaz de resistir a cargas e apto para a construção. A substância fúngica e os subprodutos agrícolas são comprimidos, num molde feito de latas de alumínio usadas e compactadas, que funcionam como reforço estrutural (Terreform, sd).

O processo de transformação é idêntico aos compósitos de micélio da *Ecoative*, requer pouca tecnologia e baixa energia, são só necessários alguns instrumentos, subprodutos agrícolas, uma temperatura de 27° e bastante humidade para ativar o material. A tecnologia utilizada é facilmente replicável pelas indústrias do setor da construção, oferecendo uma alternativa mais barata e com menos impacto ambiental que o alumínio e o plástico (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

O 1.º protótipo *Terraforme*, exposto no *New Museum de Nova York*, utilizou uma mistura de carvalho, farelo de trigo, gesso e peróxido de oxigénio e as latas de alumínio como molde (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 299 O bloco de construção Mycoform é feito dos micélios de cogumelos envoltos em folhas de alumínio recicladas (Terreform).

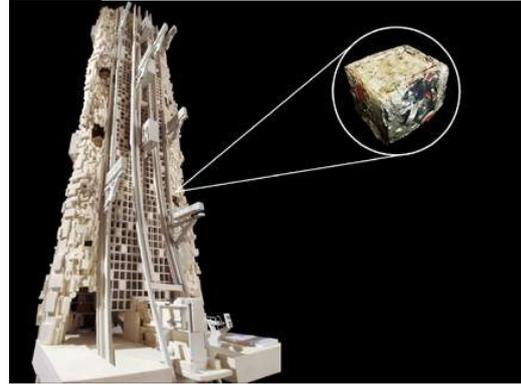


Figura 300 Cidades do futuro poderiam ser construídas a partir de resíduos sólidos municipais (Terreform, sd).

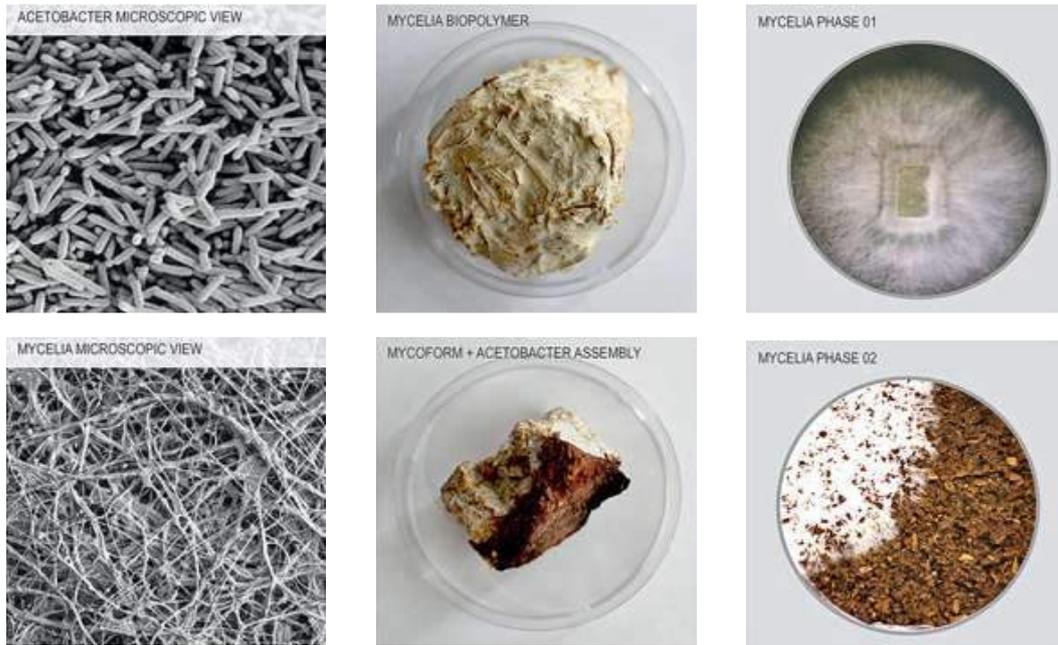


Figura 301 Diferentes etapas do crescimento do micélio (Terreform, sd)

Tabela 38 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *MyCoform*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>MyCoform</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos Agrícolas Variados										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração	Reciclagem: Transformação					
		0	0	1	2	3	4					
	Complexidade			✓								
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo		Baixo			Alto					
		✓ Bio.	Tec				✓					
	Conteúdo Tóxico	Nenhum		Baixo			Alto					
		✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km				
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade			
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Mé dio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água	
		✓				✓		✓			✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais					
	Não inflam ável	Retarda dores de fogo	Inflamá vel	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓			Irregu -lar	Baço	Opaco	Bege	Nenhum	

Caso de estudo: *THE GROWING PAVILION*

Recurso: Resíduos Industrial Agrícola
Organismo: Micélio de Cogumelos
Processo de Transformação: Reutilização Indireta: Cultivo
Retenção de Valor: Superior
Aplicação: Painéis de Construção
País: Holanda
Fabricante: Krown.Bio
Designer: The Living, New York City, NY, USA
Tempo de Crescimento: 15 dias
Tempo de Vida: Infinito
Fonte: (Belle & Robben, 2019) ([Pownall, 2019](#))



Figura 302 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)

O *Growing Pavilion* é uma estrutura temporária desenhada pelo artista Pascal Leboucq, em colaboração com o estúdio Krown Design, de Erik Klarenbeek para Dutch Design Week. O pavilhão distingue-se pelos painéis cultivados com micélio de cogumelos, semelhantes aos compósitos da Ecoative e da MycoForm e aos blocos do projeto Hi-fy e do Projeto MyCoform, e por utilizar apenas materiais biológicos (Pownall, 2019).

A estrutura do pavilhão é em madeira, o chão é constituído por painéis bio-compósitos à base de Typha (planta monocotiledónea) prensados com um bio-polímero, produzidos por Huis Veendam. O mobiliário é de um material bio-compósito semelhante aos AGRICULTURAL WASTE PANELS (página), chamados Eco-Boards fabricados pela empresa Fiction Factory. É um tecido translúcido e impermeável, feito à base de algodão que cobre a parte superior da estrutura, fabricado pela *Tem Cate Outdoor Fabrics*. O designer do pavilhão assemelha-se a um tambor (Belle & Robben, 2019).



Figura 304 Exemplo Painéis de construção leve feitos de uma estrutura esponjosa à base de Typha (Peters, 2012)



Figura 303 Eco-Boards, Fiction Factory (Belle & Robben, 2019).

Para a produção dos painéis da fachada, foram usados subprodutos agrícolas recolhidos localmente e raízes de cogumelos que, posteriormente, foram hidratadas e colocadas em moldes de madeira. No molde, estas raízes repousavam cinco dias em ambiente controlado, à medida que cresciam, uniam-se e colonizavam-se, dando origem a um material sólido branco acastanhado (Belle & Robben, 2019). Os painéis desidratados por meio de calor, foram revestidos com um material impermeável natural (não especificado), para poder ser aplicado ao ar livre.

De acordo com os produtores, este material pode substituir a madeira nos revestimentos, com a vantagem de ser um material com produção local fácil e rápida, sem ser necessário esperar cinquenta anos (tempo de crescimento de uma árvore), dispensando o abate e o transporte. Para além disso, este material tem a propriedade de captar CO₂ ao contrário de outros.

De acordo com Leboucq, os painéis de micélio são muito leves e são bons isoladores em termos de temperatura e som. Cada painel pode ser reparado ou reutilizado noutra local depois que da estrutura ser removida, ou podem ser devolvidos à biosfera (Pownall, 2019).



Figura 305 THE GROWING PAVILION (Pownall,



Figura 306 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)



Figura 308 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)



Figura 307 THE GROWING PAVILION (Pownall, 2019)

Tabela 39 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo THE GROWING PAVILION

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>THE GROWING PAVILION</i>										
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial					
		✓ Resíduos Agrícolas Variados										
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração:	Reciclagem: Transformação:					
	Complexidade	0	0	1	2	3	4					
				✓								
	Potencial de Reintrodução no Ciclo	Nulo		Baixo			Alto					
		✓ Bio	Tec.				✓					
Desempenho Funcional	Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo			Alto				
		✓										
	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km		Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km				
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade					
		Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água
		✓					✓		✓			✓
		Resistência ao fogo			Durabilidade		Propriedades Sensoriais					
		Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓		Irregular	Baço	Opaco	Bege	Nenhum		

Caso de estudo: *DECAFÉTILES*

Recurso: Borra de Café

Aplicação: Acabamento

País: Estados Unidos da América (NY)

Fabricante e Designer: Raul Lauri
Design Lab

Medida padrão:

Densidade: (variável)

Propriedades relevantes: não resistente á água, material não condutivo



Figura 309 *DECAFÉTILES* (Peters, 2012)

Para fazer um café apenas se utiliza 0.2 % da biomassa dos grãos, o resto, 99.8%, é desperdiçado (Brito, s.d.). As borras de café são consideradas resíduos orgânicos e geralmente são enviadas para aterros onde se decompõem (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Com o intuito de dar um novo uso a estes resíduos, o designer Raul Lauri desenvolveu um novo material a partir das borras de café, que são um agente de ligação natural, um bio-resina não especificada. O processo de transformação é simples, a borra de café é triturada com o agente de ligação natural e a mistura é pressionada sob calor nas formas desejadas, usando moldes pré-fabricados (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014) (Peters, 2012). A cor e o aroma do café permanecem no material, despertando sensações olfativas, táteis e visuais. O material deve ser usado como acabamento interior (paredes, tetos, balções, pois, não é resistente à água, e, como é um material orgânico, pode estar sujeito a alterações de cor e aparecimento de fungos (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



Figura 311 Abajures de borra de café (desenho: Raúl Lauri) (Peters, 2012)



Figura 310 Mesa feita de pó de café (design: Julian Lechner) (Peters, 2012)

Tabela 40 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *HY-FI*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>HY-FI</i>									
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial				
		✓ Borra de Café									
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração:	Reciclagem: Transformação:				
	Complexidade	0	0	1	2	3	4				
						✓					
	Potencial de Reintrodução no ciclo	Nulo			Baixo			Alto			
	Bio	Tec						✓			
Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo			Alto				
	✓										
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km			Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água
	✓			✓			✓				✓
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais				
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
		✓		✓	Rugosa	Brilhante	Opaco	Castanho	Café		

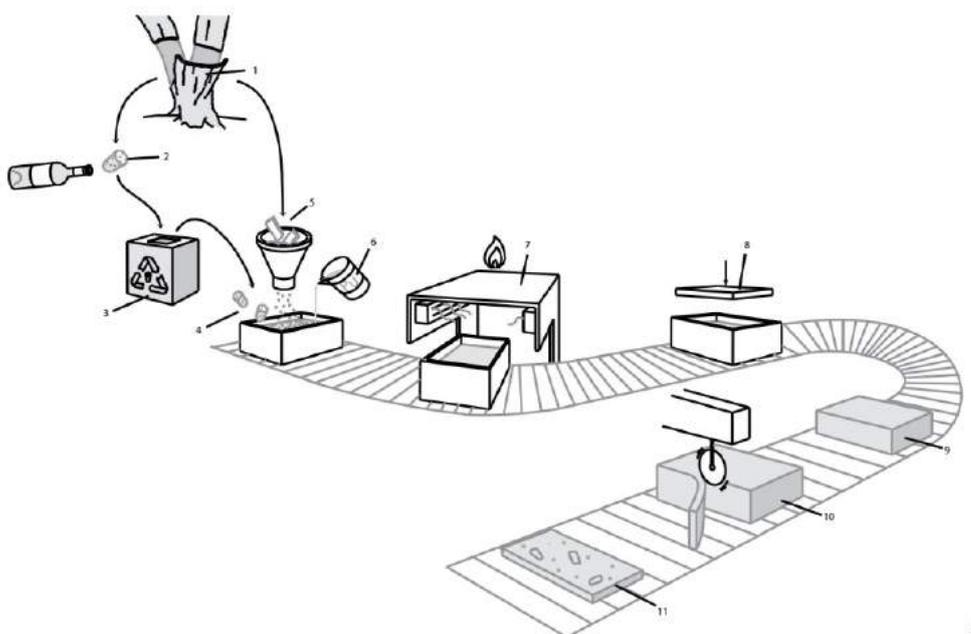
Caso de estudo: *WINE CORK TILES*

Recurso: Rolhas de garrafa de vinho
Aplicação: Painéis de acabamento
País: Estados Unidos da América
Fabricante e Designer: Yemm & Hart Green Materials, Marquand, MO, USA
Medidas padrão: 300 mm x 300mm até 600 mm x 900 mm
Espessura Padrão: 4,8 mm (folheado) ou 6-152 mm (folha)
Densidade: 320 kg / m³
Compressibilidade com 689 Kpa: 15-30% (F36)
Classificação de Fogo: Fire-resistant (E136)



Figura 312 WINE CORK TILES (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

As rolhas de cortiça como são um resíduo pequeno, geralmente são negligenciadas pelos programas municipais de reciclagem, apesar de ser um material caro e de alta qualidade. A empresa Yemm & Hart desenvolveu um método de reutilizar as rolhas inteiras para a produção de painéis, usando a cortiça granulada para o preenchimento dos espaços vazios, um subproduto da produção de cortiça. É acrescentada à mistura um adesivo aglutinante de poliuretano de qualidade alimentar para ser aquecida e prensada em moldes e, finalmente, cortada em azulejos ou novamente em rolhas. Este material é adequado para revestimento de interiores e isolamento dos edifícios (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).



1 - Casca de sobreiro; 2- Rolhas; 3 - Recolha para reciclagem; 4 - Rolhas inteiras recicladas; 5 - Resíduos de cortiça granulada; 6 - Aglutinante de poliuretano de qualidade alimentar; 7 - Forno de cura; 8 - Prensa 9 bloco de cortiça; 10 - Corte de folhas e folheado; 11 - Azulejo

Figura 313 - Processo de produção WINE CORK TILES. (Hebel, Wisniewska, & Heisel, 2014).

Tabela 41 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *WINE CORK TILES*

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>WINE CORK TILES</i>									
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial				
		✓ Resíduos Agrícolas									
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração:	Reciclagem: Transformação:				
	Complexidade	0	0	1	2	3	4				
						✓					
	Potencial de Reintrodução no ciclo Bio. Tec.	Nulo		Baixo		Alto					
		✓				✓					
Desempenho Ambiental	Conteúdo Tóxico	Nenhum			Baixo		Alto				
		✓									
	Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km		Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água
		✓				✓		✓		✓	
	Resistência ao fogo			Durabilidade		Propriedades Sensoriais					
	Não inflamável	Retarda dores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Briho	Transparência	Cor	Odor	
		✓	✓		Rugosa	Baço	Opaco	Castanho	Nenhum		

Caso de estudo: SUNFLOWER ENTREPRISE

Recurso: Resíduos de Girassol
Aplicação: Painéis de acabamento
País: Holanda
Fabricante e Designer: Thomas Vailly
Medidas padrão: 300 mm x 300mm até 600 mm x 900 mm



Figura 314 - *Sunflower Entreprise* (Hitti, 2019)

O designer Thomas Vailly juntamente com cientistas do laboratório *École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques Et Technologiques* (ENSIACET) exploraram possibilidades dos resíduos de girassol se tornarem novos biomateriais com múltiplas funções desde objetos a painéis de isolamento para edifícios.

O projeto teve como premissa desenvolver um novo material a partir da biomassa do girassol sem adicionar outros materiais ou aditivos (Hitti, 2019).

A cultura do girassol utiliza apenas o centro da flor de onde são extraídas as sementes, estas passam por processos produtivos que dão origem ao óleo de girassol. Este processo tem como subproduto o bolo de prensagem, uma substância concentrada geralmente utilizada como ração animal, mas pode ser transformada num adesivo natural ou num material semelhante ao couro, quando prensada (Hitti, 2019).

Os caules e a restante biomassa da planta são recolhidos pelo designer que separa as cascas e a estrutura esponjosa da planta (Hitti, 2019). As fibras das cascas são prensadas em cartão. A estrutura esponjosa da planta é combinada com a cola que resultou do bolo de prensagem, assim, é possível formar um compósito leve e espumoso com propriedades equivalentes ao poliestireno (Hitti, Thomas Vailly *uses sunflowers to make bio-based materials*, 2019) (Vailly, 2017).

O designer afirma que o adesivo natural à base de girassol pode ser a matriz de diversos bio-compósitos verdes, que podem também ser revestidos com verniz de girassol para se tornarem impermeáveis. Acrescenta ainda que os biomateriais não devem ser vistos como substitutos de materiais sintéticos, mas sim como materiais com características diferentes que devem ser exploradas. (Hitti, 2019) (Vailly, 2017).

Tabela 42 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo *SUNFLOWER ENTREPRISE*.

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>SUNFLOWER ENTREPRISE</i>									
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo		Resíduo Pós Consumo				Resíduo Industrial				
							✓ Resíduos da Cultura de Girassol				
	Processo de transformação		Reutilização Indireta simples	Reutilização Indireta: Design:	Reciclagem: Cultivação:	Reutilização Indireta: Densificação:	Reciclagem: Reconfiguração:	Reciclagem: Transformação:			
	Complexidade		0	0	1	2	3	4			
							✓				
	Potencial de Reintrodução no ciclo		Nulo		Baixo		Alto				
	Bio. Tec.		0		1		2				
							✓				
Conteúdo Tóxico		Nenhum		Baixo		Alto					
		✓									
Disponibilidade e Proximidade local		Não está disponível 0		Disponibilidade num Raio de 10 km		Disponibilidade num raio de 25 km		Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água	Hidrofilico não resistente à água
	✓					✓		✓	Quando aplicado verniz de girassol ✓		
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais				
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável	Textura	Brilho	Transparência	Cor	Odor	
			✓	✓		Rogosa	Baço	Opaco	Bege e Esverdeado	Nenhum	

Caso de estudo: *Chip[s] Board*

Recurso: Resíduos de Girassol
Aplicação: Painéis de acabamento
País: Holanda
Fabricante e Designer: Thomas Vailly
Medidas padrão: 300 mm x 300mm até 600 mm x 900 mm



Figura 318 - *Chip [s] Board* (Minkley & Nicoll, 2018)

Os designers Rowan Minkley e Robert Nicoll desenvolveram um material a partir de cascas de batata, uma alternativa mais sustentável e que pode substituir materiais como o MDF e embalagens de plástico (Hitti, 2018).

O *Chip[s] Board* é um bio-compósito verde e não contém na sua composição formaldeído ou aditivos tóxicos ao contrário do MDF. O material é produzido com um adesivo de amido de batata e misturado com fibras de batata, bambu, madeira ou lúpulo.

A mistura é prensada por meio de calor e pode ser moldada em diversas formas e exercer diversas funções. É um material não resistente à água, mas pode ser adicionado um verniz natural para o tornar impermeável (Hitti, 2018).

Após a sua vida útil, os produtos são enviados para a compostagem e são usados como fertilizante na quinta onde as matérias primas foram obtidas (Hitti, 2018).

Os designers optaram por não revelar pormenores sobre o método de produção e assinaram uma patente, embora afirmem que se assemelha à produção de MDF (Hitti, 2018).

Atualmente, os designers estão focados na produção de outros materiais sustentáveis como os produtos de bioplásticos derivados de matéria prima como a farinha de noz, farinha de pinheiro e a curcumina (Minkley & Nicoll, 2018).



Figura 319 *Chip [s] Board* (Minkley & Nicoll, 2018).



Figura 320 Bioplásticos desenvolvidos pela empresa Chip [s] Board de Rowan Minkley e Robert Nicoll

Tabela 43 Avaliação de acordo com os parâmetros seleção de materiais com recurso a resíduos industriais e pós consumo: Caso de estudo

Parâmetros de Seleção		CASO DE ESTUDO: <i>Chip [s] Board</i>														
Desempenho Ambiental	Tipologia do Resíduo	Resíduo Pós Consumo					Resíduo Industrial									
		✓ Cascas de Batata														
	Processo de transformação	Reutilização Indireta simples		Reutilização Indireta: Design:		Reciclagem: Cultivação:		Reutilização Indireta: Densificação:		Reciclagem: Reconfiguração:		Reciclagem: Transformação:				
	Complexidade	0		0		1		2		3		4				
										✓						
	Potencial de Reintrodução no ciclo biológico	Nulo				Baixo				Alto						
		0				1				2						
										✓						
	Conteúdo Tóxico	Nenhum				Baixo				Alto						
		0				1				2						
	✓															
Disponibilidade e Proximidade local	Não está disponível 0				Disponibilidade num Raio de 10 km				Disponibilidade num raio de 25 km				Disponibilidade num raio de 50 km			
Desempenho Funcional	Capacidade de Resistência mecânica			Desempenho térmico			Desempenho acústico		Resistência à Água e Humidade							
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Alto	Impermeável	Hidrofilico, resistente à água		Hidrofilico não resistente à água				
	✓			✓			✓					✓				
	Resistência ao fogo			Durabilidade			Propriedades Sensoriais									
	Não inflamável	Retardadores de fogo	Inflamável	Durável	Não Durável		Textura	Brilho	Transparência		Cor	Odor				
			✓	✓			Rugosa	Baço	Opaco		Castanho	Nenhum				

3.9. RECURSOS NA CIDADE DE LISBOA

Nesta secção é identificada, no contexto da Cidade de Lisboa, a disponibilidade dos recursos utilizados nas soluções construtivas estudadas na secção anterior, como forma de viabilizar a sua reprodução no contexto do projeto final de arquitetura. Atendendo ao já referido, a utilização de recursos locais é essencial para o desenvolvimento da economia local e para a redução dos impactes associados à indústria de construção e aos próprios materiais. Idealmente, todos os materiais utilizados num edifício são obtidos localmente, identificados em passaportes e monitorizados ao longo da vida útil com o auxílio de modelos BIM, libertados no final da vida útil do edifício e reinseridos no mercado local. Como verificado no capítulo anterior, é possível estabelecer várias redes de valor na cidade incentivando relações e trocas benéficas entre indústrias, através de sistemas de georreferenciação e análises de fluxo baseadas em atividade como forma de garantir que todos os componentes e materiais estão sempre a circular na economia, no valor mais alto possível e otimizando o metabolismo da cidade.

A identificação de fontes de recursos locais deve, portanto, ser priorizada na fase de projeto. Nesta dissertação os recursos são mapeados de acordo com os critérios de proximidade definidos no Anexo I, e todos os estabelecimentos que operam com os fluxos de resíduos em estudo, num raio máximo de 40km com centro na área de intervenção, que se localiza na Cidade Universitária de Lisboa (tabela).

Neste capítulo os casos de estudo foram divididos em cinco grupos, de acordo com a sua natureza: plástico, papel, madeira, aço/alumínio, e resíduos agrícolas. Dentro de cada grupo existem diferentes tipos de resíduos identificados na tabela 44, assim como as etapas relevantes na gestão destes resíduos, os autores envolvidos e os locais potenciais onde se pode obter estes resíduos na cidade de Lisboa.

Importa salientar que os resíduos pós consumo urbano (garrafas, latas, objetos e alimentos) são colocados nos contentores indiferenciados ou de reciclagem, recolhidos por coletores municipais e encaminhados para os respetivos centros de tratamento e valorização de resíduos. Nos centros, são triados e encaminhados para o aterro, para valorização energética ou para a reciclagem. Portanto, são os locais mais propensos para se obter resíduos urbanos em grandes quantidades, contudo, os arquitetos ou as empresas de materiais de construção podem organizar recolhas independentes junto das famílias e nos estabelecimentos que costumam usar este tipo de produtos.

Os objetos que possuem uma vida útil maior (portas, mesas, cadeiras, utensílios de cozinha) podem ser encontrados em lojas de segunda mão ou em plataformas online como o OLX e o Repositório de Materiais.

No caso dos resíduos industriais, o melhor local para obter estes resíduos é na própria empresa que os gera, desta forma, os arquitetos, empreiteiros ou as empresas de materiais de construção podem estabelecer uma relação benéfica com a indústria que produz o desperdício.

No mapa de colheita são identificados os potenciais locais para obter determinado resíduo na cidade de Lisboa, e identificando o raio de proximidade. É atribuído um símbolo a cada tipo de resíduo. No caso de haver disponível um número significativo de locais onde se pode obter determinado resíduo, são apenas identificados os locais mais próximos.

Após a realização do mapa de colheita, pode-se concluir que todas as soluções construtivas estudadas utilizam como recurso resíduos que são gerados num raio muito próximo da área de intervenção. Isto deve-se ao facto de os fluxos de resíduos serem gerados de forma recorrente pela sociedade independentemente do país ou região, salvo algumas exceções como os resíduos da cultura de girassol, ou da cultura de cereais. Desta forma, pode-se afirmar que a matéria prima necessária para replicar as soluções construtivas pode ser obtida com facilidade no contexto da cidade de Lisboa.

Tabela 44 I identificação das etapas relevantes da cadeia produtiva, autores envolvidos, e locais para se obter a matéria prima em Lisboa.

	Tipologia do resíduo e Simbologia	Etapas relevantes da cadeia produtiva	Atores Envolvidos	Locais Onde Obter Matéria Prima	Potenciais Locais onde se pode obter a matéria prima em Lisboa	
PLÁSTICO	R. PÓS CONSUMO	Garrafas PET Descartadas 	→ Consumo → Recolha → Triagem → Tratamento de Resíduos	→ Famílias, → Restauração → Coletores Municipais → Empresas de Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente junto dos consumidores e da restauração. → Empresas de tratamento de resíduos urbanos.	Empresas de Tratamento de Resíduos: → Europac. Recicla Lisboa; Pero Pinheiro → Centro de Triagem e Ecocentro do Lumiar → Judite Maria Jesus Dias-Operações de Gestão de Resíduos; Camarate → Amarsul - Ecocentros e Ecoparques (Almada, Moita Lavradio, Montijo, Setúbal, Palmela, Alcochete e Seixal.) → Valorsul - Valorização Trat. Resid. Sólidos Regiões Lisboa, São João da Talha → Stericycle Torres Vedras (resíduos industriais equiparados a urbanos) → Urbereciclar - Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos Lda, Milharado → Tratulixo - Tratamento Resíduos Sólidos Eim - Emp. Intermunicipal, S.A; São Domingos de Rana → Resotrans-recolha e Transporte de Resíduos Sólidos, Lda; Frielas → Arte-entulhos-recolha E Transporte De Resíduos Sólidos Lda → CIRVA, A.C.E., Porto salvo → Recipolymers, Reciclagem de Polímeros, S.A.; Arranhó Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados): → Restaurantes → Cafés → Casas particulares
	Resíduos de Plástico Diversos 	→ Consumo, → Recolha, → Triagem, → Tratamento de Resíduos	→ Famílias, Empresas de construção demolição, → Restauração, → Coletores Municipais, Empresas de Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente consumidores e da restauração. → Empresas de tratamento de resíduos.		
	Sacos de Plástico 	→ Consumo, → Recolha, → Triagem, → Tratamento de Resíduos	→ Famílias, → Coletores Municipais, → Empresas de Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente consumidores e da restauração. → Empresas de tratamento de resíduos.		
	Embalagens de conservar comida 	→ Consumo → Recolha → Triagem → Tratamento de Resíduos	→ Famílias, → Restauração → Coletores Municipais, Empresas de Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente consumidores e da restauração. → Empresas de tratamento de resíduos.		
R. INDUSTRIAL	Resíduos de Impressoras de Autocolantes 	→ Produção de Papel Adesivo → Impressão e Corte do Adesivo final → Desperdícios → Recolha → Tratamento de Resíduos	→ Gráficas, → Lojas de Autocolantes, Serigrafias; → Coletores Municipais, → Tratamento de Resíduos	→ Gráficas, → Lojas de Autocolantes; Serigrafias	Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas: → Cópia Igual- Centro de Informática, cópias e Papelaria, Lda, Benfca → LET'S COPY - Printshops; Saldanha → Azul e Amarelo, Centro de Cópias e Impressão, Chelas → Copy Campus; Alta de Lisboa → Mar de Cópias, Algés → Diolicopia-Centro De Copias, Lda; Benfca → Zoomcópia, Saldanha → Centro de Cópias Arco Íris de Pedro Proença, Lda, Campo P. → CopyCenter Centro de Cópias; Cid.Un. → Reprografia Comercial Planeta Colorido, Campo Grande	
PAPEL	R. PÓS CONSUMO	Resíduos de Papel Diversos 	→ Consumo, → Recolha, → Triagem, → Coletores Municipais, → Tratamento de Resíduos	→ Empresas de impressão gráfica e Reprografias; Super Hiper e Minimercados; → Consumidores → Coletores Municipais → Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente em Empresas de impressão Gráfica e Reprografias Mercados ou Consumidores. → Empresas de tratamento de resíduos.	Empresas de Tratamento de Resíduos: → Europac. Recicla Lisboa; Pero Pinheiro → Centro de Triagem e Ecocentro do Lumiar → Judite Maria Jesus Dias-Operações de Gestão de Resíduos; Camarate → Amarsul - Ecocentros e Ecoparques (Almada, Moita Lavradio, Montijo, Setúbal, Palmela, Alcochete e Seixal.) → Valorsul - Valorização Trat. Resid. Sólidos Regiões Lisboa, São João da Talha → Stericycle Torres Vedras (resíduos industriais equiparados a urbanos) → Urbereciclar - Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos Lda, Milharado → Tratulixo - Tratamento Resíduos Sólidos Eim - Emp. Intermunicipal, S.A; São Domingos de Rana → Resotrans-recolha e Transporte de Resíduos Sólidos, Lda; Frielas

DE RESÍDUO A ELEMENTO ARQUITETÓNICO

		<p>Embalagens TetraPack</p> 	<p>→Consumo, →Recolha, →Triagem, →Coletores Municipais, →Tratamento de Resíduos</p>	<p>→Famílias, →Restauração →Coletores Municipais, →Empresas de Tratamento de Resíduos</p>	<p>→Organizar uma recolha independente, em Restaurantes, Cafés; Casas Particulares. →Empresas de tratamento de resíduos.</p>	<p>→ Arte-entulhos-recolha E Transporte De Resíduos Sólidos Lda →CIRVA, A.C.E., Porto salvo →Gráficas (ver Adesivos Resíduos de Impressoras de Autocolantes) Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados) Disponibilidade ≤10 km: →Restaurantes →Cafés →Casas particulares</p>
R. INDUSTRIAL		<p>Resíduos do Corte de Cartão</p> 	<p>→Produção de cartão →Indústria de produtos derivados de cartão</p>	<p>→Empesa de produtos derivados de cartão (preparação; corte)</p>	<p>→Empesa de produtos derivados de cartão</p>	<p>Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (empresas de produtos derivados de cartão): → Sacopor-Sociedade de Embalagens e Sacos de Papel S.A, Pior Velho → Cartemal-Cartonagens e Artigos de Papelaria Lda, Benfica →Antunes & Piorla Lda, Charneca → Lamina-Indústria Transformadora de Materiais de Embalagem Lda., Bobadela → Multicaixa - Equipamentos e Consumíveis de Embalagem, Lda, São Domingos de Rana →Embacar-Embalagens De Cartão Para A Agricultura, Lda., Unhos →Globespan-Indústria De Cartão, S.A., Linda a Pastora →Carbion Portuguesa - Cartão Bi-Ondulado, Lda., Campo P. →Cart - Cartonagens E Transformados De Papel E Cartão, Lda, Odivelas</p>
		<p>Jornais mal impressos</p> 	<p>→Impressão de Jornais (Desperdício) →Consumo →Descarte →Recolha →Tratamento de Resíduos</p>	<p>→Empresas de Impressão Gráfica; →Retalho (jornais que não foram vendidos) →Consumidores</p>	<p>→Empresas de Publicação →Jornalísticas e Impressão gráfica →Organizar uma recolha independente, junto dos consumidores (pós uso; neste caso o jornal deve permanecer intacto) ou em Pontos de Venda</p>	<p>Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (empresas de publicação jornalística): →SEJR - Sociedade Editora de Jornais e Revistas, Lda. →Journal I, Beato →O Jornal Económico →O Emigrante - MUNDO PORTUGUÊS Observador, Campo Grande →Olagarroa Publishing, Lda, Campolide →Diário de Notícias, Benfica →Sábado, Jornal Record e Jornal de Negócios, Benfica →Empresa Gráfica Funchalense, Sintra Quiosques, Bares, Papelarias (não mapeado) Disponibilidade ≤10 km Consumidores (não mapeado) Disponibilidade ≤10 km</p>
MADEIRA	R. PÓS CONSUMO	<p>Portas, moveis e precianas usadas</p> 	<p>→Consumo →Recolha →Triagem →Lojas de Segunda Mão →Tratamento de Resíduos</p>	<p>→Coletores →Revendedores</p>	<p>→ Lojas de Segunda Mão →Demolição e Remodelação de Edifícios Plataformas Online</p>	<p>Lojas de segunda Mão: →Móveis Usados E Restaurados, Arrentela →Antiguidades E Velharias, Almada →Top Usados, Comercio De Artigos →Usados, Olival Basto →Tchiule - Antiguidades e Móveis Usados, Campolide →Móveis Usados ASO, Vila Cândida →Móveis Da Casa Zuzarte Lda, Santa Cruz Demolição Desmontagem Remodelação de Edifícios: →Montagil Demolições, Unipessoal, Lda, Olival Basto → DOMIPLANA - Terraplanagens E Materiais de Construção, LDAAMGC, UNIPESSOAL, LDA, Beato →LiftUp DEMOLIÇÕES, S.A., Alverca do Ribatejo →AMBIGROUP DEMOLIÇÕES, S.A., Arranhó →MAQUIGAVINHA - Aterros e Desaterros, →LDAABIMAPE - Sociedade de Construções E Terraplanagens, LDA, Alvalade →Miguel Duarte Pimentel, Demolições, Lda. →Demotri, Demolições, Reciclagem e Construção S.A, Odivelas →Luzipereira - Demolições E Terraplanagens, Lda., Bararena →Manobras De Génio - Demolições E Terraplanagens, Lda, Camarate Plataformas Online como o OLX Repositório de Materiais (não mapeado)</p>
		<p>Caixas de Fruta</p> 	<p>→Uso pela Indústria (transporte de fruta) →Descarte das Caixas,</p>	<p>→Produtores de Fruta, Empresas de distribuição de Fruta, Super, Hiper e Minimercados, →Coletores, Empresas de</p>	<p>→Organizar uma recolha independente: nas Empresas de distribuição de Fruta, Supre Hiper e Minimercados →Empresas específicas para recuperação e</p>	<p>Empresa especializadas na recuperação de embalagens de madeira: →Antalves - Paletes E Embalagens De Madeira, Lda, Pêro Pinheiro →Recopal - Recuperação e Comercialização de Paletas, Lda. Organizar uma recolha independente: nas Empresas de distribuição de Fruta, Super,</p>

DE RESÍDUO A ELEMENTO ARQUITETÓNICO

AÇO E ALUMÍNIO	R. INDUSTRIAL		→ Tratamento de Resíduos	Tratamento de Resíduos	valorização destes resíduos	Hiper e Minimercados (não mapeado) Disponibilidade ≤10 km
		Paletes 	→ Uso pela Indústria (Transporte de Bens), → Descarte, → Recolha, → Tratamento de Resíduos	→ Empresas de distribuição de bens (retalho); → Coletores; → Empresas de → Tratamento de Resíduos	→ Organizar uma recolha independente: → Empresas de distribuição; → Empresas de tratamento de resíduos.	Empresa especializadas na recuperação de paletes: → Renasxer, Frielas → Manjos Rec. Recuperação e Fabrico de Estruturas de Madeira, Lda, Alverca do Ribatejo e Loures → Antalves - Paletes E Embalagens De Madeira, Lda, Pêro Pinheiro → Recopal - Recuperação e Comercialização de Paletas, Lda. → Marquesapal-comércio De Paletes E Produtos Recicladoss Lda
		Resíduos e aparas da Indústria de produtos derivados de madeira 	→ Produção de produtos derivados de madeira, → Tratamento de Resíduos	→ Indústria de derivados de madeira; → Empresas de Tratamento de Resíduos	→ Carpintarias → Empresas de tratamento de resíduos de madeira	Empresa de tratamento especializada de Resíduos de Madeira: → MDB Gestão de Resíduos Lda Av. Infante Dom Henrique → AMBIGROUP DEMOLIÇÕES, S.A., Arranhó Carpintarias: → Carpintel-carpintaria E Construções Lda → Vítor Luís Santos - Carpintarias e Marcenarias → Carpintaria E Marcenaria Grilo Lisbonense, Lda, Beato → Carpintaria Lino & Filhos, Lda., Campo Grande → Carpintaria Vasco Oliveira, Amoreiras → Renasxer, Frielas Empresas de especializadas na remodelação e demolição de edifícios descritas na linha das portas janelas e precianas
	Resíduos florestais 	→ Exploração Florestal; Colheita;	→ Produtores Florestais	→ Organizar uma recolha independente em zonas florestais. → Empresas especializadas na limpeza e gestão de resíduos florestais	- Empresas de gestão de resíduos Florestais: → AJ Manata Jardins, Sintra → BIOLOSE, Alverca do Ribatejo → FORESTECH - TÉCNOLOGIAS FLORESTAIS, S.A. - Organizar uma recolha independente em zonas florestais	
	Contentores industriais 	→ Indústria (transporte de Bens), → Coletores, → Tratamento de Resíduos (Sucata)	→ Empresas de Retalho e Transporte de Mercadorias, Descarte, → Recolha, → Tratamento de Resíduos (Sucata)	→ Portos Marítimos, Centros de Distribuição; → Empresas Tratamento de Resíduos (Sucata)	Empresas Tratamento de Resíduos (Sucata): → Sucatas do Casal do Marco, Lda, Charneca da Caparica Rodrigo Manuel Soares & Filhos Lda., Arranhó → Recintra, Ferro-Velho, Beato → Tratosucatas - Indústria e Comércio de Sucatas Metálicas, Ida, Beato → J. Anselmo Costa Reciclagem De Sucatas, Belas → R&P - Tratamento de Resíduos, Lda, Sacavém Mário Guiomar - Gestão de Resíduos, → Lda, Sacavém Armando Jesus Antunes, Ferro-Velho, Sacavém → R.S.O. - RECICLAGEM, SUCATAS → OUTEIRENSE, S.A., LumiarCORACÃO D'AÇO → Reciclagem de Sucatas, Unipessoal, LDA, → Camarate CORAÇÃO D'AÇO - Reciclagem de Sucatas, Unipessoal, LDA, Camarate	
	Molas da Colchões 	→ Consumo, → Descarte, → Recolha, → Tratamento de Resíduos.	→ Coletores Municipais, → Empresas de Tratamento de Resíduos.	→ Organizar uma recolha independente junto dos Consumidores → Empresas de tratamento de resíduos	Empresas de Tratamento de Resíduos: → Europac. Recicla Lisboa; Pero Pinheiro → Centro de Triagem e Ecocentro do Lumiar → Judite Maria Jesus Dias-Operações de Gestão de Resíduos; Camarate → Amarsul - Ecocentros e Ecoparques (Almada, Moita Lavradio, Montijo, Setúbal, Palmela, Alcochete e Seixal.) → Valorsul - Valorização Trat. Resid. Sólidos Regiões Lisboa, São João da Talha → Stericycle Torres Vedras (resíduos industriais equiparados a urbanos) → Urbereciclar - Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos Lda, Milharado → Tratulixo - Tratamento Resíduos Sólidos Eim - Emp. Intermunicipal, S.A; São Domingos de Rana → Resotrans-recolha e Transporte de Resíduos Sólidos, Lda; Frielas → Arte-entulhos-recolha E Transporte De Resíduos Sólidos Lda → CIRVA, A.C.E., Porto salvo Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados) Disponibilidade ≤10 km: → Restaurantes → Cafés → Casas particulares	
	R. PÓS CONSUMO	Latas de Refrigerantes 	→ Consumo, → Descarte, → Coletores Municipais, → Tratamento de Resíduos.	Coletores Municipais, Empresas de Tratamento de Resíduos.	Tratamento de Resíduos	

RESÍDUOS AGRÍCOLAS	R. INDUSTRIAL	Resíduos do corte e serralharia 	→Serralharias, →Descarte, →Tratamento de Resíduos (sucata)	→, Tratamento de Resíduos (sucata)	→Serralharias	Serralharias →Pasevil-serralharia Civil Lda, →CoínaBernardo A Lopes Lda.Alfragide →Alubel-Serralharia Civil Lda, XabregasFervidal, Olival Basto →Serralharia Das Lopas Lda., Belas →Bernardo A Lopes Lda.AlfragideAlubel-Serralharia Civil Lda, Xabregas →Serralharia Progresso Do Poço Dos Mouros Lda, Santa CruzSilva & Amorim-serralharia Civil Lda, Beato →Serralharia Civil Jorge Gomes , Olival Basto →Nubertal - Serralharia Civil e Caixilharia de Alumínios, Olival Basto →Carlos A. Lacerda - Serralharia Civil, Lda, Benfica →Serlhinhanques - Serralharia Civil, Unipessoal Lda, São Marcos
	R. PÓS CONSUMO	ROLHAS DE VINHO 	→Consumo, Recolha, →Triagem, →Tratamento de Resíduos orgânicos	→Famílias →Tratamento de Resíduos	→Organizar uma recolha independente: famílias Empresas de tratamento de resíduos.	Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados) Não Mapeado – Disponibilidade ≤10 km →Restaurantes →Cafés →Casas particulares
		BORRA DE CAFÉ 	→Consumo, →Descarte, →Coletores Municipais →Tratamento de Resíduos Orgânicos	→Famílias, →Restauração; →Coletores Municipais; →Empresas →Tratamento de Resíduos	→Organizar uma recolha independente: →Famílias, Restauração, Cafetarias.	Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados) Não Mapeado – Disponibilidade ≤10 km →Restaurantes →Cafés →Casas particulares
		CASCA DE BATATA 	→Consumo, →Descarte, →Coletores Municipais →Tratamento de Resíduos Orgânicos	Produção de Derivados de Batata; Empresas de distribuição de bens(retalho); Coletores; Empresas de Tratamento de Resíduos	Organizar uma recolha independente: Famílias, Restauração Produção de Derivados de Batata	Produção de Derivados de Batata: →F. B. F. - Fábrica de Batatas Fritas Lda Locais onde quantidades significativas destes resíduos são geradas (não mapeados) Não Mapeado – Disponibilidade ≤10 km →Restaurantes →Cafés →Casas particulares
	R. INDUSTRIAL	Resíduos agrícolas variados como: palha e cascas de trigo, arroz, cevado milho, aveia, amendoim 	→Produtores (agricultura), →Descarte nos campos de cultivo ou inceneração, Indústria de Derivados	→Produtores de culturas; → Indústrias de Derivados	→Organizar uma recolha independente →Produtores →Empresas de produtos derivados, como farinha flocos	Hortas Urbanas (foram mapeadas algumas hortas urbanas, mas existem 40 hortas urbanas na zona metropolitana de lisboa e a sua maioria localiza-se a menos de 10 km da área de intervenção): →Parque Hortícola Telheiras →Parque Hortícola Quinta da Granja →Parque Hortícola Bensaúde →Parque Hortícola de Campolide: →Parque Hortícola do Casal Vistoso Cerealicultura →Farinhas Firmos, Moagem de Cereais, Lda, Colares →Belsuino - Agro-Pecuária da Serra de Cambra, Lda →GRANEL - MOAGEM DE CEREAIS, S.A. VILA FRANCA XIRA
		Resíduos da cultura de Girassol 	→Produtores da cultura do girassol →Produção de produtos derivados	→Produtores, →Produtores de produtos derivados →Armazenamento →Tratamento de resíduos	→Organizar uma recolha independente em zonasde plantação. →Empresas de produtos derivados, como óleo de girassol.	Plantação: →Parque Hortícola Telheiras →Parque Hortícola Quinta da Granja →Parque Hortícola Bensaúde →Parque Hortícola de Campolide: →Parque Hortícola do Casal Vistoso Empresas de produtos derivados: →Sovena Group, Instalações Industriais, Barreiro

10 KM

- | | | | |
|--|--|--|--|
| 1 CTE - Centro de Triagem e | | 25 AMG, UNIPESSOAL, LDA, | |
| 2 Europa & C Recicla Lisboa DS | | 26 Montaji Demolições, Unipessoal, Lda, Olival Basto | |
| 3 Judite Maria Jesus Dias-Operações de Gestão de Resíduos Sólidos, Lda | | 27 ABIMAPE - Sociedade de Construções E Terraplanagens, LDA, Alvalade | |
| 4 Repografica Comercial Planeta Colorido, Campo Grande | | 28 Manobras De Génio - Demolições E Terraplanagens, Lda, Camarate | |
| 5 CopyCenter Centro de Cópias, Cid.Un. | | 29 Demotri, Demolições, Reciclagem e Construção S.A, Odivelas | |
| 6 Centro de Cópias Arco Iris de Pedro Proença, Lda, Campo P. | | 30 Miguel Duarte Pimentel, Demolições, Lda, | |
| 7 Zoomcópia, Saldanha | | 31 MDB Gestão de Resíduos Lda, Marvila | |
| 8 Diolicoopia-Centro De Copias, Lda, Benfica | | 32 Renasxer, Frielas | |
| 9 Mar de Cópias, Alges | | 33 Carpintaria Vasco Oliveira, Amoreiras | |
| 10 Copy Campus; Alta de Lisboa | | 34 Carpintaria Lino & Filhos, Lda., Campo Grande | |
| 11 Azul e Amarelo, Centro de Cópias e Impressão,Chelas | | 35 Carpintaria E Marcenaria Grilo Lisbonense, Lda, Beato | |
| 12 LET'S COPY - Printshops; Saldanha | | 36 Vitor Luis Santos - Carpintarias e Marcenarias | |
| 13 Cópia Igual-centro de informática,cópias e Papelaria, Benfica | | 37 Carpintel-carpintaria E Construções Lda, Amoreiras | |
| 14 Maçor atelier de impressão e publicidade,Alto do Moimho | | 38 FORESTECH - TECNOLOGIAS FLORESTAIS, S.A, | |
| 15 Alcântara_d_o_i_s_q_u_a_t_r_o_4, Alcântara | | 39 BIOLOSE, Alverca do Ribatejo | |
| 16 Digiset, Cais do Sodré | | 40 Armando Jesus Antunes, Ferro-Velho, Sacavém | |
| 17 Imaginação Impressa, Príncipe Real | | 41 Mário Guimaraes - Gestão de Resíduos, Lda, Sacavém | |
| 18 GAMUT Impressão Fine Art,Chiado | | 42 R&P - Tratamento de Resíduos, Lda, Sacavém | |
| 19 Grafica Digital ARP,Santa Cruz | | 43 J Anselmo Costa Reciclagem De Sucatas, Belas | |
| 20 Cart - Cartonagens E Transformados De Papel E Cartão, Lda, Odivelas | | 44 Sucatas do Casal do Marco, Lda, Charneca da Caparica - | |
| 21 Carbon Portuguesa - Cartão Bi-Ondulado, Lda., Campo P. | | 45 R.S.O. - RECICLAGEM, SUCATAS OUTEIRENSE, S.A., Lumiar | |
| 22 Embacar-Embalagens De Cartão Para A Agricultura, Lda.,Unhos | | 46 COAÇÃO DIAÇO - Reciclagem de Sucatas, Unipessoal, LDA, Camarate | |
| 23 Antunes & Pioria Lda, Charneca | | 47 Carlos A. Lacerda - Serralharia Civil, Lda, Benfica | |
| 24 Cartemal-Cartonagens e Artigos de Papelaria Lda, Benfica | | 48 Nubertal - Serralharia Civil e Caixilharia de Alumínios, Olival Basto | |
| 25 Sacopor-Sociedade de Embalagens e Sacos de Papel S.A, Pior Velho | | 49 Serralharia Civil Jorge Gomes ,Olival Basto | |
| 26 Sábado,Jornal Record e Jornal de Negócios , Benfica | | 50 Silva & Amorim-serralharia Civil Lda, Beato | |
| 27 Diário de Notícias, Benfica | | 51 Serralharia Progresso Do Poço Dos Mouros Lda, Santa Cruz | |
| 28 SEJR - Sociedade Editora de Jornais e Revistas, Lda., Cid.Un. | | 52 Alubel-Serralharia Civil Lda, Xabregas | |
| 29 Olgarroa Publishing, Lda, Campolide | | 53 Bernardo A Lopes Lda, Alfragide | |
| 30 Observador, Campo Grande | | 54 Parque Hortícola de Campolide | |
| 31 Jornal O Emigrante - MUNDO PORTUGUÊS | | 55 Parque Hortícola Bensaúde | |
| 32 O Jornal Económico | | 56 Parque Hortícola Quinta da Granja | |
| 33 Jornal I, Beato | | 57 Parque Hortícola Telheiras | |
| 34 Loja Solidária Partilha Constante Lisboa, Campo de Ourique Benfica,Odivelas, Oeiras e Mem Martins | | 58 Parque Hortícola do Casal Vistoso 2019 | |
| 35 Móveis Da Casa Zuzarte Lda, Santa Cruz | | 59 GRANEL - MOAGEM DE CEREAIS, S.A.VILA FRANCA XIRA | |
| 36 Móveis Usados ASO, Vila Cândida | | 60 Beloumo - Agro-Pecuária da Serra de Cambra, Lda | |
| 37 Tchilule - Antiguidades e Móveis Usados, Campolide | | | |
| 38 Top Usados - Comercio De Artigos Usados, Olival Basto | | | |
| 39 Antiguidades E Velharias, Almada | | | |



MAPA DE COLHEITA

40 KM

- Amarsul - Ecocentros e Ecoparques
- Stericycle Torres Vedras
- Resotrans-recolha e Transporte de Resíduos Sólidos, Lda
- MAQUILAVINHA - Alérens e Desaterros, LDA, Alenquer
- Ambigroup- Demolições, Resíduos e Reciclagem, Arranhó, Odiveiras e Seixal
- Alberto & Alves - Indústria Embalagens Do Carregado, Lda
- Marquesapal-comércio De Paletes e Produtos Recicladados Lda
- Antalves - Paletes E Embalagens De Madeira, Lda, Pêro Pinheiro
- AJ Manata Jardins, Sintra
- Rodrigo Manuel Soares & Filhos Lda, Arranhó -40km
- Serralharia Das Lopus Lda., Belas
- Farinhas Firmos, Moagem de Cereais, Lda, Colares

25 KM

- Europa & C Recicla Lisboa| DS
- Amarsul - Ecocentros e Ecoparques
- Amarsul - Ecocentros e Ecoparques
- Valorsul - Valorização Trat. Resid. Sólidos Regiões Lisboa
- Urbereciclar - Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos
- Tratolixo - Tratamento Resíduos Sólidos
- Arte-entulhos-recolha E Transporte De Resíduos Sólidos Lda, Bobadela
- Resotrans-recolha e Transporte de Resíduos Sólidos, Lda
- Recipolymers, Reciclagem de Polímeros, S.A.; Arranhó
- Multicaixa - Equipamentos e Consumíveis de Embalagem, Lda, São Domingo de Rana
- Globespam-Indústria De Cartão, S.A., Linda a Pastora
- Lamina-Indústria Transformadora de Materiais de Embalagem Lda., Bobadela
- Empresa Gráfica Funchalense, Sintra
- Loja Solidária Partilha Constante - Campo de Ourique Benfica, Odiveiras, Oeiras e Mem Martins
- Móveis Usados E Restaurados,
- AMBIGROUP DEMOLIÇÕES, S.A., Arranhó
- Liftup DEMOLIÇÕES, S.A., Alverca do Ribatejo
- DOMIPLANA - Terraplanagens E Materiais de Construção, LDA
- Cabrizerras-Transportes e Terraplanagens Lda, Sintra 25km
- Luzipeira - Demolições E Terraplanagens, Lda., Bararena
- Ambigroup- Demolições, Resíduos e Reciclagem, Arranhó, Odiveiras e Seixal
- Renascimento, Santo Antão do Tojal
- BILOLOSE, Alverca do Ribatejo
- Tratosucatas - Indústria e Comércio de Sucatas Metálicas, Idas, Beato
- Covelo e Pinto, Lda, Barreiro
- Ecociclo - Ambiente e Energia, S.A., Arrentela -
- Marquesapal-comércio De Paletes e Produtos Recicladados Lda
- Recopal - Recuperação e Comercialização de Paletes, Lda.
- Manjos Rec. Recuperação e Fabrico de Estruturas de Madeira, Lda, Alverca do Ribatejo e Loures
- Tratosucatas - Indústria e Comércio de Sucatas Metálicas, Idas, Beato
- Recintra, Ferro-Velho, Beato -25 km
- Sierthinanques - Serralharia Civil, Unipessoal Lda, São Marcos
- Fervidal, Ólival Basto
- Pasevil-serralharia Civil Lda, Coima
- Sovena Group, Instalações Industriais, Barreiro
- F. B. F. - Fábrica de Batatas Fritas Lda



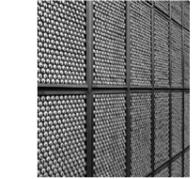
CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo biológico ou tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
AIRLESS 	Resíduo Pós Consumo Garrafas PET descartadas 	Reutilização Indireta: Densificação: Complexidade 2	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável	Retardador de Fogo B1	Não durável	Textura: Irregular Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Branco Odor: Nenhum
UBUNTUBLOX 	Resíduo Pós Consumo Resíduos de Plástico Diversos 	Reutilização Indireta: Densificação: Complexidade 2	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Médio	Alto	Impermeável	Inflamável	Não durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Colorido Odor: Nenhum
ARTEK PAVILION 	Resíduo Pós Consumo Resíduos da Impressora de Autocolantes 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura Lisa Brilho Baço Transparência Opaco Cor Cinza Odor: Nenhum
BYFUSION BYBLOCK 	Resíduo Pós Consumo Resíduos de Plástico Diversos 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Médio	Alto	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Colorido Odor: Nenhum
POLLI-BRICK 	Resíduo Pós Consumo Garrafas PET 	Reutilização Indireta: Design: Complexidade 0	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Alto	Alto	Impermeável	Não Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Brilhante Transparência: Translucido Cor: Cinza Odor: Nenhum
UNITED_BOTTLE PET (B) RICK 	Resíduo Pós Consumo Garrafas PET 	Reutilização Indireta: Design: Complexidade 2	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Depende do material de enchimento	Depende do material de enchimento	Depende do material de enchimento	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência; translucido Cor: Cinza Odor: Nenhum

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo biológico ou tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
RECY BLOCKS 	Resíduo Pós Consumo Sacos de Plástico 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Tecnológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Baixo	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Lisa Brilho: Baço Transparência: Translucido ou Opaco depende da espessura Cor: Depende Odor: Nenhum
BIMA'S MICROLIBRARY / SHAU BANDUNG 	Resíduo Pós Consumo Caixas de Gelado Usadas 	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Tecnológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Alto	Médio	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Brilhante Transparência: Translucido Cor: Branco Odor: Nenhum
PET PAVILION 	Resíduo Pós Consumo Garrafas PET 	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Tecnológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Médio	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Lisa Brilho: Brilhante Transparência: Translucido Cor: Azul e Branco Odor: Nenhum
RISING MOON PAVILION 	Resíduo Pós Consumo Garrafas de Policarbonato (4800) e Garrafas Pet (2300) 	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Tecnológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Alto	Baixo	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Brilhante Transparência: Translucido Cor: Azul e Branco Odor: Nenhum
TAILORED TILE E PRETTY PLASTIC 	Resíduo Pós Consumo Resíduos de Plástico Diversos 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Tecnológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Baixo	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Várias Odor: Nenhum

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
<p>LÃ DE PET</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Garrafas PET</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Baixo</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Não Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Branco Odor: Nenhum</p>
<p>CORRUGATED CARDBOARD POD</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Resíduos de Papelão</p> 	<p>Reutilização Indireta: Densificação: Complexidade 2</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Hidrofilico não resistente à água</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>PHZ2</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Resíduos de Papelão</p> 	<p>Reutilização Indireta: Densificação: Complexidade 2</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Hidrofilico não resistente à água</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Colorido Odor: Nenhum</p>
<p>PAPER TILE VAULT</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Resíduos de Papelão</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Hidrofilico não resistente à água</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: bege Odor: Nenhum</p>
<p>NEWSPAPERWOOD</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Jornais</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Hidrofilico não resistente à água</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Colorido Odor: Nenhum</p>

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
<p>TUFF ROOF</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Embalagens TetraPack</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Não Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Semelhante à madeirar Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Branco Odor: Nenhum</p>
<p>REMATERIALS ROOF PANELS</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Resíduos de Papelão Embalagens de Papel e Lixo agrícola</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>ECOR</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Resíduos de Papelão</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Tecnológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Hidrofílico não resistente à água</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>PAVILLON CIRCULAIR</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Portas e Moveis</p> 	<p>Reutilização Indireta simples Complexidade 0</p>	<p>Biológico: Alto</p>	<p>Baixo</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Médio</p>	<p>Alto</p>	<p>Impermeável (com tratamento) l</p>	<p>Inflamável (se a porta for corta fogo é não inflamável)</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>POLISH PAVILION AT MILAN EXPO 2015</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Caixas de Fruta</p> 	<p>Reutilização Indireta simples Complexidade 0</p>	<p>Biológico: Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Impermeável (com tratamento)</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Não Durável</p>	<p>Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>

CASO DE ESTUDO	Tipologia do resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
<p><i>AMI-LOT</i></p> 	Resíduo Pós Consumo Paletes	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Biológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável (com tratamento)	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum
<p><i>VEGAN</i></p> 	Resíduo Pós Consumo Percianas	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Biológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável (com tratamento)	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum
<p><i>COLLAGE HOUSE</i></p> 	Resíduo Pós Consumo Portas	Reutilização Indireta simples Complexidade 0	Biológico: Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável (com tratamento)	Inflamável	Durável	Textura: Padrão Geométrico r Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum
<p><i>SONGWOOD</i></p> 	Resíduo Pós Consumo Desperdícios de carpintaria	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Baixo	Baixo	Disponibilidade num Raio de 10 km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável (com tratamento)	Inflamável	Durável	Textura: Lisa, semelhante á madeira Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum
<p>ESPUMA DE MADEIRA</p> 	Resíduo Industrial Desperdícios de carpintaria, desbastes florestais e lascas	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Alto	Alto	Hidrofílico Não resistente à água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
<p>D3 ABWAB PAVILION</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Contentores Industriais</p> 	<p>Reutilização Indireta simples Complexidade 0</p>	<p>Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Alta</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Não Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Liso Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Depende Odor: Nenhum</p>
<p>DUBAI DESIGN WEEK 2015 PAVILION</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Molas de Colções</p> 	<p>Reutilização Indireta simples Complexidade 0</p>	<p>Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Alta</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Não Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Brilhante Transparência: Translucido Cor: Cobre Odor: Nenhum</p>
<p>CAN CUBE</p> 	<p>Resíduo Pós Consumo Latas de Alumínio</p> 	<p>Reutilização Indireta simples Complexidade 0</p>	<p>Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Alta</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Não Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Padrão Geométrico Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>ALKIMI</p> 	<p>Resíduo Industrial: Resíduos da Produção Alumínio e resíduos de acrílico</p> 	<p>Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3</p>	<p>Baixo</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Médio</p>	<p>Baixo</p>	<p>Baixo</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Lisa Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>
<p>STABILIZED ALUMINIUM FOAM PANELS</p> 	<p>Resíduo Industrial: Sucata</p> 	<p>Reciclagem: Transformação Complexidade 4</p>	<p>Alto</p>	<p>Nenhum</p>	<p>Disponibilidade num Raio de 10 km</p>	<p>Alta</p>	<p>Baixo</p>	<p>Alto</p>	<p>Impermeável</p>	<p>Inflamável</p>	<p>Durável</p>	<p>Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum</p>

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
TRASHELL E BIO-FLEXI PLANT CULTURE 	Resíduo Industrial Resíduos Agrícolas variados 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto (Bio-flexi Plant Culture) Baixo (TRAshell)	Nenhum	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Médio (TRAshell) Baixo (Bio-flexi Plant Culture)	Baixo	Baixo	Impermeável (TRAshell) Hidrofílico não resistente à água (Bio-flexi Plant Culture)	Inflamável	Durável	Textura: Lisa ou Irregular Brilho: Brilhante ou Baço Transparência opaco ou translucido Cor: Castanho e Bege Odor: Nenhum
AGRICULTURAL WASTE PANELS 	Resíduo Industrial Resíduos Agrícolas variados 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Baixo	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Médio	Baixo	Baixo	Impermeável	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Brilhante Transparência: Opaco Cor: Castanho-Bege Odor: Nenhum
HY-FI 	Resíduo Industrial Resíduos Agrícolas variados 	Reciclagem: Cultivação Complexidade 0	Alto	Nenhum	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Médio	Alto	Alto	Hidrofílico não resistente à água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Bege Odor: Nenhum
MYCOFORM 	Resíduo Industrial Resíduos Agrícolas variados 	Reciclagem: Cultivação Complexidade 0	Alto	Nenhum	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Médio	Alto	Alto	Hidrofílico não resistente à água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Bege Odor: Nenhum
THE GROWING PAVILION 	Resíduo Industrial Resíduos Agrícolas variados 	Reciclagem: Cultivação Complexidade 0	Alto	Nenhum	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Baixo	Alto	Alto	Hidrofílico não resistente à água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Bege Odor: Nenhum

CASO DE ESTUDO	Tipologia do Resíduo	Processo de Transformação	Potencial de Reintrodução no ciclo Biológico ou Tecnológico	Conteúdo Tóxico	Disponibilidade e Proximidade local	Capacidade de Resistência mecânica	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Resistência à Água e Humidade	Resistência ao fogo	Durabilidade	Propriedades Sensoriais
DECAFE TILES 	Resíduo Pós Consumo Borra de Café 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Baixo	Baixo	Hidrofílico não resistente à água	Inflamável	Não Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco ou Cor: Castanho Odor: Café
WINE CORK TILES 	Resíduo Industrial Resíduos Rolhas de Garrafa de Vinho 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Alto	Alto	Hidrofílico não resistente à água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Bege Odor: Nenhum
SUNFLOWER ENTREPRISE 	Resíduo Industrial Resíduos da Cultura do Girassol 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade em quantidades reduzidas num Raio de 10 km Em maior quantidade num raio igual ou superior a 25 Km	Baixo	Alto	Alto	Impermeável quando aplicado verniz de girassol	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Bege e Esverdeado Odor: Nenhum
CHIP [S] BOARD 	Resíduo Pós Consumo Casca de Batata 	Reciclagem: Reconfiguração Complexidade 3	Alto	Nenhum	Disponibilidade num Raio de 10 km	Baixo	Baixo	Baixo	Hidrofílico não resistente á água	Inflamável	Durável	Textura: Irregular Brilho: Baço Transparência: Opaco Cor: Castanho Odor: Nenhum

IV. PROJETO DE ARQUITETURA

4.1. O LOCAL

O projeto final de arquitetura localiza-se no atual parque de estacionamento da Cidade Universitária, entre a Faculdade de Psicologia e o Instituto de Educação (Norte), o Instituto Universitário de Lisboa- ISCTE (Sul), a Biblioteca Nacional de Portugal (Nascente); e a Faculdade de Medicina Dentária (Poente).

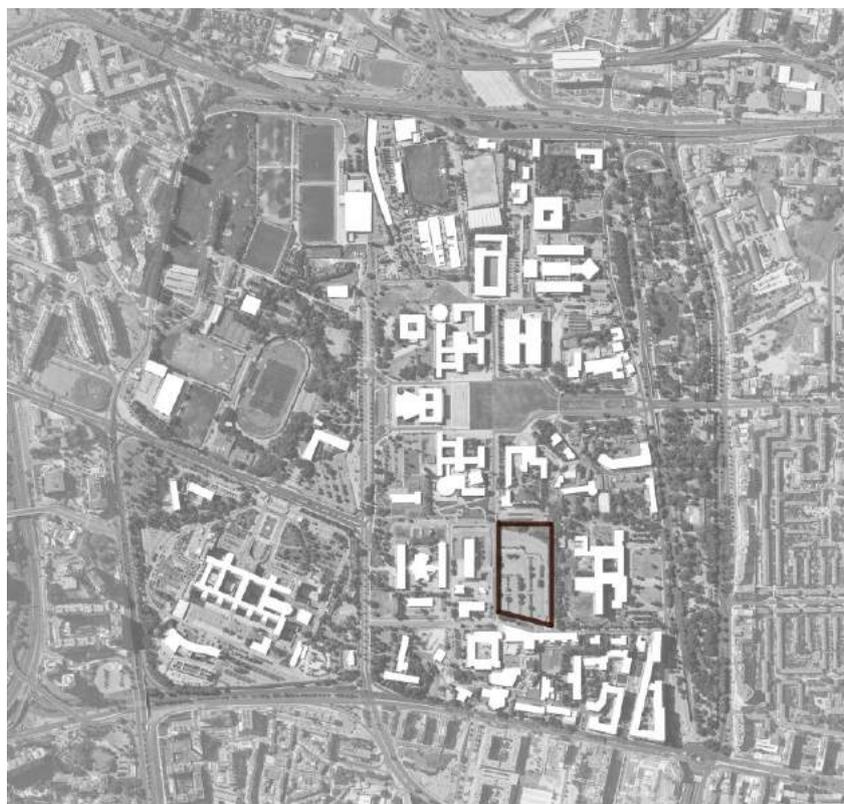


Figura 321 Ortofotomapa da área de intervenção Google Maps.

4.1.1. BREVE ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A Cidade Universitária de Lisboa foi uma obra patrocinada pelo Estado Novo e impulsionada pelo Ministro Duarte Pacheco (1899-1945), após a fundação da Universidade de Lisboa em 1911.

A fundação da Universidade de Lisboa colocou em evidência a necessidade de criar um complexo universitário, que albergasse as faculdades e a reitoria. (Pascoal A. M., 2010).

A primeira proposta foi desenhada em 1920 pelo arquiteto Carlos Ramos, quando a Quinta da Torrinha se tornou propriedade do Estado para a construção da futura Faculdade de Farmácia e Medicina da Universidade de Lisboa. O arquiteto idealizou a criação de um bairro universitário nos terrenos próximos ao Campo Grande. No mesmo ano, é apresentado o Projeto Integral de Caeiro da Mata, onde foram propostos edifícios universitários, zonas de lazer e residências no mesmo local (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010).

Contudo, só em 1930 a CANEU (Comissão Administrativa dos Novos Edifícios da Universidade de Lisboa) apresentou “A Planta de Urbanização dos terrenos a oeste do Campo 28 de Maio para Edifícios Universitários e Hospitalares”, o que levou à compra dos terrenos para a construção das faculdades de Letras e Direito (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010).

Por conseguinte, em 1939 o arquiteto Porfírio Pardal Monteiro, convidado pela comissão, elabora o que ficou conhecido como o 1º Anteprojeto da Cidade Universitária de Lisboa. Este projeto consistia no desenho dos edifícios da Reitoria e da Faculdade de Direito e Letras. O programa contemplava três volumes aproximadamente simétricos, o eixo central era marcado por uma grande alameda que separava as duas faculdades e centralizava o edifício da reitoria (figura 381). O edificado possuía uma linguagem sóbria e modernista. O Arquiteto idealizou o complexo construído com elementos horizontais em betão armado apoiados em paredes maciças de alvenaria. (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010). Posteriormente, este plano foi revisto devido à escassez de aço e à crise económica que caracterizou a época.⁶⁷

Entretanto, é aprovado e construído o Hospital Escolar (1938-1953), conhecido hoje como o Hospital de Santa Maria. O projeto foi da autoria do arquiteto Hermann Distel, com a colaboração e assistência técnica do arquiteto João Simões (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010).

Por volta de 1951, é encomendado a Porfírio Pardal Monteiro o projeto da Biblioteca Nacional de Portugal, que irá compor o conjunto do complexo universitário (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010).

Em paralelo, Pardal Monteiro projeta o edifício da Faculdade de Farmácia, junto à Quinta da Torrinha, construído em 1952, conhecido hoje como Pavilhão A. (Figueiredo, Edifícios da Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa, 2011).

Após a construção do Hospital Escolar voltou-se a discutir o Plano da Cidade Universitária de Lisboa em 1955-1956, nessa altura a CANUA, passou-se a designar Comissão Administrativa das

⁶⁷ O 2º Anteprojeto do Complexo (1939-1943) foi desenvolvido no período da II Guerra mundial, neste o arquiteto substituiu as lajes de betão por coberturas inclinadas sobre estruturas de madeira apoiadas em paredes de alvenaria de pedra (Pascoal A. M., 2010).

Novas Instalações Universitárias (CANIU). O tema abordado foi a proposta para o atual Estádio Universitário, desenhado por João Simões e Norberto Corrêa, com arranjo paisagístico de António Viana Barreto (Monteiro, 2012) (Pascoal A. M., 2010).

No período pós-guerra (de 1957 a 1962), foram finalmente inaugurados os edifícios das Faculdades de Direito e de Letras e da Reitoria, estes apresentam-se como um conjunto monumental marcado pela horizontalidade. As fachadas são revestidas com cantaria branca, os vãos e janelas rematados por caixilharias de ferro e as entradas marcadas por pórticos de inspiração clássica. (Pascoal A. M., 2010).

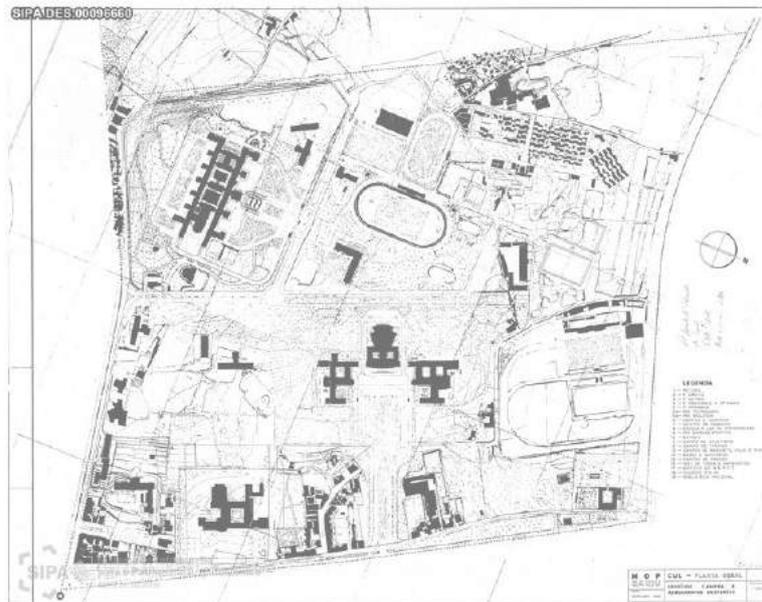


Figura 322 O Anteprojeto da Cidade Universitária de Lisboa proposto por Pardal Monteiro, em 1939 DGEMN/Arquivo Pessoal de Porfírio Pardal Monteiro PPM NT10 UAC15 e UAC15.1

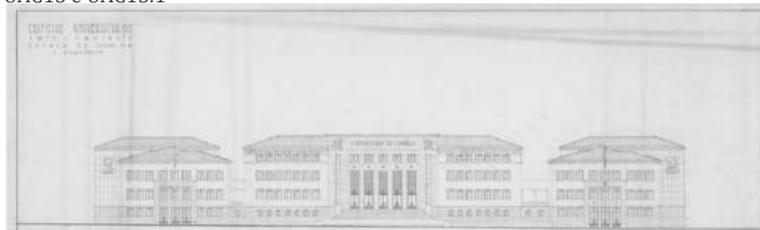


Figura 323 O Anteprojeto da Cidade Universitária. Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)

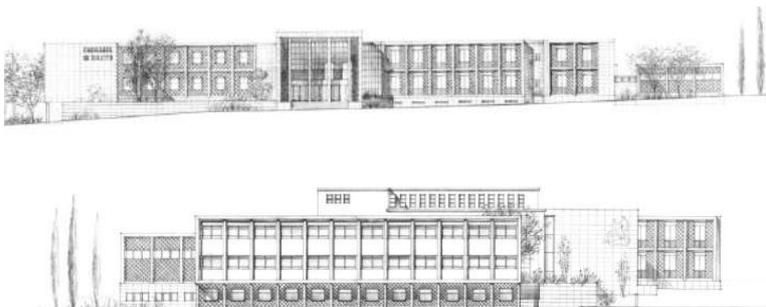


Figura 324 Desenhos da Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa. Planta, Alçado Poente e Principal Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)

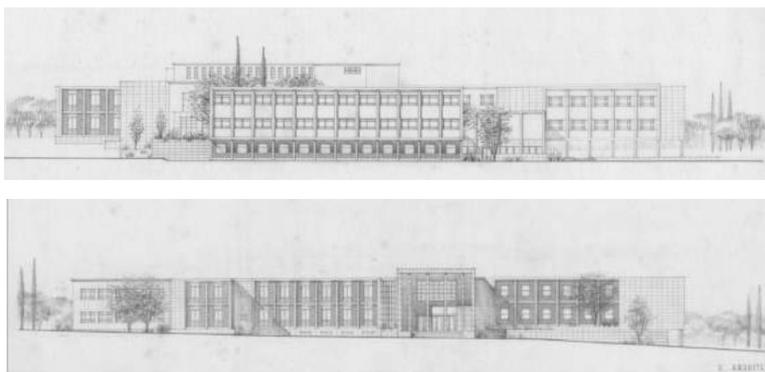


Figura 326 Desenhos da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Planta, Alçado Nascente e Principal Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)



Figura 325 Fotos da maquete da Biblioteca nacional. Foto do Arquivo do forte de Sacavém e perspectiva da Biblioteca Nacional, próxima da final. Espólio de Porfírio Pardal Monteiro, depositado no Arquivo do Forte de Sacavém do SIPA (IHRU)

A Alameda da Universidade manteve-se ao longo dos anos o núcleo central de todo o recinto universitário, devido à presença constante e reguladora do envolvente, mesmo após o surgimento de vários edifícios universitários e públicos como a Biblioteca Nacional, a Torre do Tombo⁶⁸ e de sucessivas ampliações da Universidade de Lisboa, nomeadamente a Faculdade de Psicologia e o Instituto de Educação⁶⁹, e a Faculdade de Medicina Dentária⁷⁰, as Cantinas Universitárias e, por fim, a construção do Instituto Universitário de Lisboa⁷¹.

A implantação das várias instituições peca pela falta de coerência na implantação o que resultou numa desfragmentação do espaço urbano e na perda de identidade do lugar, apesar do esforço da Câmara Municipal de Lisboa para que a Cidade Universitária se desenvolvesse com qualidade urbanística seguindo vários planos diretores (Pascoal, Teixeira, & Figueiredo, 2011) (Colaço I. & Dias).

A configuração espacial adotada foi descrita num artigo de Paula Mendes da “Revista de Arquitetura Lisboa: a Cidade Universitária”, como:

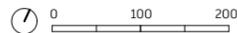
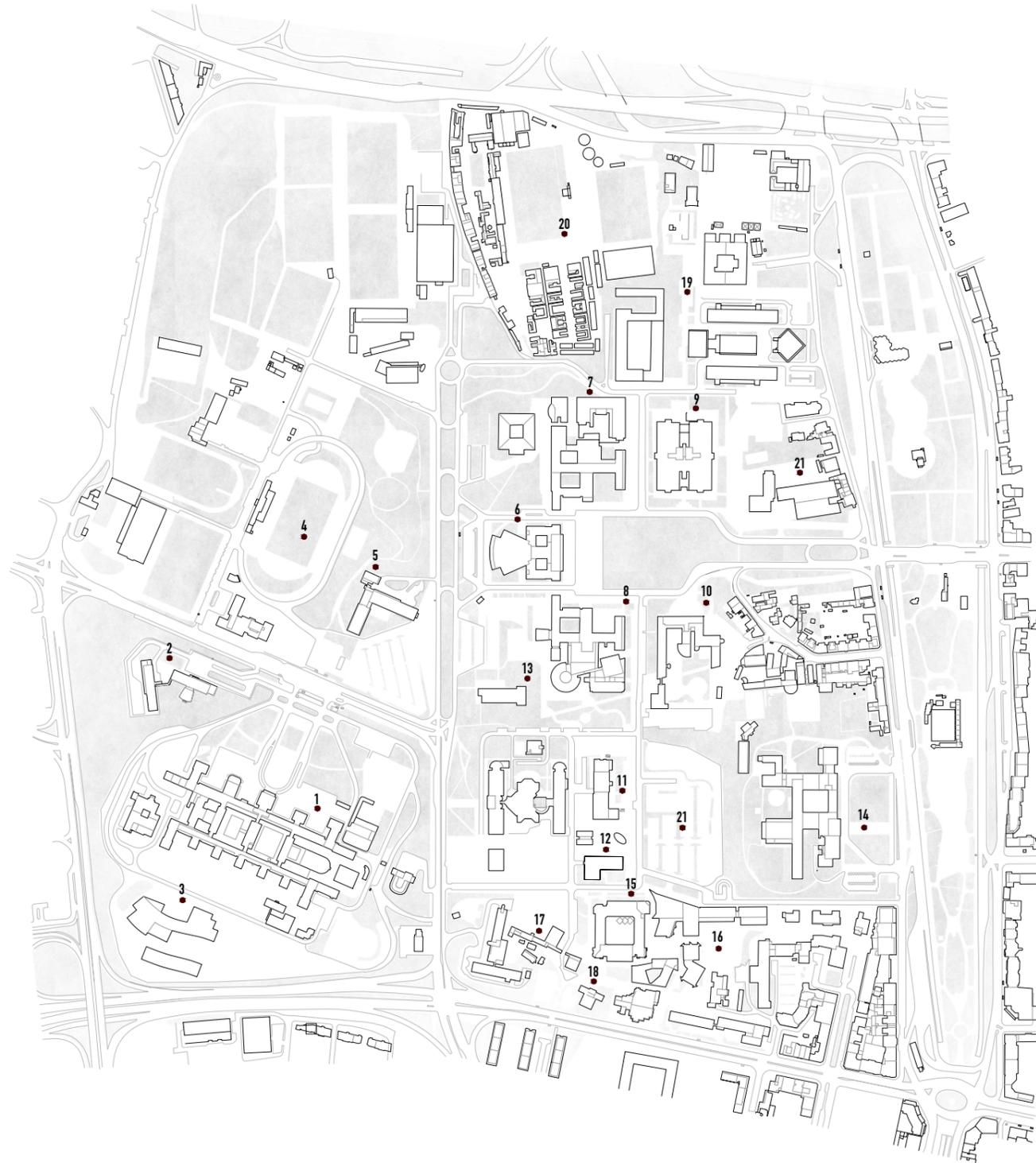
“Edifícios-ilhas, postados hieraticamente no vazio inóspito de grandes vagos espaços, não comunicam no seu interior senão por anónimos corredores e com o exterior senão por solenes escadarias (...)” o que resultou “(...) numa simples arrumação formalista de edifícios fechados, condenados à rápida obsolescência” (MENDES PAULA, 1968, pp. 142-143)

Paula Mendes defende que a solução urbana assenta na criação de “(...) uma estrutura material, arquitetónica, de distribuição, circulação viária e vida social (...) com a criação de novos pontos de interesse, convidando a ligar o que hoje teima em manter-se isolado (...)” (MENDES PAULA, 1968, pp. 142-143)

⁶⁹ A Faculdade de Psicologia e o Instituto de Educação fazem parte da extensão da Universidade de Lisboa, realizada nos finais dos anos 80, projetada por Manuel Tainha e construída entre 1987 e 1990.

⁷⁰ O Edifício da Faculdade de Medicina Dentária foi inaugurado em 1994, projetado pelo atelier José Soalheiro, Teresa Castro & Associados, Arquitetos, LDA vencedor do concurso público.

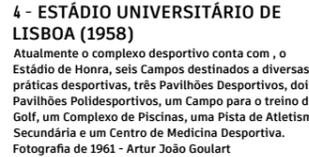
⁷¹ O ISCTE (Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresas) começou a ser construído em 1972 e em 1975 foi inaugurado o Edifício I da autoria do arquiteto Raúl Hestnes Ferreira. Em 1982 o Instituto torna-se independente e em 1993 iniciam-se as obras para a ampliação do complexo, nomeadamente de três novos edifícios, o Edifício II, a ala autónoma e o INDEG, projetados pelo mesmo arquiteto.



1 - HOSPITAL SANTA MARIA, ANTIGO HOSPITAL ESCOLAR (1949-1953) -
Fotografia de Estúdio Horácio Novais



2 - ESCOLA SUPERIOR DE ENFERMAGEM DE LISBOA - PÓLO CALOUSTE GULBENKIAN (1972)
3 - EDIFÍCIO ELIAS GARCIA (2004)
Sede do Instituto de Medicina Molecular e Faculdade de Medicina



4 - ESTÁDIO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA (1958)
Atualmente o complexo desportivo conta com , o Estádio de Honra, seis Campos destinados a diversas práticas desportivas, três Pavilhões Desportivos, dois Pavilhões Polidesportivos, um Campo para o treino de Golf, um Complexo de Piscinas, uma Pista de Atletismo Secundária e um Centro de Medicina Desportiva.
Fotografia de 1961 - Artur João Goulart



5 - CANTINA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA / CANTINA VELHA (1961)
Fotografia do Autor Desconhecido



6 - FACULDADE DE DIREITO DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1958)
Fotografia do Site oficial da Universidade de Lisboa



7 - FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1958)
Fotografia do Site oficial da Universidade de Lisboa



8 - REITORIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1957) Fotografia do Arquivo CML Autor Desconhecido



9 - TORRE DO TOMBO (1990)
Fotografia da Trienal de Lisboa



10 - FACULDADE DE PSICOLOGIA E INSTITUTO DE EDUCAÇÃO (1990)
Fotografia do Site oficial da Universidade de Lisboa



11 - FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1990)
Fotografia do Site oficial da Universidade de Lisboa



12 - INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (IGOT)



13 - FACULDADE DE FARMÁCIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1952)
Fotografia de Autor Desconhecido

14 - BIBLIOTECA NACIONAL DE PORTUGAL (1969)
Fotografia do Arquivo CML Autor Desconhecido



15 - EDIFÍCIO I do ISCTE-IUL (1975)

16 - EDIFÍCIO II do ISCTE-IUL (2002); ALA AUTÓNOMA E INDEG (1993)
Fotografia de Autor Desconhecido



17 - COMPLEXO INTERDISCIPLINAR / INSTITUTO PARA A INVESTIGAÇÃO INTERDISCIPLINAR

18 - EDIFÍCIO da Quinta da Torrinha (1892)



19 - FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA (1999-2003)

20 - SOCIEDADE HÍPICA PORTUGUESA

21 - ZONA DE INTERVENÇÃO,
Atual é Parque de Estacionamento que serve o recinto, mas outrora albergou a Escola Secundária da Cidade Universitária demolida em 2003.



21 - RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DOS ÁLAMOS

4.1.2. ANÁLISE DA ÁREA URBANA

A cidade Universitária situa-se no centro de Lisboa, limitada pela Avenida General Norton de Matos (Segunda Circular), a Avenida das Forças Armadas, o Campo Grande e a Avenida dos Combatentes. A malha dispersa e a escala do edificado distinguem-se da envolvente de carácter residencial, nomeadamente os Bairros de Alvalade, Avenidas Novas e Benfica.

Os edifícios na sua maioria são implantados de forma fechada e autónoma sem grande relação com o exterior, com características e programas muitos distintos, por consequência, deram origem ao que Paula Mendes definiu de um conjunto de edifícios ilhas. Este fenómeno é pontualmente enfatizado com a colocação de barreiras físicas para controlar o acesso a alguns estabelecimentos, como o Hospital de Santa Maria e o Estádio Universitário.

Acessibilidade

A Cidade Universitária oferece uma boa rede de transportes públicos coletivos e individuais graças à sua localização privilegiada. As vias rodoviárias que atravessam a área fazem parte das vias estruturantes da rede viária de Lisboa e desta forma possuem um elevado fluxo de tráfego e congestionamento (figura).

A mobilidade suave tem-se revelado uma preocupação crescente e, nos últimos anos, têm surgido vários percursos cicláveis por toda a cidade de Lisboa, nomeadamente, na periferia do recinto universitário como as ciclovias do Campo Grande, do Estádio Universitário e a da Avenida dos Combatentes, no entanto, é possível verificar que no interior do recinto existe falta destes equipamentos.

A circulação dos pedestres é condicionada pela densidade de tráfego, espaços vazios não qualificados, dispersão dos programas do recinto e sobretudo pela falta de passeios qualificados, que, por vezes, se encontram mal assinalados e ocupados por estacionamento indevido.

As zonas de maior fluxo são nas saídas do metro da Cidade Universitária e de Entre Campos.

Estrutura Ecológica

A estrutura ecológica da Cidade Universitária é marcada por seis espaços distintos, o relvado da Alameda, os espaços verdes de recreio do Campo Grande, os espaços verdes para uso especial e equipamentos anexos ao Estádio Universitário, o Jardim da Faculdade de Psicologia e o Jardim da Faculdade de Direito. Em oposição, existem uma série de espaços exteriores vazios, espaços residuais, que atuam como elementos perturbadores na paisagem.

O redesenho da estrutura verde é muitas vezes eficaz para requalificar áreas urbanas, neste sentido, pode ser um instrumento para articular os programas existentes e promover a continuidade urbana.

A Cidade Universitária não sofre de carência de espaço público, pelo contrário, a problemática assenta na desqualificação dos espaços. Os vários espaços vazios necessitam de

ser repensados em conjunto, procurando articular os percursos existentes e as zonas de estar exteriores.

Área de Intervenção e relação com a Cidade Universitária

A área de implantação, como já referido, articula quatro edifícios com escalas e arquiteturas muito distintas: a Faculdade de Psicologia e o Instituto de Educação (Norte), o Instituto Universitário de Lisboa- ISCTE (Sul), a Biblioteca Nacional de Portugal, (Nascente); e a Faculdade de Medicina Dentária (Poente).

O terreno possui 23500 m², onde funcionam dois parques de estacionamento da Universidade de Lisboa. Outrora albergou uma Escola Secundária, construída em 1980 e extinta em 2003, devido às condições precárias das instalações⁷².

O terreno na maior parte da sua extensão está assente na cota 88, mas, a poente, no limite com o jardim da Biblioteca Nacional, há um declive acentuado da cota 87 até a cota 80.

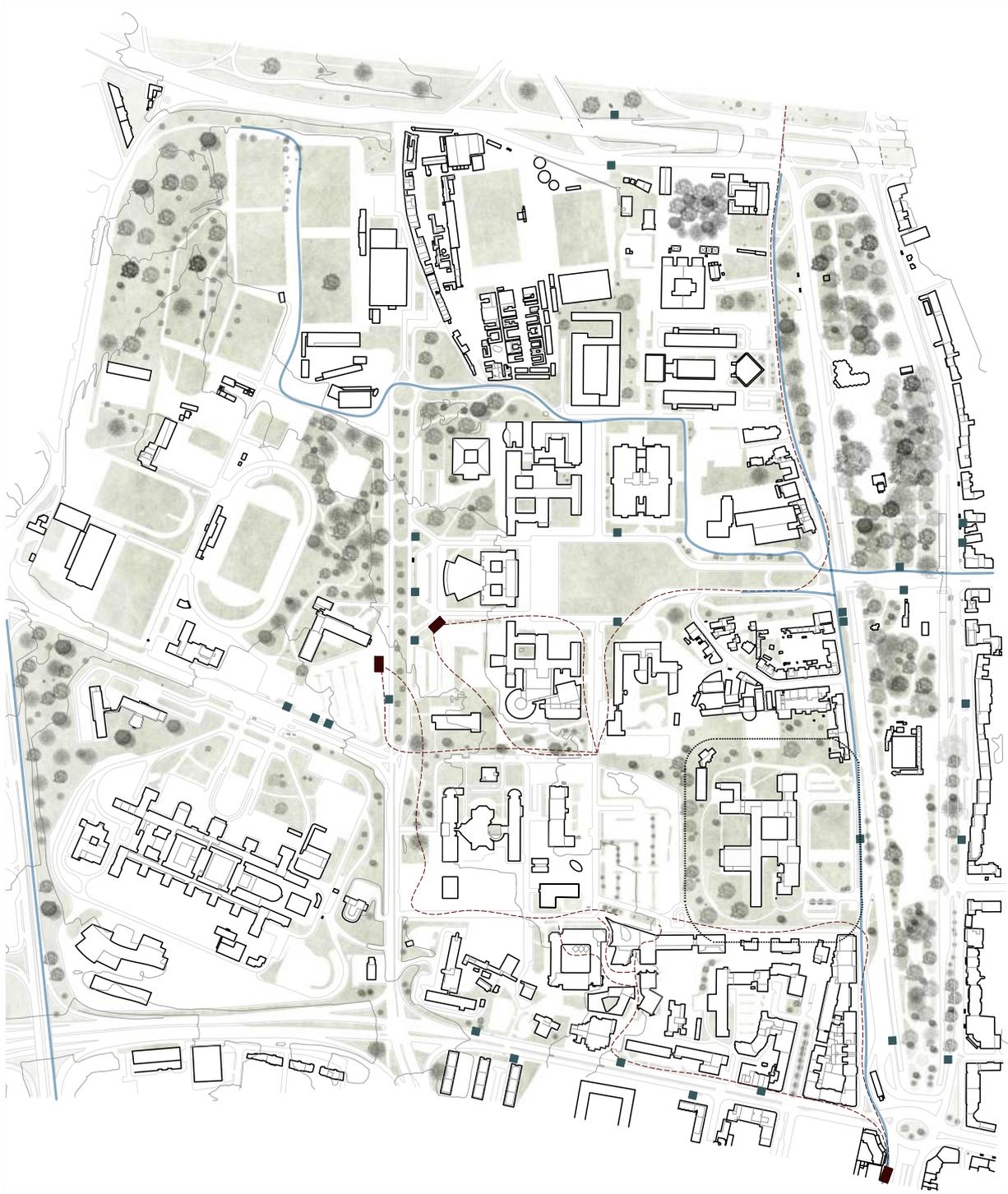
Em simultâneo desce progressivamente na direção norte, até ao jardim da Faculdade de Psicologia e às suas galerias com abóbodas e colunas ritmadas (cota 82).

A poente o terreno está limitado pela Rua António Flores e pela Faculdade de Medicina dentária

A Biblioteca Nacional e os jardins anexos são classificados como um monumento de Interesse Público pela Direcção-Geral do Património Cultural, por conseguinte, a construção está limitada em parte da área de intervenção, nomeadamente, num limite de 50 metros do monumento.

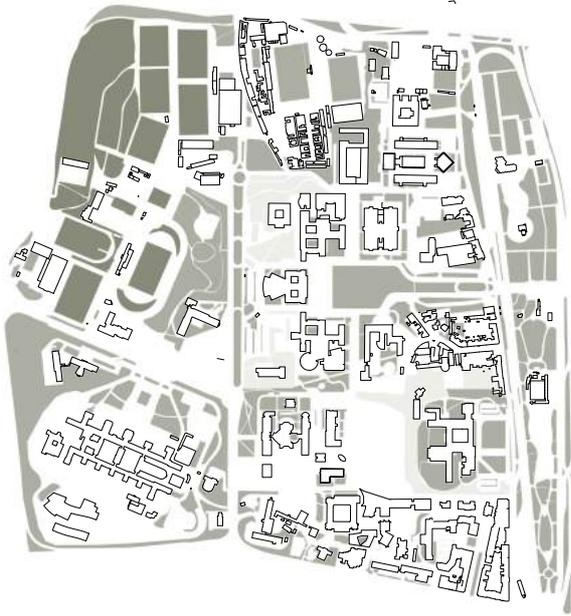
Como é uma zona que comunica com quatro edifícios importantes do recinto e por duas zonas verdes, uma intervenção neste local pode-se tornar uma oportunidade de requalificar a área urbana e de estabelecer relações com o programa existente. Nomeadamente a ligação com o corredor verde do Campo Grande, o jardim da Biblioteca Nacional, da Faculdade de Psicologia e da Faculdade de Letras.

⁷² Posteriormente foi construída no bairro de Alvalade a Escola Secundária Calouste Gulbenkian fruto da união da antiga Escola Secundária da Cidade Universitária e Escola Secundária Padre António Vieira.

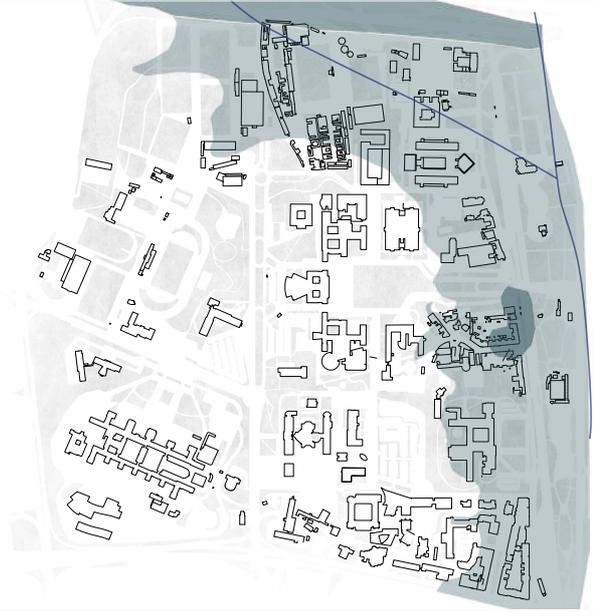


LEGENDA:

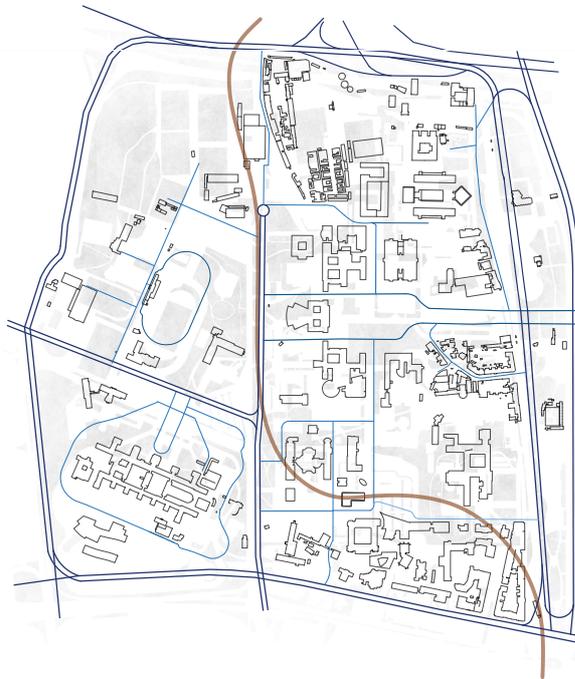
- ESTAÇÃO DE METRO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA E ENTRECAMPUS
- ESTAÇÃO DE METRO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA E ENTRECAMPUS
- FLUXOS DE MOVIMENTAÇÃO
- CICLOVIAS



■ ESPAÇOS VERDES QUALIFICADOS ■ ESPAÇOS VERDES DESQUALIFICADOS ■ ESPAÇOS VERDES DESTINADOS A EQUIPAMENTOS



■ VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES BAIXA ■ VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES MODERADA — VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES ALTA



— VIAS 1º NÍVEL (vias principais de atravessamento da cidade com ligação a várias zonas da cidade) — VIAS 2º NÍVEL (vias de distribuição de fluxos para vias de nível superior) — VIAS 3º NÍVEL (vias que estabelecem uma comunicação local de acesso) — LINHA DE METRO

4.2. MASTER-PLAN

No âmbito do grupo de trabalho *Positive Impact School* foi-nos proposto a elaboração de um complexo na área de intervenção focado em princípios de arquitetura regenerativa que albergasse os seguintes programas:

- Escola de sustentabilidade;
- Centro de incubação e empreendedorismo;
- Centro transdisciplinar e socioeconómico;
- Residência escolar;
- Comércio;
- Espaço verde e espaço público urbano;
- Produção alimentar.

O programa exerceu uma forte influência na implantação dos edifícios, estes foram distribuídos em dois grupos os de carácter público e os de carácter privado. De carácter público são localizados a poente em confronto com a Rua António Flores, nomeadamente a Escola de Sustentabilidade e o centro transdisciplinar socioeconómico, e transversalmente a estes o centro de incubação e o centro de estudos. De carácter mais privado a residência de estudantes, a nascente, junto dos jardins da Biblioteca Nacional e da Faculdade de Psicologia, a norte.

A implantação destes programas procurou estabelecer relações volumétricas com a envolvente. A forma estreita e comprida que se implantam no terreno é resultado da vontade de estender o jardim orgânico da Faculdade de Psicologia e estabelecer uma relação de paralelismo com a Biblioteca Nacional. Desta forma o volume da Residência confronta a biblioteca, no alinhamento da Faculdade de Psicologia, como uma cota intermédia que cria uma relação visual vertical entre os dois edifícios. E o volume da Escola estabelece um paralelismo com a rua, através de um muro que delimita e dá escala à rua, pontuado por dois elementos suspensos, nomeadamente o centro de incubação e centro de estudos. A sul ergue um volume e que confronta o ponto alto do alçado norte do ISCTE funcionado como um ponto de referência em todo o projeto.

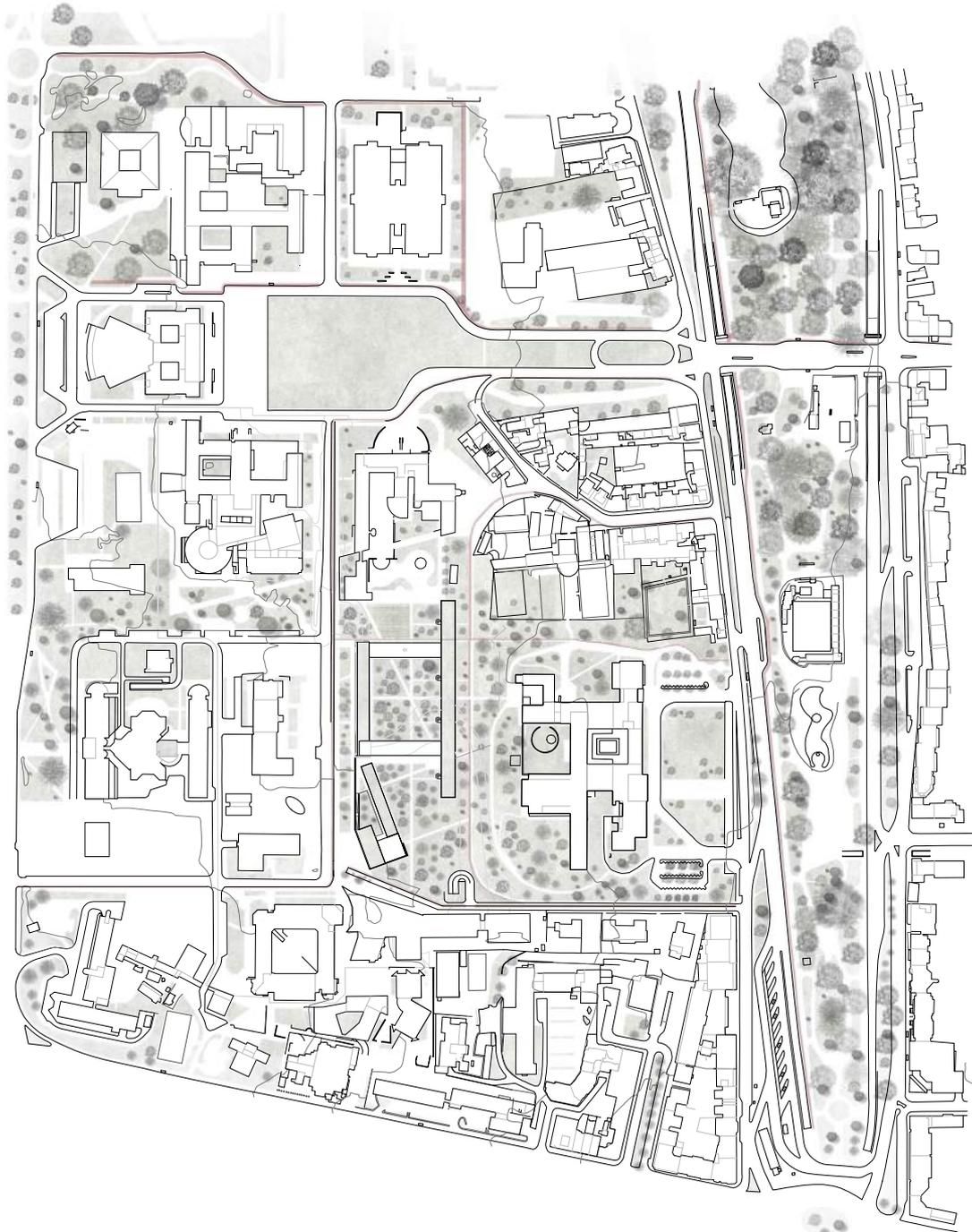
O Projeto pretende criar uma nova centralidade na Cidade Universitária, que procura coser a malha existente e criar relações com as universidades adjacentes, com a Biblioteca Nacional e com o Campo Grande, através da articulação de percursos e o prolongamento de espaços verdes.

É estruturado por uma diagonal, que pretende reforçar a permeabilidade de duas zonas de maior fluxo: o metro da cidade universitária e entrecampos, e um eixo, que é um prolongamento das áreas verdes permeáveis do jardim do Campo Grande e do jardim da Faculdade de Psicologia. A articulação dos espaços exterior foi uma premissa determinante, deste modo a extensão dos espaços verdes envolventes, não só atuam como elemento regulador da paisagem, mas também como elemento que promove a continuidade urbana. O projeto recria e conecta a ambiência do Jardim de Psicologia, pontuado por momentos de

contacto humano com a água e a natureza. As relações visuais e a permeabilidade do programa proposto são enfatizadas pelas diferentes cotas de acesso.

O resultado da extensão e união do jardim de psicologia e o jardim da Biblioteca é um parque urbano, pontuado pelos dois volumes suspensos que dão escala e subdividem o espaço como uma barreira visual que não compromete a circulação contínua ao nível do térreo. O parque urbano alberga zonas de recreio e de estar, é um local adequado para práticas desportivas, convívios e passeios; uma zona de cultivo e um pomar, que servem as cantinas e cafetarias do programa com produtos frescos. Aliada ao prolongamento da estrutura verde, promove a biodiversidade na paisagem urbana, como contribui para um microclima que melhora o conforto térmico humano, atenuando o efeito de “ilha de calor”.

A área de intervenção dispõe de uma rede de transportes públicos alternativos e de mobilidade suave. Como tal, propõem-se o prolongamento das vias cicláveis e o alargamento de passeios, optando-se por não conceber estacionamento, que de forma estratégica estes fatores contribuem para a redução dos habituais fluxos e congestionamento de automóveis (principalmente na rotunda de Entrecampos onde confluem as principais avenidas e na Alameda das Universidades), promove as redes de transportes que conectam a cidade e contribuem também para a redução dos níveis de CO₂, melhorando a qualidade do ar.

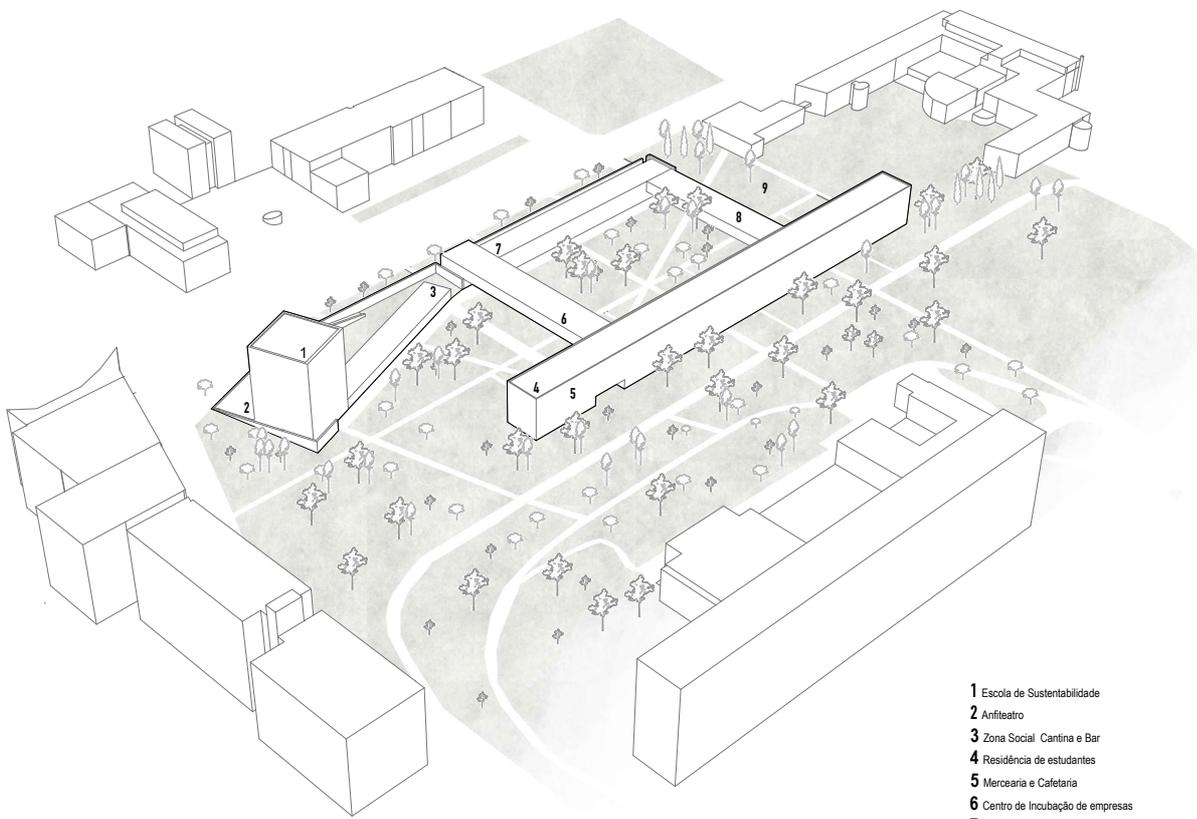


PLANTA DE IMPLANTAÇÃO

0 100

N





- 1 Escola de Sustentabilidade
- 2 Anfiteatro
- 3 Zona Social - Cantina e Bar
- 4 Residência de estudantes
- 5 Mercadoria e Cafeteria
- 6 Centro de Incubação de empresas
- 7 Salas e Oficinas
- 8 Centro de Apoio ao Estudo
- 9 Área propícia para produção alimentar

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO

4.3. A ESCOLA DE SUSTENTABILIDADE E O CENTRO DE INCUBAÇÃO DE EMPRESAS

4.3.1. VOLUMETRIA E PROGRAMA

A Escola de Sustentabilidade que engloba o Centro Transdisciplinar e o Centro de Incubação de Empresas foi desenvolvida no âmbito da proposta individual.

A Escola é marcada por cinco momentos distintos com uma única leitura: o volume da torre com um programa misto de salas e espaços multifuncionais⁷³, o volume do auditório com uma zona de exposições, o volume das zonas sociais com cantina, bar e sala de estudo, o volume de salas e oficinas e, por fim, o centro de incubação.

O volume das salas de aula e oficinas alinha-se com um dos braços do edifício da Faculdade de Psicologia e é contornado a poente por um muro de contenção, que ganha escala à medida que percorre a inclinação da Rua António Flores (sentido sul/norte). O muro de contenção divide duas cotas e dois espaços com características muito distintas, a rua com carácter de passagem, com uma paisagem urbana, e o parque urbano com carácter de permanência marcado pela paisagem verde. O alçado poente é caracterizado por um plano cego em betão branco com duas aberturas que definem as entradas principais do recinto. O betão branco estabelece uma relação com a materialidade do lugar, nomeadamente, com as fachadas do ISCTE, da Biblioteca Nacional e com a cantaria de pedra branca da fachada da Faculdade de Letras.

O volume das salas e oficinas afasta-se do muro permitindo a entrada de luz zenital entre a estrutura de madeira lamelada e o muro em betão branco.

A relação de paralelismo com a rua é interrompida com o volume das zonas sociais. Este é enviesado e separa-se progressivamente do muro num movimento que confronta o ângulo do ISCTE e convida à entrada para o parque urbano (sentido norte/sul). À medida que se separa, abre-se para um pátio de forma trapezoidal.

No remate do muro, há uma rampa que estabelece uma relação visual direta com a entrada norte do recinto do ISCTE.

A fachada nascente é marcada pela expressão da estrutura de madeira que de uma forma sóbria compõe o ritmo do alçado. Os painéis da fachada são compostos por um ripado de pinho não tratado, ligeiramente recuado, e por grandes vãos envidraçados que estabelecem uma relação visual com o parque urbano.

A horizontalidade que caracteriza os alçados é quebrada pela verticalidade da torre, que assume de forma clara um momento preponderante no projeto, com uma métrica marcada por longas vigas longitudinais e transversais, e pelos pequenos pátios que a desconstroem pontualmente.

⁷³ Área de implantação

A cobertura dos volumes da escola é coberta por um extenso prado, camuflando os volumes na zona arborizada.

O volume das Salas e Oficinas tem dois pisos assentes na cota 88 e 84. É acessível pelas duas aberturas no muro, que conduzem a dois átrios de receção de planta quadrangular. Estes resultam da intercessão com os volumes suspensos e estabelecem as relações entre os três pisos, através de duas escadas paralelas.

O corredor de distribuição que liga as diversas salas dos dois pisos, é um espaço marcado pela luz difusa da janela do teto, pela textura áspera do muro e por uma série alinhada de vigas de madeira horizontais. Um duplo pé direito acompanha o corredor e estabelece uma relação visual entre os dois pisos que se ligam através de um átrio central.

O piso superior possui dez salas multifuncionais de aproximadamente 180 alunos, destinadas à leção de aulas presenciais ou à distância, ou workshop. Estas salas são divididas por paredes, com um sistema de encaixe que permite facilmente a desmontagem e ampliação das salas.

No piso inferior, o espaço do corredor foi concebido como um local de aprendizagem e convívio, onde os diversos trabalhadores das oficinas pudessem trocar experiências e saberes. Assim, a tipologia das oficinas, devido às paredes dobráveis, permite a abertura de todas as paredes tornando o piso inferior num grande espaço aberto.

Este piso tem cinco oficinas que podem albergar um *Fablab*, um *Makerspace*, um *Repair Shop*.

Para além das oficinas, o último piso contempla uma zona de bar com acesso ao exterior, e um átrio destinado a exposições.

O volume do centro de incubação realça umas das entradas no alçado poente, possui uma organização linear com um corredor de distribuição. Cada módulo é equipado com uma receção e um escritório *open space*. No centro há uma escada em caracol exterior de acesso pelo piso térreo. O volume está assente em pilotis de madeira lamelada libertando a circulação do piso térreo.

No volume das zonas sociais, assente na cota 88, distribui-se programaticamente por uma galeria com vista direta para o parque urbano, o bar e a cantina, com vista para o pátio verde trapezoidal que é limitado pelo muro.

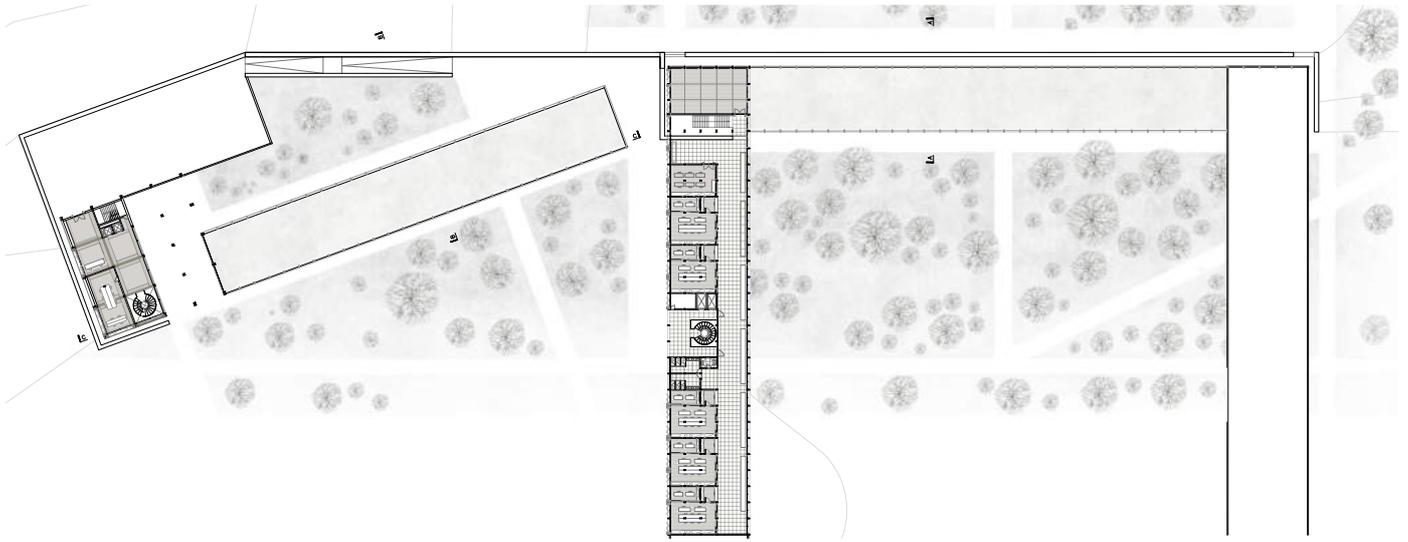
O volume do auditório é composto por uma receção e auditório com 144 lugares e um espaço multiusos para a realização de exposições e de conferências.

A Torre tem duas cotas de acesso, a cota 92 com ligação direta ao complexo do ISCTE, e a cota 88 com ligação ao Parque Urbano. Tem uma planta quadrangular com uma métrica perpendicular extremamente regular que é quebrada com longas escadas em caracol que distribuem verticalmente o programa.

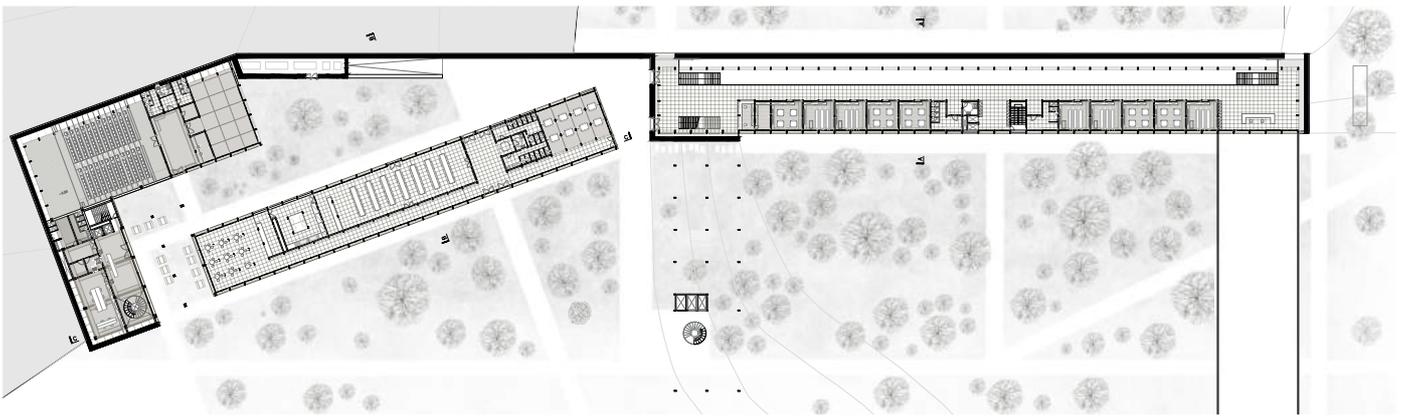
A torre tem oito andares, e é vazada pontualmente. Estes pátios abertos com alegretes diversificam os espaços. Nos dois primeiros andares, apenas permanece a estrutura permitindo a livre circulação de pessoas no piso térreo estabelecendo uma relação visual com o interior e o pátio trapezoidal.

A métrica regular da torre permite a desmontagem, reconfiguração e disposição de diferentes espaços e ambientes (salas, espaços para inventos, ateliers e gabinetes de investigação).

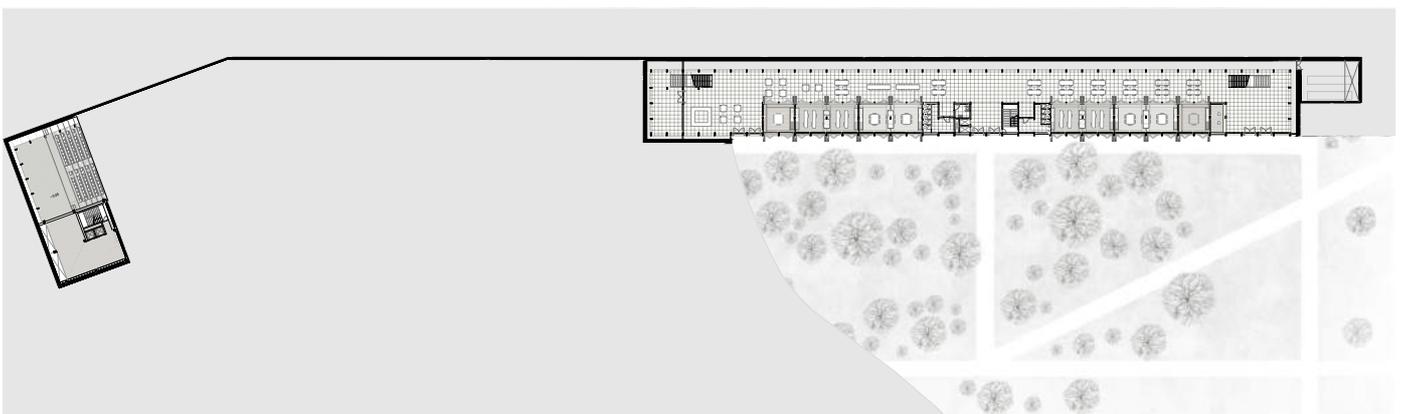
Em suma, a escola foi pensada e concebida com a preocupação de criar um campus aderente que promovesse a interação e a cooperação entre os alunos e professores de diversas áreas da investigação sobre a sustentabilidade, e estimulasse a criatividade e o contacto com a natureza.



PLANTA DO PISO -1



PLANTA DO PISO TÉRREO



PLANTA DO PISO -1



Torre

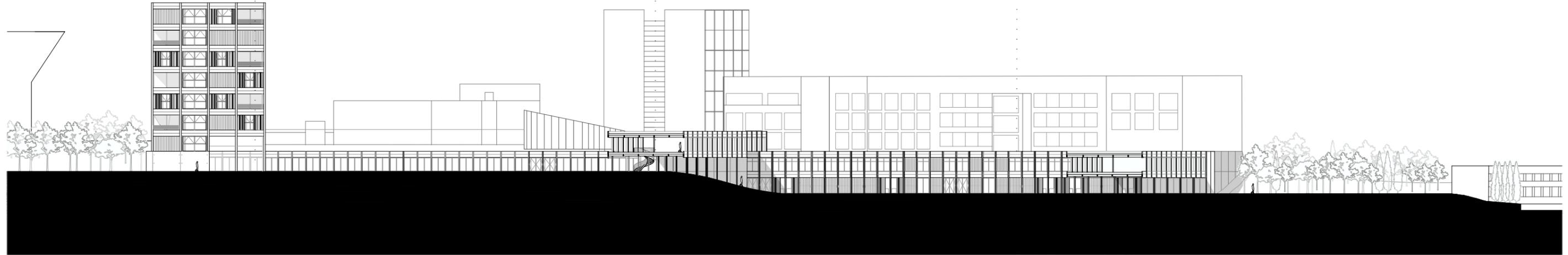
A verticalidade da torre quebra a horizontalidade do alçado e assume de forma clara um momento preponderante no projeto. É composta por uma métrica marcada por longas vigas longitudinais e transversais, e pelos pequenos pátios que a desconstruem pontualmente.

Fachada Nascente

A fachada nascente é marcada pela expressão da estrutura de madeira que de uma forma sóbria compõe o ritmo do alçado.

Oficinas

A tipologia das oficinas, devido às paredes dobráveis, permite a abertura de todas as paredes tomado o piso inferior num grande espaço aberto.



ALÇADO NASCENTE

Alçado Poente

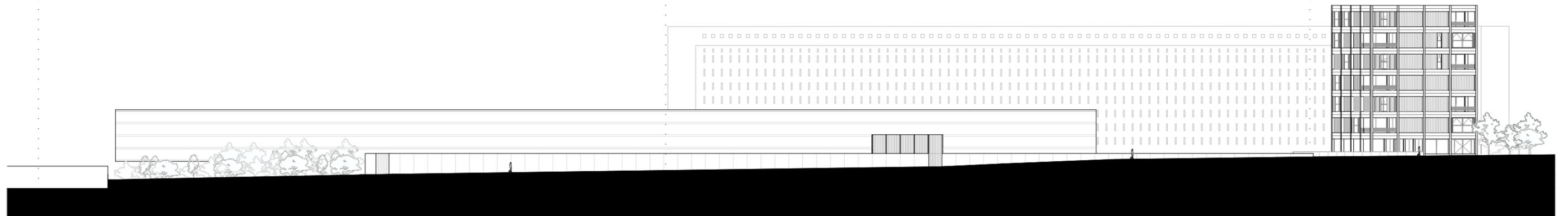
O alçado poente é caracterizado por um plano cego em betão branco com duas aberturas que marcam as entradas principais do recinto. Estabelece uma relação com a materialidade do lugar, nomeadamente, com as fachadas do ISCTE, da Biblioteca Nacional e com a cantaria de pedra branca da fachada da Faculdade de Letras.

Muro de Contenção

O muro de contenção em betão branco, que estabelece uma relação com a materialidade do lugar, nomeadamente, com as fachadas do ISCTE, da Biblioteca Nacional e com a cantaria de pedra branca da fachada da Faculdade de Letras.

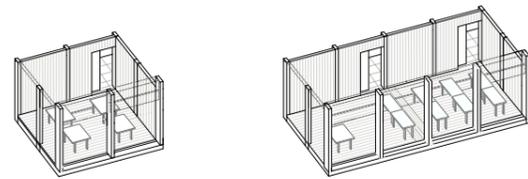
Volume do Centro de Incubação

Realça umas das entradas no alçado poente.

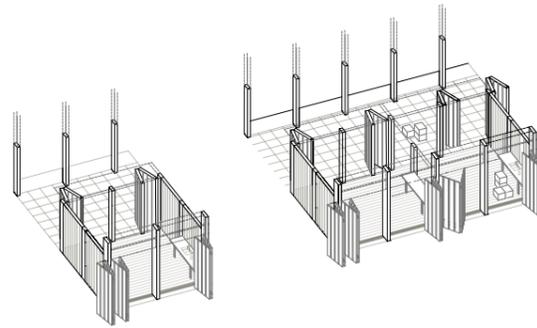


ALÇADO NASCENTE

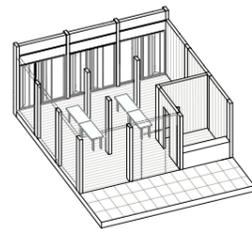
0 25



SALAS
25 m² ampliação para 50 m²



OFICINAS
25 m² ampliação para 50 m²



ESCRITÓRIOS PARA INCUBAÇÃO DE EMPRESAS
25 m²

PROGRAMA

PISO 0

Auditórios :

- Auditório 277 m²
- Entrada / Recepção 50 m²
- Sala Multiusos 120 m²

Torre:

- Entrada /Recepção 75m²
- Administração 50m²
- I.S 36 m²

Volume das Zonas Sociais:

- Bar 120 m²
- Cantina 160m²
- Cozinhas: 100m²
- Sala de Estudo 70 m²

Volume das Salas e Oficinas:

- Átrios 1 e 3 130m²
- Recepção 25 m²
- Salas 25 m² ou 50 m²
- I.S. 40m²
- Átrio 2 25 m²

PISO 1

Torre:

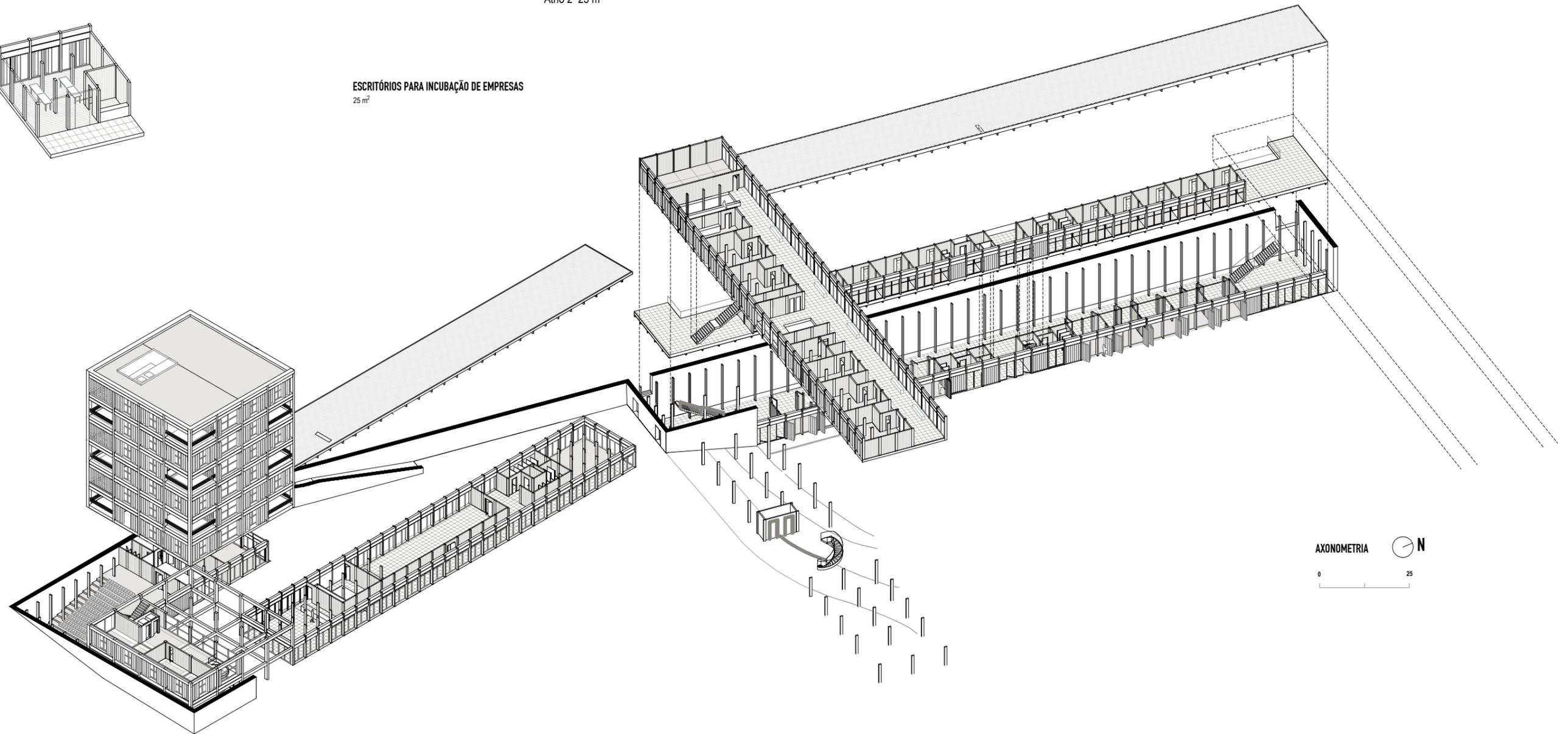
- Entrada / Recepção 25 m²
- Administração 50m²

Centro de Incubação de Empresas: Sala de

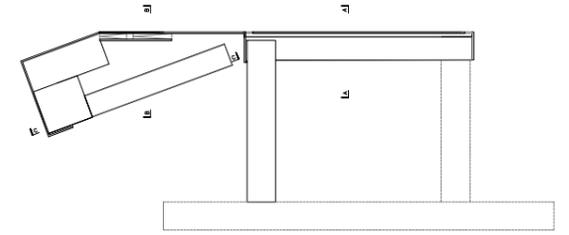
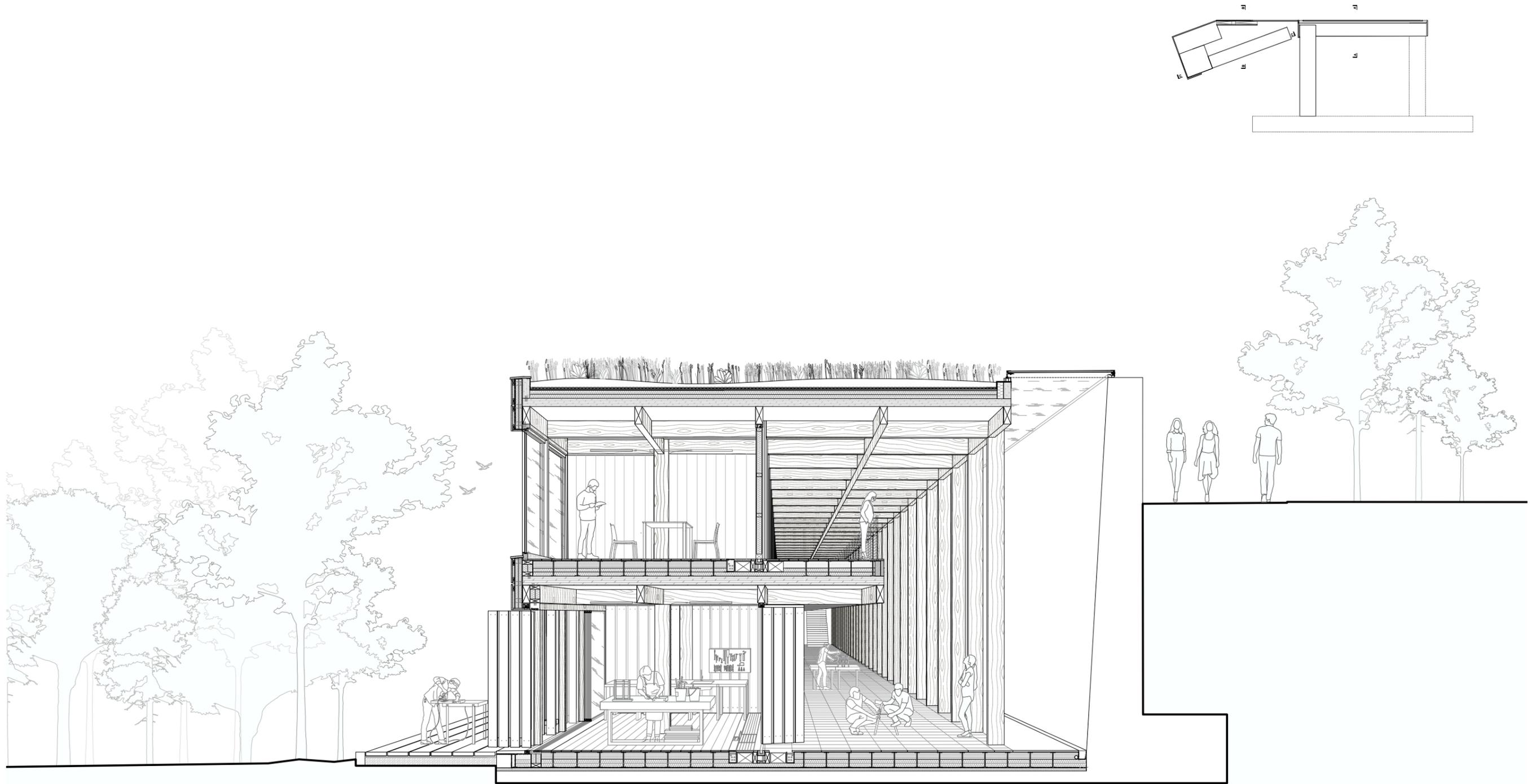
- Conferências 100 m²
- Escritórios (módulo) 50 m²

Piso -1

- Sala de Multiusos 80 m²
- Bar 100 m²
- Oficinas(adaptáveis) 50 m²
- Átrio (exposição) 130 m²

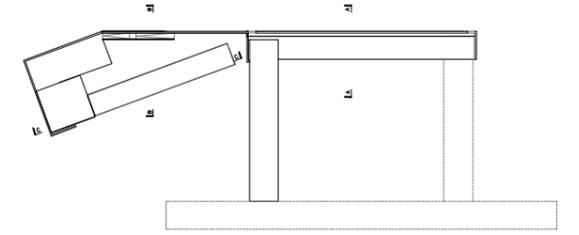


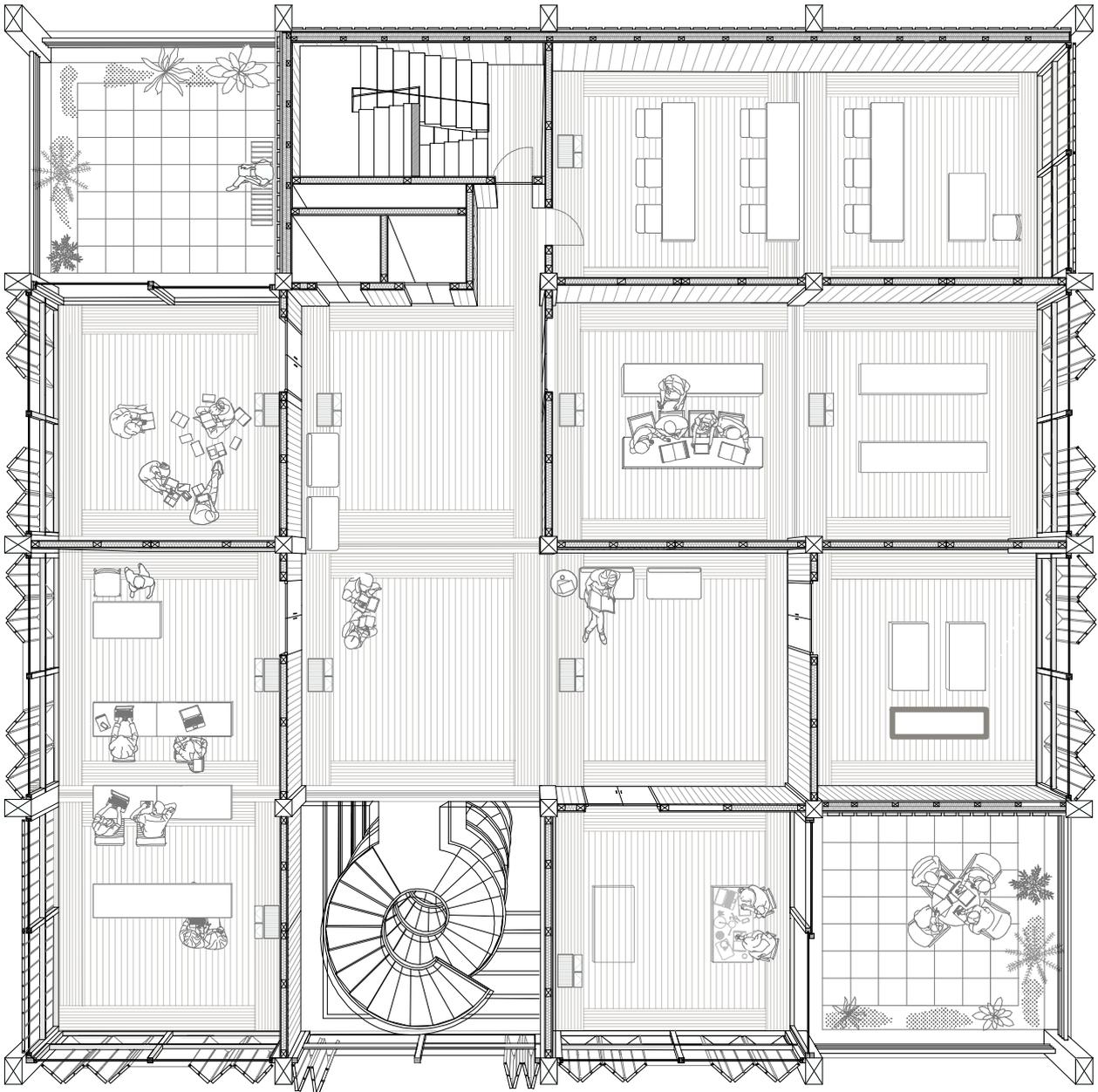
AXONOMETRIA  N
0 25



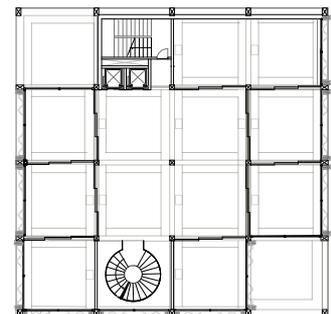
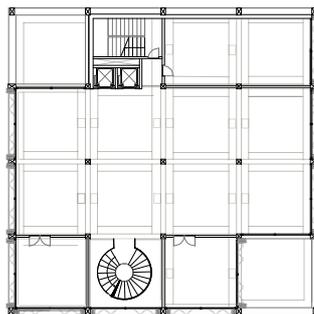
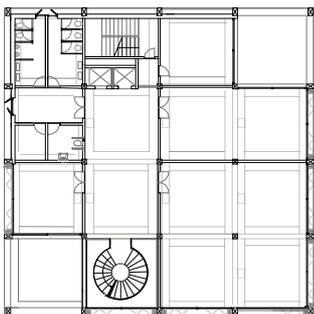
CORTE AA







0 PLANTAS TORRE 2



PLANTAS TORRE

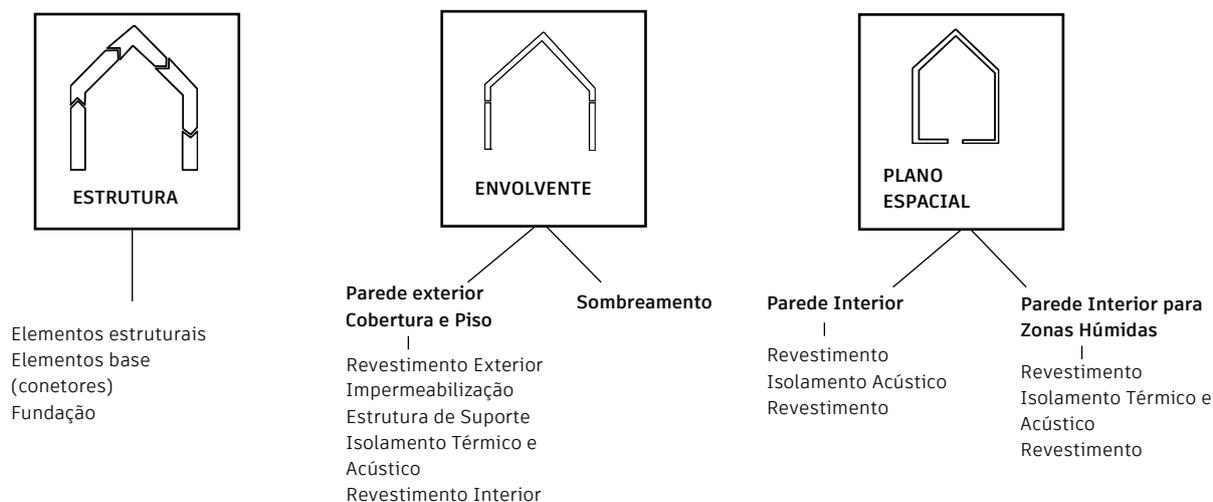
0 10

4.3.2. SISTEMA CONSTRUTIVO SELEÇÃO DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM RECURSO A RESÍDUOS

Nesta seção é efetuada a segunda fase da metodologia utilizada na seleção dos sistemas construtivos com recurso a resíduos para a Escola de Sustentabilidade e o Centro de Incubação.

A Segunda etapa, a Seleção dos Materiais, está diretamente relacionada com o desempenho funcional e a função que estes materiais vão exercer no projeto, esta dividida nas seguintes etapas:

2.1- Identificar as funções na Escola de Sustentabilidade.⁷⁴



⁷⁴ Neste âmbito Não foram analisados os sistemas: Serviços e Coisas

2.2 Identificar as necessidades funcionais:

Tabela 45 Identificação das necessidades funcionais da Estrutura.

		ESTRUTURA		
		Elementos estruturais	Elementos base (conetores)	Fundação
NECESSIDADES FUNCIONAIS	Capacidade de Resistência mecânica	Alta.	Alta.	Alta.
	Desempenho térmico	Não é relevante.	Não é relevante.	Não é relevante.
	Desempenho acústico	Não é relevante.	Não é relevante.	Não é relevante.
	Resistência à Água e Humidade	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.
	Resistência ao fogo	Não inflamável ou Retardador de fogo.	Não inflamável ou Retardador de fogo.	Não inflamável ou Retardador de fogo.
	Durabilidade	Alta	Alta	Alta
	Propriedades Sensoriais	É importante quando a estrutura é exposta. Na Escola de Sustentabilidade, a estrutura é exposta no exterior e interior, desta forma pretendia-se um material estrutural que contrastasse com a rigidez do muro de betão, com tons quentes.	É importante quando a estrutura é exposta, da preferência do arquiteto.	É importante quando a estrutura é exposta, da preferência do arquiteto.
OBSERVAÇÕES	Devem ser capazes de sustentar os sistemas e componentes como: paredes, pisos, janelas e portas, revestimentos, cobertura, instalações, além da ocupação e cargas acidentais. Necessitam de possuir uma resistência mecânica muito alta.	Devem ser capazes de fixar todos os elementos estruturais (vigas pilares e pisos) e ser capazes de resistir a tensões e esforços localizados. Devem permitir a montagem e desmontagem sem danificar os elementos.	Devem ser capazes de distribuir a carga e transferir cargas para o solo.	

Tabela 46 Identificação das necessidades funcionais da Envoltente.

		ENVOLVENTE				Sombreamento
		Parede Exterior E Cobertura e Piso		Isolamento térmico e acústico	Revestimento Interior	
		Revestimento Exterior	Impermeabilização			
NECESSIDADES FUNCIONAIS	Capacidade de Resistência mecânica ¹	Revestimento Parede e Cobertura: Indiferente Revestimento Piso: Média	Indiferente	Indiferente	Revestimento Parede e Cobertura: Indiferente Revestimento Piso: Média	Média
	Desempenho térmico	Indiferente	Indiferente	Alto	Não é relevante.	Não é relevante.
	Desempenho acústico	Indiferente	Indiferente	Alto	Não é relevante.	Não é relevante.
	Resistência à Água e Humidade	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	É preferível que o material seja hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	Depende da função do espaço, se for uma zona húmida o material deve ser hidrofílico, resistente á água ou impermeável.	Hidrofílico, resistente á água ou impermeável.
	Resistência ao fogo	Não inflamável ou Retardador de fogo.	Alta	Alta	Alta	Não inflamável ou Retardador de fogo.
	Durabilidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	Propriedades Sensoriais	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade, a intenção era escolher um material de revestimento que se enquadrasse com harmonia na zona arborizada do Parque urbano.	Indiferente	Indiferente	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade, os materiais de revestimento interior devem juntos ter uma coerência estética e funcional.	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade, a intenção era escolher um material de revestimento que se enquadrasse com harmonia na zona arborizada do Parque urbano.

Tabela 47 Identificação das necessidades funcionais do Plano Espacial.

		PLANO ESPACIAL				
		Parede interior		Parede Exterior		Guarda
		Revestimento	Isolamento Acústico	Revestimento para Zonas Húmidas	Isolamento térmico e acústico	
NECESSIDADES FUNCIONAIS	Capacidade de Resistência mecânica¹	Alta	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Média
	Desempenho térmico	Indiferente	Indiferente	Alto	Indiferente	Indiferente
	Desempenho acústico	Indiferente	Alto	Alto	Indiferente	Indiferente
	Resistência à Água e Humidade	Hidrofílico, resistente à água ou impermeável	Hidrofílico, resistente à água ou impermeável	É preferível que o material seja hidrofílico, resistente à água ou impermeável	Depende da função do espaço, se for uma zona húmida o material deve ser hidrofílico, resistente à água ou impermeável.	Hidrofílico, resistente à água ou impermeável Hidrofílico, resistente à água ou impermeável
	Resistência ao fogo	Não inflamável ou Retardador de fogo	Alta	Alta	Alta	Não inflamável ou Retardador de fogo Não inflamável ou Retardador de fogo
	Durabilidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta Alta
	Propriedades Sensoriais	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade e, os materiais de revestimento interior devem em conjunto ter uma coerência estética e funcional.	Indiferente	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade e, os materiais de revestimento interior devem em conjunto ter uma coerência estética e funcional.	Depende da intenção do arquiteto. No caso da escola de Sustentabilidade, os materiais de revestimento interior devem em conjunto ter uma coerência estética e funcional.	Depende da intenção do arquiteto. Na escola, pretendia-se um material que não impusesse uma barreira visual, e deixasse a luz passar.

2.2 - Selecionar os materiais aptos para desempenhar essa função e aplicá-los no edifício.

Nesta etapa serão identificados todos os materiais que podem cumprir as funções estabelecidas.

Tabela 48 Casos de estudo que podem cumprir as funções estabelecidas

ESTRUTURA		
Elementos estruturais	Elementos de conexão	Fundação
→ D3 ABWAB PAVILION	Nenhum é apto a esta função.	Nenhum é apto a esta função.

ENVOLVENTE					
Parede Exterior					
Módulos Completos	Revestimento Exterior	Impermeabilização	Revestimento de Cobertura	Isolamento Térmico e Acústico	Revestimento Interior)
→ POLLIBRICK → BIMA'S MICROLIBRARY → PET PAVILION CANCUBE (caso não possua tintas prejudiciais)	→ PAVILLON CIRCULAIR → POLISH PAVILION AT MILAN EXPO 2015 → AMILOT → VEGAN HOUSE → COLLAGE HOUSE	Nenhum é apto a esta função.	→ TUFF ROOF → REMATERIALS ROOF PANELS	→ WINE CORK TILES → LÃ DE PET → ESPUMA DE MADEIRA → THE GROWING PAVILION → SUNFLOWER ENTREPRISE	(analisado no plano espacial)

PLANO ESPACIAL				
Módulos Completos	Revestimento	Isolamento acústico	Revestimento de Zonas Húmidas	Guarda
Translucido: → PET PAVILION (inflamável) → RISING MOON PAVILION (inflamável) → POLLIBRICK → UNITED_BOTTLE e PET (B)RICK → BIMA'S MICROLIBRARY → CANCEBE (caso não possua tintas prejudiciais)	→ THE GROWING PAVILION → SUNFLOWER ENTREPRISE → HY-FI → MYCOFORM → DECAFE TILES → PLANTCULTURE → CHIP [S] BOARD → ARTEK PAVILION → PAVILLON CIRCULAIR → POLISH PAVILION AT MILAN EXPO 2015 → AMILOT → VEGAN HOUSE → COLLAGE HOUSE → SONGWOOD → ALKIMI → STABILIZED ALUMINIUM → BIOFLEXI → NEWSPAPERWOOD	→ WINE CORK TILES → LÃ DE PET → ESPUMA DE MADEIRA → THE GROWING PAVILION → SUNFLOWER ENTREPRISE	→ RECY BLOCKS → TAILORED TILE E PRETTY PLASTIC → ALKIMI → STABILIZED ALUMINIUM → TRASHHELL → BYFUSION BYBLOCK → CANCEBE	→ DUBAI DESIGN WEEK 2015 PAVILION
EXCLUIDOS POR NÃO DE ADQUAREM ÀS FUNÇÕES EXIGIDAS				
	Observações			
1. AIRLESS 2. UBUNTUBLOX 3. SONGWOOD 4. AGRICULTURAL WASTE PANELS-	1. Não se adequa as funções necessárias. 2. Não se adequa as funções necessárias. 3. Conteúdo tóxico. 4. Conteúdo tóxico.			

Após a identificação dos materiais e sistemas construtivos aptos às funções estabelecidas, conclui-se que a maioria dos casos de estudo não tem resistência mecânica suficiente para exercer uma função estrutural num edifício.

Desta forma a pluralidade da amostra está apta a exercer as funções de acabamento interior, revestimento exterior e isolamento acústico, com maior incidência na função de revestimento interior.

Importa salientar que os materiais de base biológica tendem a ser menos duráveis que os materiais tecnológicos pois são geralmente materiais hidrofílicos e estão propensos à ação de fungos. Como solução devem permanecer em locais secos ou ser revestidos com materiais adequados e saudáveis, como por exemplo no caso de estudo Sun Flower Enterprise o material é revestido com um verniz de girassol.

O mesmo fenómeno acontece com a resistência ao fogo, os materiais e sistemas construtivos podem ser otimizados através de soluções de proteção passiva contra incêndios como tintas e revestimentos saudáveis, por exemplo, a resina de tanino de acácia negra e a resina de lignina modificada (*epóxi-lignina*) (Peres, Moritz, & Ferreira, 2019).

Como os resultados revelaram diversas hipóteses para cada uma das funções estabelecidas com bom desempenho ambiental, a seleção teve por base requisitos estéticos refletindo a preocupação de conceber espaços com uma narrativa coerente e apreciada pelos usuários e pela sociedade.

Acrescenta-se ainda que escolha do sistema construtivo e os materiais usados na Escola de Sustentabilidade, foi influenciada pelos princípios de design para edifícios circulares, nomeadamente o design para a desmontagem, o design para a adaptabilidade e o design com materiais sustentáveis.

O sistema construtivo permite após a vida útil do edifício a recuperação de elementos e componentes sem danos e durante a fase de uso, a atualização dos componentes e serviços e a possibilidade de reconfiguração do layout espacial. Deste modo, irá contribuir para desacelerar fluxos, pois o edifício mantém-se útil e com valor, adaptando-se às mudanças promovidas pelo contexto social, e fechar fluxos de material à escala de Lisboa, garantido que os componentes e materiais são libertados e reinseridos em novos ciclos de uso.

A escolha de materiais e sistemas construtivos com recursos resíduos produzidos na Cidade de Lisboa, previamente selecionados e categorizados de acordo com parâmetros ambientais, possibilitou a construção com novos materiais sustentáveis e reduziu a necessidade de recursos virgens.

A escolha de um material virgem para a estrutura foi motivada pelas exigências estruturais do edifício, e pela intenção de evidenciar o contraste com a materialidade do muro de contenção. Assim, optou-se por usar nos elementos verticais da estrutura *Glued Laminated*

Timber,⁷⁵ (30x50; 30x30;15x30; 15x50 cm), e o piso *Cross-laminated timber CLT* (19 cm), por cumprirem os requisitos estéticos e estruturais, com um impacto ambiental e pegada carbônica reduzidos. Os elementos são unidos por um conector metálico oculto.

O design modelar, com uma métrica retilínea fixa, de cinco em cinco metros, permite que a medida dos painéis da fachada e as paredes interiores seja fixa e padronizada, reduzindo o número de diferentes componentes e elementos.

Os materiais, elementos e componentes foram agrupados por funções em sistemas independentes. A independência das principais funções do edifício (estrutura, envolvente, serviços e coisas) assegurará o processo de desmontagem dos sistemas e dos seus componentes sem comprometer os restantes sistemas do edifício.

A estrutura é independente das paredes exteriores unidas por um conector metálico oculto. Os serviços, como eletricidade, condutas de ventilação e água são alojados num piso sub-elevado.

As paredes interiores cuja única função é separar e isolar os espaços e sons, foram desenhadas para permitir uma desmontagem fácil, assegurando reconfigurações no layout interior do edifício. São unidas à estrutura na parte superior por perfis metálicos revestidos com madeira, e, na parte inferior, por um sistema de encaixe semelhante ao macho-fêmea equipado com molas.

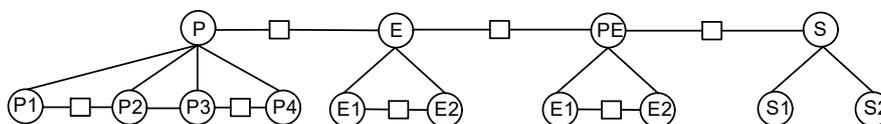


Figura 327 Padrão Relacional dos sistemas da Escola de Sustentabilidade. P-Envolvente E-Estrutura PE-plano espacial S-Serviços

As molas têm a função de certificar que a parede se mantém fixa ao elemento de conexão superior e facilitar a desmontagem da parede. A sequência de Desmontagem baseia-se em três passos:

1. Exercer uma força lateral na parede.
2. Abrir a ranhura que se localiza na superfície parede. A ranhura serve de apoio ao passo seguinte.⁷⁶
3. Exercer uma força vertical de cima para baixo, separando a parede da parte superior do elemento.

⁷⁵ À semelhança do projeto *Wood Innovation and Design Center*, a estrutura não foi revestida por um material não combustível, pois, estes materiais quando expostos ao fogo carbonizam lentamente, oferecendo a proteção contra incêndio necessária.

⁷⁶ Também é local onde é colocada a etiqueta de identificação (passaporte) da parede;

As paredes exteriores, são revestidas por ripas de lariço reutilizadas de vários objetos como móveis, portas, sobras de carpintarias e estaleiros. Assim, a madeira é o material primordial no alçado nascente fruto da intenção de enquadrar o edifício na zona arborizada.

As ripas de lariço estão assentes em dois sarrafos que estão aparafusados ao CHIP [S] BOARD. A espuma de madeira assume a função do isolamento pois apresenta um ótimo desempenho térmico e acústico e um bom comportamento ao fogo. É utilizado um perfil angular metálico que liga a estrutura de suporte de madeira ao CHIP [S] BOARD do lado exterior, para evitar a interrupção completa do isolamento e diminuir a ponte térmica.

Tal como as paredes exteriores, os módulos das paredes interiores são pré-fabricadas, como forma de otimizar o tempo de montagem e de desmontagem (montagem paralela) e reduzir o desperdício em obra.

Os módulos das paredes interiores variam segundo a função dos espaços, neste sentido, foram criados quatro módulos diferentes, utilizando diferentes tipos de resíduos. Dois módulos para as zonas secas; um módulo para as zonas húmidas; um módulo translúcido.

O primeiro módulo de parede interior opaca é composto por paletes de madeira. A palete tem a função de suportar a parede e a função de revestimento. Nas extremidades superior e inferior das paletes estão os machos do sistema de encaixe. A espuma de madeira assume aqui o papel de isolamento acústico e está parcialmente visível.

O segundo módulo de parede opaca é composto por uma estrutura de suporte em pinho e espuma de madeira. O revestimento selecionado da amostra da secção 4.4.2, foi o *THE GROWING PAVILION* e o *SUNFLOWER ENTREPRISE*, estes são aparafusados diretamente à estrutura.

O módulo da parede para zonas húmidas é composto por uma estrutura de suporte em pinho. A espuma Pet assume a função de isolamento acústico porque é o material de isolamento com a maior resistência à humidade da amostra da 4.4.2. Para o sistema de revestimento foi utilizado os Pretty Plastics.

O módulo translúcido é composto por uma parede de correr de três folhas que possibilita uma abertura rápida dos espaços. Este módulo é usado num dos pisos da torre destinado a salas de estudo, leitura e trabalhos em grupo. A parte opaca é composta por ripas de lariço e a parte translúcida por painéis RECY BLOCKS, de cor bege fixos a uma estrutura de madeira.

O material escolhido para a guarda foi as molas de colchões usados com um sistema semelhante ao usado no pavilhão da *Dubai Design Week*.

Os alçados da torre são revestidos com portadas automáticas de madeira reaproveitadas, permitindo aos usuários adaptar a luminosidade dos espaços.

As oficinas são equipadas com uma janela de tres folhas e com um sistema de portadas de madeira manual que permitem a abertura para o exterior. No interior são equipadas com paredes desdobráveis encaixadas num trilho que á semelhança das portadas permitem a extensão do programa para o corredor.

COBERTURA

- Telha ondulada TUFF ROOF
- Folha de Impermeabilização EPDM 0.8 cm
- Chip [s] board 1.8 cm
- Isolamento espuma de Madeira 2x8 cm
- CLT 13 cm
- Viga Madeira Lameada 39,5x50,5 cm

PISO EXTERIOR:

- Lagetas de StoneCycling
- Estrutura para Piso Falso Regulável
- GeoTextil 0.55 cm
- Folha de Impermeabilização EPDM 0.8 cm
- Chip [s] board 1.8 cm
- Argila Expandida
- Isolamento : Espuma de Madeira 2x 8cm
- CLT 19 cm

ALESRETE:

- Sistema de drenagem
- Membrana impermeável
- Membrana anti-raízes

PISO INTERIOR:

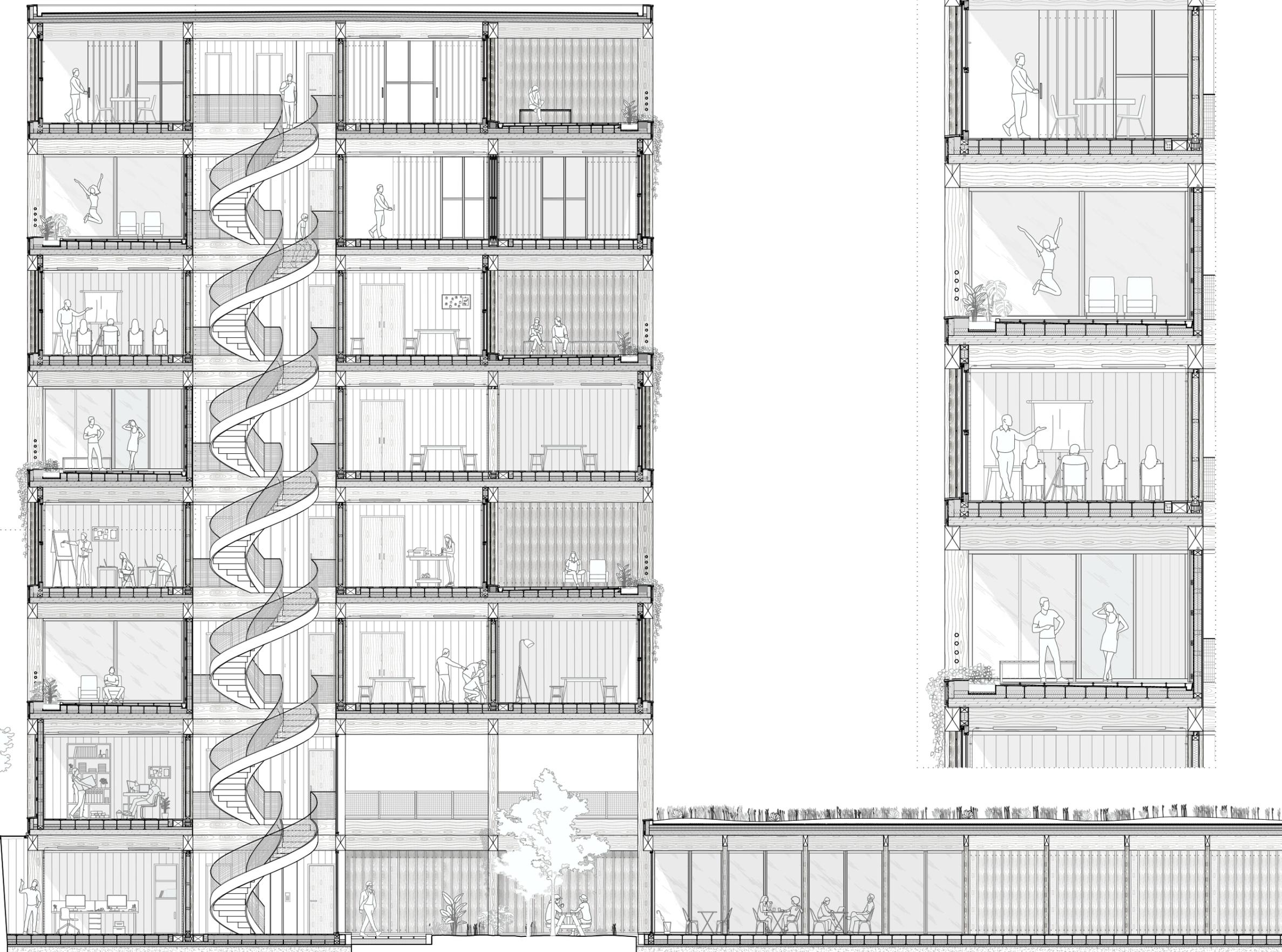
- Soalho de Madeira 3 cm
- Chip [s] board 1.8 cm
- Estrutura para Piso Falso Regulável
- Argila expandida
- Isolamento : Espuma de Madeira 2x 8cm
- CLT 19 cm

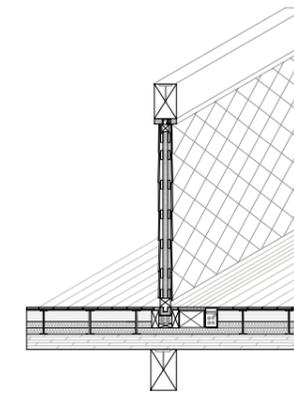
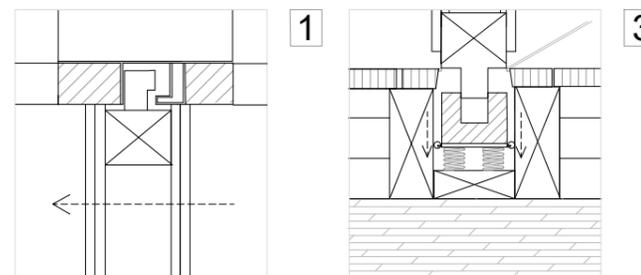
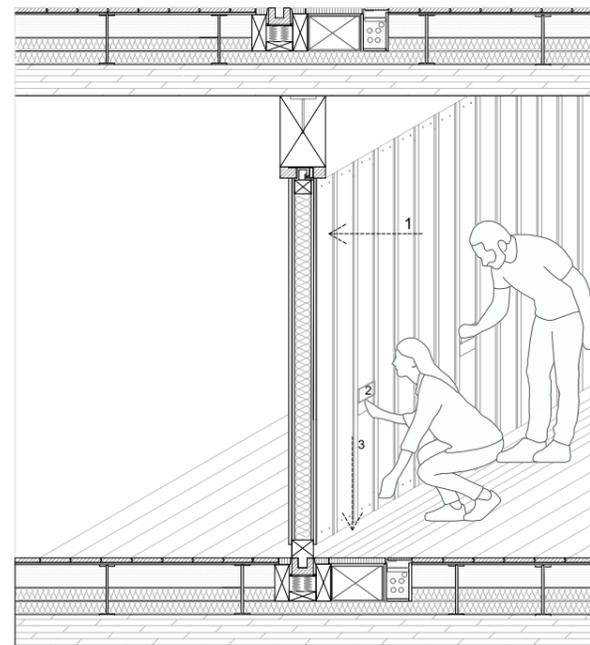
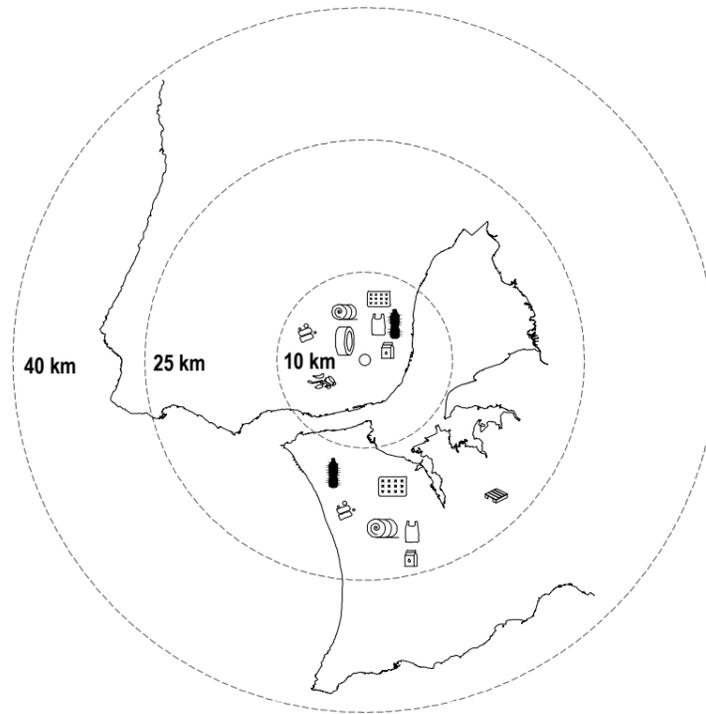
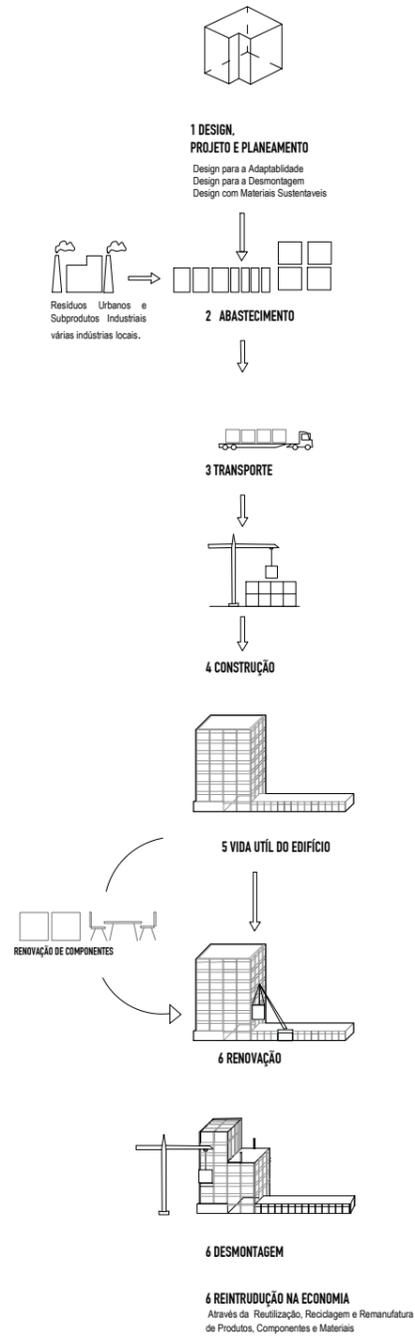
PAREDE EXTERIOR

- Ripas de Lariço Reutilizadas 3 cm
- Caixa de Ar
- Tyvek
- Espuma de Madeira 2x8 cm
- Conetor de Fixação Metálico Angular (L)
- Chip [s] board 1.8 cm
- Ripas de Lariço Reutilizadas 3 cm

GUARDA

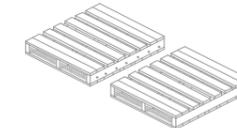
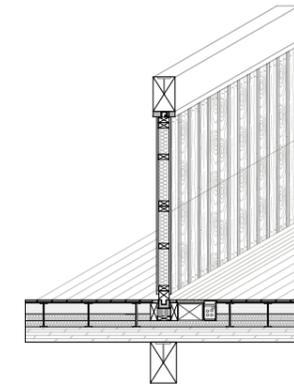
- Estrutura de molas de colchões usados





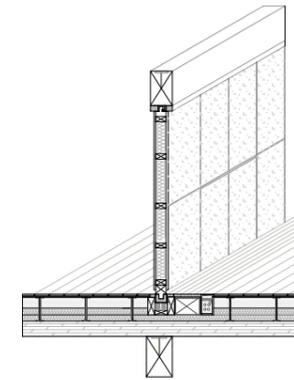
PAREDE DESMONTÁVEL INTERIOR PARA ZONAS HÚMIDAS

- Sistema de Revestimento Prety Plastics
- Espuma de Pet
- Estrutura de Madeira



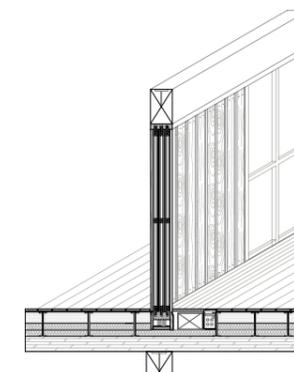
PAREDE DESMONTÁVEL INTERIOR OPACA 3

- Paletes (função de revestimento e estrutura)
- Espuma de Madeira



PAREDE DESMONTÁVEL INTERIOR OPACA 1 e 2 COM ABSORÇÃO SONORA ELEVADA

- Estrutura de madeira
- Espuma de Madeira
- Painel: *Sunflower Entrepice*
- ou Painel *-Growing Pavilion*



PAREDE DESMONTÁVEL INTERIOR DE CORRER OPACA E TRANSLÚCIDA 3

- Folha opaca :
- Estrutura de madeira
 - Ripas de Lariço Reutilizadas
- Folha translúcida:
- Estrutura de Lariço
 - Recy Blocks

4.4. ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS

Os resultados dessa investigação foram positivos tendo em consideração o espaço de tempo para a sua realização.

O enquadramento teórico foi essencial para o desenvolvimento do trabalho. A economia circular é um tema relativamente novo sobretudo no que toca ao ambiente construído e muitos teóricos abordam os temas numa perspetiva própria. O que aliado à complexidade dos edifícios e do próprio conceito de economia circular, dificultou numa fase inicial a compreensão de alguns conceitos.

A divisão da temática em duas vertentes estratégicas (do domínio do design e do domínio da indústria) facilitou a síntese e exposição da informação.

A seleção dos casos de estudos envolveu um trabalho minucioso de recolha e tratamento de informação, nem sempre fácil de realizar uma vez que a maioria dos casos de estudo careciam de informações precisas sobre os métodos de produção e características funcionais.

A elaboração de parâmetros de seleção foi um método eficaz de analisar o desempenho ambiental e funcional das diferentes soluções de construção, em edifícios circulares. Importa referir que as limitações encontradas na fase de triagem e seleção de materiais, nomeadamente na comparação do desempenho das soluções, poderiam ter sido resolvidas através da realização de uma análise multicritério com os vários parâmetros do quadro de seleção proposto na secção 3.3.

Salienta-se a dificuldade em selecionar casos de estudo para exercer as funções de estrutura e de revestimento exterior na Escola de Sustentabilidade, uma vez que a maioria da amostra não apresentava um desempenho adequado a estas funções.

A realização do mapa de colheita foi condicionada pela conjuntura pandémica atual, que não permitiu um estudo *in loco*, mas, ainda assim, foi possível a sua realização com o rigor espetável.

Em suma, foi possível desenvolver o projeto da escola de Sustentabilidade utilizando materiais com recurso a resíduos locais, viabilizados a partir de casos de estudo.

CONCLUSÃO

O século XX foi um período de progresso tecnológico e crescimento económico, acompanhado por um aumento do uso insustentável de recursos e produção excessiva de resíduos. Característico de um modelo Linear.

A crescente preocupação com os impactos das alterações climáticas no nosso planeta e o reconhecimento dos limites dos seus recursos naturais levaram a sociedade a procurar alternativas e a repensar os processos metabólicos das cidades, em prol do equilíbrio entre o meio natural e o construído.

A Economia Circular é um conceito emergente com uma abordagem inspirada nos metabolismos naturais, onde materiais, componentes e produtos circulam em *Loops* contínuos na economia. O crescimento económico deixa de estar dependente da extração de novas matérias-primas, e o valor intrínseco dos recursos é mantido e aprimorado.

O setor da Construção é o maior consumidor de recursos e um grande produtor de resíduos na cidade, e tem um papel fundamental na economia global, portanto deve assumir um papel impulsionador na transição para a economia circular.

A complexidade e a diversidade da composição dos edifícios enfatizam a necessidade de uma transição integrada, tendo em consideração todo o ciclo de vida do edifício e dos seus componentes (projeto, construção, uso e desconstrução). Por esse motivo a investigação foi dividida duas vertentes estratégicas: o Design, essencial para que os restantes estágios do ciclo de vida dos edifícios e dos seus componentes funcionem segundo uma economia circular; e as estratégias do domínio da indústria da construção, estratégias de operação da indústria, como recolha, rede de transporte, mercados de reutilização e reciclagem e modelos de negócio.

A investigação focou-se em estratégias que permitem estreitar, desacelerar e fechar fluxos de material. Dentro deste raciocínio e com base em diversos teóricos como (Beurskens & Bakx, 2015) (Crowther, 2005) (Durmisevic, 2006) (Arup, 2016) (Cheshire, 2016) (Kubbinga, et al., August 2018), destacou-se três estratégias de design para edifícios circulares, nomeadamente o design para a adaptabilidade, o design para a desmontagem e o design com materiais sustentáveis.

As estratégias de design foram abordadas segundo um pensamento sistémico e uma abordagem *top-down*, considerando que um edifício é composto por um conjunto hierarquizado de produtos de construção divididos por camadas funcionais, ou seja, sistemas que são responsáveis pelas funções principais do edifício: envolvente, estrutura, serviços e as coisas. Estes, por sua vez, podem ser divididos em componentes, elementos e materiais.

O design para a adaptabilidade expressa a capacidade que o edifício terá de se manter útil ao longo do tempo, mesmo que o contexto em que se insere mude drasticamente, sem que seja preciso remodelar ou demolir. Assim, espera-se que um edifício adaptável possa acomodar mudanças como atualização da performance, mudanças motivadas por alterações de mercado, mudanças de usos e tarefas, entre outras. Dentro desta lógica conclui-se que um edifício só

poderá ser considerado adaptável na totalidade do conceito, se na fase de projeto for considerada a desmontagem dos seus materiais, componentes e sistemas.

O design para a desmontagem tem como principal objetivo garantir a recuperação de materiais, componentes e sistemas sem danos, durante e após a vida útil do edifício e, assim assegurar que todos os produtos de construção sofram opções de fim de vida de forma hierárquica, optando sempre que possível pela recuperação nos níveis mais altos da hierarquia de produtos de construção, preservando o valor incorporado (mão dobra, carbono e energia ...).

O design com materiais sustentáveis privilegia a seleção de materiais de construção de acordo com padrões de sustentabilidade, como forma de garantir a qualidade dos produtos. O foco desta estratégia está na maximização da eficiência do material, ou seja, na preservação dos stocks de material, minimizando novos inputs de recursos. Desta forma, os materiais devem ser selecionados para que possam seguir as várias opções de fim de vida de produtos de construção circulares.

O domínio das estratégias da indústria da construção abrange toda a cadeia de fornecimento, ou seja, a indústria de materiais e produtos de construção, as empresas de construção, redes de transporte, modelos de negócio e empresas de tratamento de resíduos. Cada um destes agentes está interligado e tem um papel ativo na transição.

Os edifícios para além de serem construídos com materiais locais, saudáveis, reutilizados e reciclados, passam a ser vistos como um banco de materiais e todos os componentes e sistemas estão identificados em passaportes. Após a vida útil do edifício são libertados e inseridos na economia regional. Para o efeito é uma necessária a criação de um mercado logístico adaptado a cada região, vocacionado para a recuperação de stocks de material.

Os arquitetos, indústrias de construção e de materiais devem identificar e analisar os materiais disponíveis na região, através de mapas de colheita. Em simultâneo as organizações governamentais regionais devem apostar em novas ferramentas de gestão de recursos e resíduos (*inputs* e *outputs*), e na adoção de estratégias baseadas no Geodesign e na Simbiose Industrial, identificando possíveis trocas de material entre indústrias com proximidade geográfica.

Na sequência deste pensamento, a terceira parte da investigação, explora a possibilidade de transformar resíduos urbanos e subprodutos industriais em materiais de construção através da criação de sinergias urbanas.

O inventário de materiais e sistemas construtivos apresentado tem como base a reutilização indireta e a reciclagem *upcycling* de resíduos pós consumo e subprodutos de vários setores industriais, de plástico, madeira, papel, aço, alumínio e resíduos agrícolas.

Foi desenvolvida uma metodologia que se considera adequada para a avaliação e seleção qualitativa dos novos materiais e sistemas construtivos em estudo. Assim, foram defendidos parâmetros de desempenho ambiental (nomeadamente, a complexidade dos processos de transformação, o potencial de reintrodução no ciclo biológico ou tecnológico, o

conteúdo tóxico e a disponibilidade local) e de desempenho funcional (a capacidade de resistência mecânica, o desempenho térmico, o desempenho acústico, a resistência à água e humidade, a resistência ao fogo e a durabilidade).

Após a avaliação, foi possível obter uma síntese do desempenho de todas as soluções estudadas.

A realização do mapa de colheita, permitiu concluir que todas as soluções construtivas estudadas utilizam como recurso resíduos que são gerados num raio máximo de 40km da área de intervenção, viabilizando a sua reprodução no contexto da cidade de Lisboa. Isto deve -se ao facto de os fluxos de resíduos serem gerados de forma recorrente pela sociedade independentemente do país ou região, salvo algumas exceções como os resíduos da cultura de girassol, ou da cultura de cereais.

As estratégias de *design* e projeto circular foram integradas com sucesso no projeto final de arquitetura.

Na Escola de sustentabilidade os componentes, sistemas e serviços são atualizados e reconfigurados durante a fase de uso adaptando-se às mudanças promovidas pelo contexto social, mantendo o edifício útil e com valor. No fim de vida da escola de sustentabilidade, os materiais, componentes e sistemas são reinseridos em novos ciclos de uso.

A escolha de materiais e sistemas construtivos com recursos resíduos produzidos na Cidade de Lisboa, foram baseadas nas necessidades funcionais e estéticas do edifício, possibilitando a construção com novos materiais sustentáveis e reduzindo a necessidade de recursos virgens.

Os materiais e sistemas construtivos apresentados nesta dissertação, refletem o enorme potencial dos resíduos produzidos nas cidades como recurso para a indústria da construção. Apesar destes materiais apresentarem muitas limitações funcionais introduzem novos métodos e tecnologias de produção em circuito fechado, iniciando uma nova área de investigação que ganhará dinâmica e destaque nos próximos anos.

As estratégias circulares de design, tornar-se-ão, num futuro próximo, uma prática comum na Arquitetura, refletindo novos estilos arquitetónicos, acompanhados por mudanças significativas na indústria da construção, nomeadamente novos modelos de negócio, mercados de reutilização e reciclagem e a criação de redes de recolha, de transporte e armazenamento.

WORKSHOP

O Workshop foi desenvolvido no âmbito da disciplina Projeto Final de Arquitetura, realizou-se durante uma semana e contou com a presença de três ateliers de Arquitetura, nomeadamente a Embaixada, Rua e Extraestúdio. Os alunos foram divididos em três equipas, cada atelier lançou um exercício. Dentro de cada equipa foram criados grupos de seis pessoas.

O trabalho desenvolvido foi proposto pelo atelier Extraestúdio, e tinha como desafio intervir numa torre habitacional, no complexo Residencial da Quinta do Morgado, construída em 1970 para albergar um grupo de pessoas que viviam em casas camarárias. O projeto foi da autoria do arquiteto Alberto Reaes Pinto.

Os edifícios do complexo caracterizam-se por uma métrica reticular e uma construção pré-fabricada, com paredes portantes e uma estrutura porticada, com vigas e pilares de betão armado. A opção de usar painéis pré-fabricados revelou-se na época uma boa estratégia para diminuir o tempo de construção e de conceber habitações económicas.

Cada piso tinha quatro apartamentos, duas tipologias T2 e duas T3.

No âmbito do Workshop foi realizada uma visita ao local e, concluiu-se que as tipologias possuem espaços com áreas muito reduzidas e com pouco conforto térmico e acústico. O piso térreo era desabitado resultando num espaço pouco convidativo.

O Exercício consistia em intervir numa das torres habitacionais com o intuito de transformar as tipologias em espaços que nós gostássemos de habitar.

O conceito da proposta partiu da ideia de ampliar verticalmente as torres e de forma propositalmente exagerada, e assim criar um arranha céus com vista para a Cidade de Lisboa.

A fachada é marcada pontualmente por grandes vazios, que criam espaços de estar exteriores e iluminam as zonas sociais. As vigas verticais dão algum sentido de unidade à fachada.

Uniu-se as tipologias com o objetivo de aumentar o espaço útil, assim, o piso passou a albergar apenas três tipologias T1 ou duas T2. Na tipologia, o corredor para distribuição dos espaços foi retirado e optou-se por a criação de uma sala de entrada que comunica com os quartos, cozinha, sala de estar. Dando origem a uma planta sem hierarquia de espaços, semelhante a organização de uma casa Palaciana.

O piso térreo foi libertado para a circulação livre dos pedestres.



Figura 329 Complexo Habitacional da Quinta do Morgado Fotografia de Arqº. João Carmo Simões



Figura 328 Alçados e Plantas Originais de Alberto Reaes Pinto.

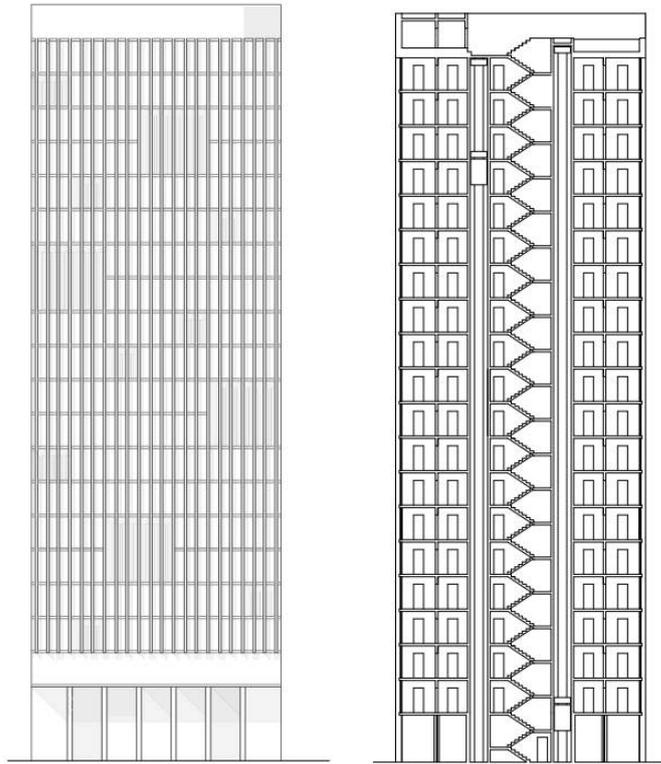


Figura 330 Desenhos da Proposta.



Figura 331 Fotomontagem da proposta para o Complexo Habitacional da Quinta do Morgado



Figura 332 Fotomontagem da proposta para o Complexo Habitacional da Quinta do Morgado
Fotografia de João Carmo Simões

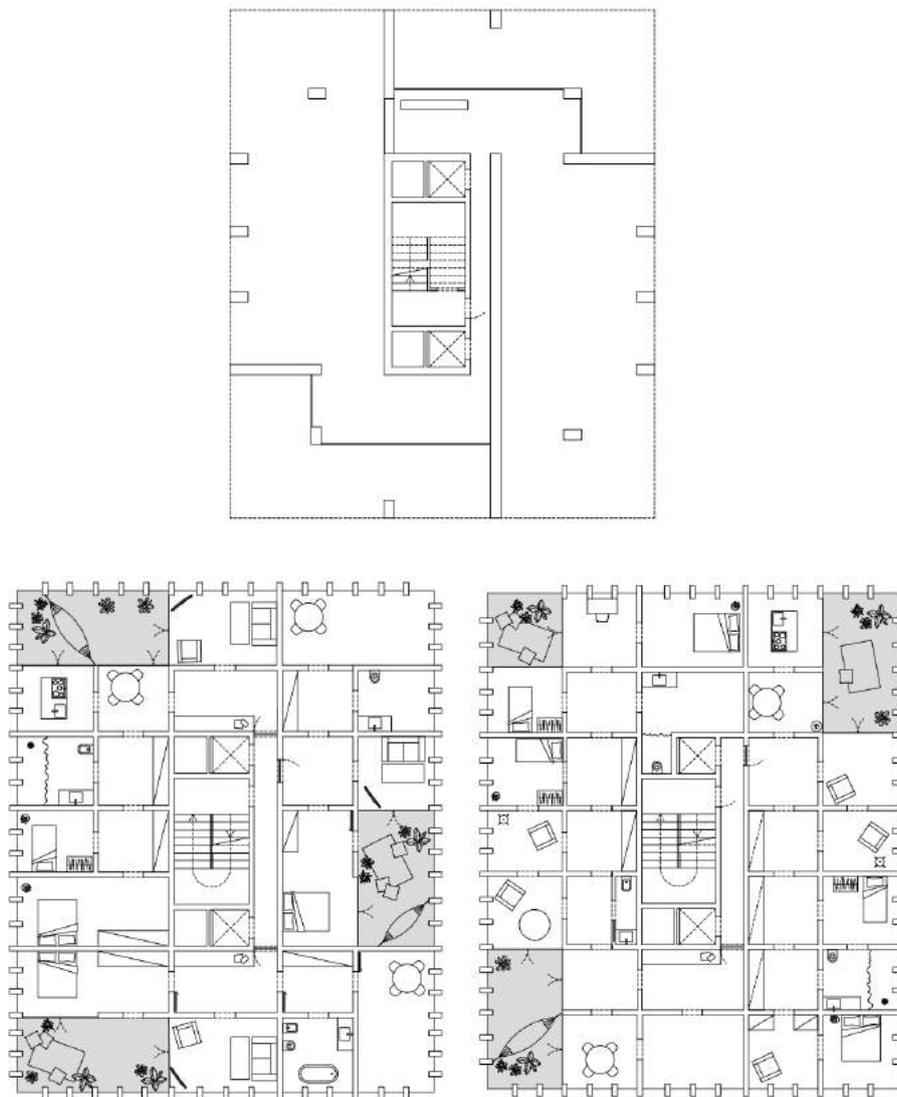


Figura 333 Plantas da proposta de grupo.

BIBLIOGRAFIA

- American Chemistry Council. (11 de Fevereiro de 2020). *Plásticos*. Obtido de Ciclo de vida de um produto plástico: <https://plastics.americanchemistry.com/Lifecycle-of-a-Plastic-Product/>
- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1987). *Relatório Brundtland (Our Common Future)*. Oxford University Press.
- Critical Concrete. (23 de Abril de 2018). *BUILDING WITH MUSHROOMS*. Obtido de Critical Concrete: <https://criticalconcrete.com/building-with-mushrooms/#fn2>
- Cymat Technologies Limited. (s.d.). *ALUSION™ Architectural Stabilized Aluminum Foa*. Obtido de <https://www.alusion.com/index.php/products/composite-panels>
- Danish Environmental Protection Agency. (2016). *Building a Circular Future*.
- Dictionary by Oxford Oxford University Press. (s.d.). *Definition of loop in English*. Obtido de Lexico: <https://www.lexico.com/en/definition/loop>
- European Commission ,Department: Energy. (2020). *Energy efficiency in buildings*. Brussels. Obtido em 23 de Outubro de 2020, de https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/energy_climate_change_environment/events/documents/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_en.pdf
- S+PS Architects. (15 de Fevereiro de 2015). *COLLAGE HOUSE*. Obtido de Facebook Página oficial: https://www.facebook.com/pg/spsarchitects18/photos/?tab=album&album_id=615329261958036&ref=page_internal
- SHAU Bandung. (2016). *Microlibrary -Taman Bima*. Obtido de shau: <http://www.shau.nl/en/project/53>
- The Creators Project. (30 de Junho de 2014). *[Video] Hy-Fi: The Living's Local, Sustainable, 10,000 Brick Mushroom Tower At MoMA PS1*. Obtido de https://www.vice.com/en_us/article/aenevj/hy-fi-the-livings-local-sustainable-10000-brick-mushroom-tower-at-moma-ps1
- The World Bank, Silpa Kaza, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, Frank Van Woerden. (20 de Setembro de 2018). *What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 Trends in Solid Waste Management*. H Street NW, Washington: International Bank for Reconstruction and Development. Obtido em 4 de Janeiro de 2020, de http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
- World Steel Association. (2019). *STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2019 Concise version*. World Steel Association.
- A.N.Sarkar, D. (2011). *The smart city journal*. Obtido de Eco-innovations in Designing Eco-cities and Eco-towns: <https://www.thesmartcityjournal.com/en/articles/1042-eco-innovations-eco-cities-eco-towns>
- A.T.Marques. (2011). 7 - Fibrous materials reinforced composites production techniques. Em *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications* (pp. 191-215). Woodhead Publishing Series in Textiles. Obtido de 7 - Fibrous materials reinforced composites production techniques
- A'designaward & Competition. (2013). *Rising Moon Pavilion por Daydreamers Design*. Obtido de A'designaward & Competition: <https://competition.adesignaward.com/design.php?ID=30919>
- Admin. (15 de Dezembro de 2011). *Songwood*. Obtido de <http://transmaterial.net/songwood/>
- Akadiri, P. O., & Olomolaiye, P. O. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(6), 16(6), 666-687.
- Alloi, M. (27 de Jul de 2018). *CPFF 2018: Waste Land*. Obtido de Medium: <https://medium.com/the-muff-society/cpff18-waste-land-2010-9c3d6045e9a6>

- ALMEIDA, F. A. (2012). *A MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL – PROJETO DA ESTRUTURA DA COBERTURA DE UM EDIFÍCIO*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). *Relatório Anual RESÍDUOS URBANOS*.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *Relatório de Resíduos Urbanos 2018*. Obtido em 4 de Janeiro de 2020, de https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos_Urbanos/RARU_2018_v2.pdf
- Archdaily. (2010). *Can Cube / Archi-Union Architects*. Obtido de https://www.archdaily.com/85278/can-cube-archi-union-architects-inc?ad_medium=gallery
- Archdaily. (2014). *De plásticos reciclados a materiais de construção*. Obtido de <https://www.archdaily.com.br/br/870438/de-plasticos-reciclados-a-materiais-de-construcao>
- Archdaily. (2015). *Pavilhão Circular / Encore Heureux Architects*. Obtido de https://www.archdaily.com.br/br/780473/pavilhao-circular-encore-heureux-architects?ad_medium=gallery
- Archdaily. (2017). *Drivelines Studios / LOT-EK*. Obtido de Archdaily: <https://www.archdaily.com/905460/drivelines-studios-lot-ek>
- Archdaily. (s.d.). *People's Pavilion / bureau SLA + Overtreders W*. Obtido de <https://www.archdaily.com/915977/peoples-pavilion-bureau-sla-plus-overtreders-w>
- Archello. (s.d.). *Villa Welpeloo*. Obtido de <https://archello.com/project/villa-welpeloo-2>
- Architekci, 2. (2015). *PAWILON POLSKI EXPO 2015*. Obtido de 2pm: <http://2pm.com.pl/pl/pawilon-polski>
- Archiweb. (2012). *Villa Welpeloo*. Obtido de Archiweb: <https://www.archiweb.cz/en/b/vila-welpeloo>
- Ardec. (s.d.). *Rabbit Skin Glue*. Obtido de Ardec: <https://ardec.ca/en/p/142/rabbit-skin-glue>
- ARSLVT. (2012). *Alterações Climáticas e Saúde Humana Gestão do Risco para a Saúde da População da Região de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo*. Lisboa: Ministério da Saúde.
- Arup. (2016). *The Circular Economy in Built Environment*. Londres.
- Arvidsson, N. B., Linder, M., Mellquist, A., Norefjell, F. N., E., R., Norrblom, H. S., . . . IDC. (2016). *Cirkulära Möbelflöden: Hur Nya Affärsmodeller kan Bidra till Hållbar*.
- Asfora, L., Martins, M., & Batista, D. (s.d.). *O Aço: Da extração até ao Descarte ou Reutilização*. Faculdade de Tecnologia Senai CIMATEC.
- Ashby, M. F. (2009). *Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice*. Canada: Elsevier.
- Baker-Brown, D. (2017). *THE REUSE ATLAS A Designer's Guide Towards A Circular Economy*. , 66 Portland Place, London W1B 1AD: RIBA Publishing.
- BAM. (s.d.). *Her- en verbouw gemeentehuis Brummen*. Obtido de <https://www.bambouwentechniek.nl/projecten/her-en-verbouw-gemeentehuis-brummen>
- Bank, T. W. (13 de Setembro de 2019). *Gestão de resíduos sólidos*. Obtido em 3 de Janeiro de 2020, de <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>
- Bardi, U. (2014). *World Mineral resources and the Limits to Economic Growth*. doi:10.1051/e3sconf/20140202001
- Belle, R. V., & Robben, P. (Novembro de 2019). *The Growing Pavilion Documentary*. doi:<https://www.youtube.com/watch?v=rbsj9fzykNs>
- Berge, B. (2009). *THE ECOLOGY OF BUILDING MATERIALS*. Oxford: Architectural Press.
- Beurskens, P., & Bakx, M. (2015). *Built-to-rebuild, the development of a framework for buildings according to the circular economy concept, which will be specified for the design of circular facades*. Eindhoven University of Technology.

- Beurskens, P., Bakx, M. R., M., D. E., & Lichtenberg, J. (2016). A morphological design and evaluation model for the development of circular facades. *Sustainable Built Environment: Transition Zero 2016: The Utrecht SBE16 Conference*, (pp. 252-268). Utrecht, the Netherlands.
- Bioazul. (3 de Janeiro de 2015). *URBAN METABOLISM AND RESOURCES MANAGEMENT*. Obtido de bioazul: <https://www.bioazul.com/en/urban-metabolism-and-resources-management/>
- Blockarchitects. (2015). *Nhà Chay*. Obtido de Blockarchitects: <http://blockarchitects.com.vn/du-an/nha-chay.aspx>
- Bocken, N., Curta, S., & Evans, P. R. (1 de Fevereiro de 2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42-56.
- Bocken, N., Pauwc, I. d., Bakker, C., & Grintenc, B. v. (2017). Business-led sustainable consumption initiatives: impacts and lessons learned. *Journal of Management Development*, 3(1), 81-96. doi:<https://doi.org/10.1108/JMD-10-2014-0136>
- Bocken, N., Short, S., & P. Rana, S. E. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30:5, 308-320. doi:10.1080/21681015.2016.1172124
- Borzecka, M. (2018). *EUROPEAN WOOD WASTE STATISTICS REPORT FOR RECIPIENT AND MODEL REGIONS*. European Union's H2020: BioReg D1.1.
- BOULDING, K. E. (1966). *The economics of the coming spaceship Earth*. Baltimore: Resources for the future/John Hopkins University Press.
- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn - What happens after they're built*. New York, United States of America: Penguin EBOOK.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Emmaus, PA, Estados Unidos: RODALE PRESS.
- Brennan, L., Gupta, S., & Taleb, K. (1994). Operations planning issues in an assembly/disassembly environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 57-67.
- Brito, P. (s.d.). *80% dos portugueses bebem café todos os dias*. Obtido de <https://www.dinheirovivo.pt/buzz/80-dos-portugueses-bebem-cafe-todos-os-dias/>
- Brown, M., Haselsteiner, E., Apró, D., Kopeva, D., Luca, E., Pulkkinen, K.-L., & Rizvanolli, B. V. (2018). *Sustainability Restorative to Regenerative An exploration in progressing a paradigm shift in built environment thinking, from sustainability to restorative sustainability and on to regenerative sustainability*. RETHinking Sustainability TOwards a Regenerative Economy.
- Bureausla. (s.d.). *People's Pavilion*. Obtido de <https://www.bureausla.nl/project/peoples-pavilion/>
- Business Council for Sustainable Development. (2000). *Eco-efficiency*. Obtido de https://arquivo.pt/wayback/20160515140905/http://www.wbcds.org/web/publications/e_co_efficiency_creating_more_value.pdf
- ByFusion Global, I. (2020). *ByBlock® Product Data Sheet*. Obtido de https://www.bymfusion.com/wp-content/uploads/2020/03/ByBlock%C2%AE-Product-Data-Sheet_2020.1-1.pdf
- C. Kennedy, S. P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution, Volume 159, Issues 8-9*.
- CALCAS. (s.d.). *Lifecycle assessment (LCA)*. Obtido em 2 de Fevereiro de 2020, de [www.ivm.vu.nl › Images › AT9_tcm234-161581](http://www.ivm.vu.nl/Images/AT9_tcm234-161581)
- Calkins, M. (2009). *Materials for Sustainable Sites A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- CELPA, A. d. (s.d.). *Associação da Indústria Papeleira CELPA*. Obtido de <http://www.celpta.pt/historia-do-papel/>

- Chertow, M. R. (November de 2000). Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313-337.
doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Chertow, M. R. (2017). "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1).
- Cheshire, D. (2016). *Building Revolutions APPLYING THE CIRCULAR ECONOMY*. Newcastle: RIBA Publishing, part of RIBA Enterprises Ltd.
- Cintil, J., Chirayil, R., Kumar, M., & Sabu, T. (2019). Materials Recovery, Direct Reuse and Incineration of PET Bottles. *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*, 37-60.
doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811361-5.00003-1>
- Circular, I. (16 de Outubro de 2019). *A Certificação Cradle to Cradle vai ganhar versão 4.0 – conheça as principais mudanças!* Obtido de Ideia Circular: <https://www.ideiacircular.com/certificacao-cradle-to-cradle-versao-4-0/>
- Circular, I. (s.d.). *Ideia Circular manifesto foi inspirado no conceito Cradle to Cradle*. Obtido de <http://www.ideiacircular.com/manifesto>
- Colaço, I., Dias, M. G. (Produtores), & Feldman, E. (Realizador). (s.d.). *Arquitetura-Ver Artes Arquitectura do ISCTE* [Filme]. RTP2. Obtido de <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/arquitetura-do-iscte/>
- Comissão Europeia. (2012). *COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU E AO CONSELHO Estratégia para a competitividade sustentável do setor da construção e das suas empresas*. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0433&from=EN>
- Comissão Europeia. (18 de Setembro de 2018). Protocolo e diretrizes para resíduos de construção e demolição da UE. Obtido de https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en
- Corte, A. E. (2016). *Análise da viabilidade de Simbioses Industriais na indústria dos materiais de construção: modelo de apoio à decisão*. Lisboa: Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial Instituto Superior Técnico .
- Costa, I. d. (2014). *Resíduos de Construção e Demolição: fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável*. Lisboa.
- Cousins, S. (15 de Abril de 2020). <https://www.ribaj.com/products/recycled-brick-cladding-panels-lendager-group-resource-rows-apartment-copenhagen-denmark>. Obtido de THE RIBA Journal: <https://www.ribaj.com/products/recycled-brick-cladding-panels-lendager-group-resource-rows-apartment-copenhagen-denmark>
- Crowther, P. (2005). Design for disassembly - - Themes and principles. *Langenbeck's Archives of Surgery* 390(4), 361-367.
- Dahy, H. (August de 2017). Biocomposite materials based on annual natural fibres and biopolymers – Design, fabrication and customized applications in architecture. *Construction and Building Materials* 147, 212-220.
- Dahy, H., & Knippers, J. (2017). Biopolymers and Biocomposites Based on Agricultural Residues: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction. Em D. E. Hebel, & F. Heisel, *Cultivated Building Materials Industrialized Natural and Construction*. Birkhäuser: Basel.
- Danish Environmental Protection Agency. (2019). *Building a Circular Future* (3 ed.). Dinamarca.
- David Pearce, R. K. (1989). *Economics of Natural Resources and the Environment*. The Johns Hopkins University Press.
- Designboom. (2013). *Rising moon: lantern pavilion made from recycled water bottles*. Obtido de Designboom: <https://www.designboom.com/architecture/rising-moon-lantern-pavilion-made-from-recycled-water-bottles-10-03-2013/>

- Dias, B. D. (2013). *Regenerative Design - new role for the built environment*. Lusíada University, Lisbon, Portugal: Research Centre for Territory Architecture and Design .
- Domus. (29 de Fevereiro de 2012). *Stephane Malka: Ame-Lot*. Obtido de <https://www.domusweb.it/en/news/2012/02/29/stephane-malka-ame-lot.html>
- Durmisevic. (2006). *Transformable building structures - Design for Disassembly as a way to introduce sustainable engineering to a building design and construction*. Delft, Netherlands:: Cedris M&CC.
- Eakout, M. (1997). *POPO- Of Ontwerpmethoden voor Bouwproducten en Bouwcomponente*. NetherLands: Delf University Press.
- ECF European Climate Foundation. (2014). *ICLEI Local Governments for Sustainability, CJSB University of Cambridge's Judge Business School, CISL Institute for Sustainability Leadership Climate Change: Implications for Cities*. University of Cambridge, Climate: Everyone's Business. Local Government for Sustainability.
- Eco.nomia. (2018). *POLÍTICAS*. Obtido em 10 de Janeiro de 2020, de <https://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/principios>
- Eco.nomia. (s.d.). *Eco.nomia*. Obtido de TAILORED TILE Do plástico se fazem azulejos reutilizáveis: https://eco.nomia.pt/pt/exemplos/tailored-tile?fbclid=IwAR3spF8YHd_hFihuyruyN6lD4UeIAvyVi6XpVtcR7idgd1DPJSLy0H3lgmw
- Eco.nomia. (s.d.). *Kalundborg (Dinamarca) - Simbiose industrial*. Obtido em 12 de Janeiro de 2020, de <https://eco.nomia.pt/pt/exemplos/kalundborg-symbiosis>
- Ecovative. (2020). *Grow-It-Yourself Material*. Obtido de <https://grow.bio/collections/shop/products/grow-it-yourself-material>
- Eekhout, M. (1997). *POPO - Of Ontwerpmethoden voor Bouwproducten en Bouwcomponenten*. Delft, The Netherlands: Delft University Press.
- EFM. (2005). *DELIVERING THE CIRCULAR ECONOMY A TOOLKIT FOR POLICYMAKERS*. Ellen Foundation Macarthur.
- Eicker, K. (1 de Outubro de 2018). *Drivelines by LOT-EK*. Obtido de ArchitecturalRecord: <https://www.architecturalrecord.com/articles/13661-drivelines-by-lot-ek>
- Eletricos, R. V. (18 de 04 de 2018). <http://revistaveiculoseletricos.pt/2018/04/18/emov-novo-servico-carsharing-lisboa/>. Obtido de Revista Veiculos Eletricos: <http://revistaveiculoseletricos.pt/2018/04/18/emov-novo-servico-carsharing-lisboa/>
- Ellen Macarthur Foundation. (2013). *TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen Macarthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Circular Economy*. Obtido em 5 de Janeiro de 2020, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>
- Ellen MacArthur Foundation, A. (2019). *Economia Circular em Cidades: Guia do Projeto*.
- EMF, Ellen Macarthur Foundation. (2016). *THE NEW PLASTICS ECONOMY RETHINKING THE FUTURE OF PLASTICS*.
- EMF, A. (2019). *Making buildings with new techniques that eliminate waste and support material cycles*.
- Engelsmann, S., Spalding, V., & Peters, S. (2012). *Plastics: in Architecture and Construction*. Walter de Gruyter.
- Engineered Timber Resources. (2009). *Engineered Timber Resources*. Obtido de Song Wood: <https://www.etimberr.com/products/songwood/>
- Europeia, C. (2015). *Rumo a uma economia circular*. Obtido em 17 de Janeiro de 2020, de https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_pt

- EY-AM&A; 3Drivers. (2018). *Estudo sobre a Relevância e o Impacto do Setor dos Resíduos em Portugal na Perspetiva de uma Economia Circular (Relatório Final)*. Associação Smart Waste Portugal. Obtido de http://m.smartwasteportugal.com/fotos/editor2/estudo_smartwasteportugal_relatorio_final_pt.pdf
- Fahed Architect. (2017). *D3 Abwab Pavilion*. Obtido de Fahed Architect: <https://www.fahedarchitects.com/exhibition-installation>
- Ferrão, P. M., Lonera, A., Santos, M., Niza, S. P., Ribeiro, P. J., Diogo, I. F., . . . Gólgalves, L. (2014). *PNGR- Plano Nacional de gestão de Resíduos 2014-2020*.
- Ferreir, D. R. (2013). *CARATERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE CARVALHO E DE CASTANHO DO NORDESTE TRANSMONTANO*. Bragança, : Instituto Politecnico de Bragança.
- Ferreira, J. P. (2013). *O papel da arquitetura nas vivências humanas: acessibilidades*.
- Figueiredo, P. (2011). *Edifícios da Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa*. Obtido de Sistema de Informação para o Património Arquitetónico.
- Frearson, A. (27 de outubro de 2017). *Peoples Pavilion*. Obtido de dezeen: <https://www.dezeen.com/2017/10/27/peoples-pavilion-dutch-design-week-low-ecological-footprint-bureau-sla-overtreders-w/>
- Frearson, A. (6 de Fevereiro de 2014). *Organic tower grown from agricultural waste wins MoMA PS1 Young Architects Program 2014*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2014/02/06/hy-fi-by-the-living-at-moma-ps1/>
- Frearson, A. (8 de December de 2015). *Encore Heureux uses recycled materials to build Circular Pavilion in Paris*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2015/12/18/circular-pavilion-encore-heureux-paris-france-recycled-materials-doors/>
- Frearson, A. (19 de junho de 2015). *Facade of colourful shutters allows light and wind into Block Architects' Vegan House*. Obtido de <https://www.dezeen.com/2015/06/19/facade-colourful-shutters-allows-light-wind-into-block-architects-vegan-house-ho-chi-minh-city-district-3-vietnam/>
- Gamerschlag, H. (2020). *CLOSING LOOPS Optimizing unitized facades for Circularity by Design for Disassembly*. Delft : Delft University of Technology.
- Garner, A., & Keoleian, G. A. (1995). *Industrial Ecology: An Introduction*. Pollution Prevention and Industrial Ecology NATIONAL POLLUTION PREVENTION CENTER FOR HIGHER EDUCATION.
- Geldermans, B., Bellstedt, C., Formato, E., Varju, V., Grünhut, Z., Cerreta, M., . . . Wandl, A. (2017). *REPAiR: REsource Management in Peri-urban AREas: Going Beyond Urban Metabolism*. Delft University of Technology. doi:<https://doi.org/10.4233/uuid:af2e252f-e8ed-472e-a4e8-c4bb4285522e>
- Geraedts, R., Remøy, H., Hermans, M., & Rijn, E. v. (2014). ADAPTIVE CAPACITY OF BUILDINGS: A determination method to promote flexible and sustainable construction. *International Union of Architects World Congress*. Delft University of Technology Durban SA: Architecture and The Built Environment. Obtido de <http://resolver.tudelft.nl/uuid:3c57e976-5af4-4e05-a66d-723604ded852>
- Ghisellinia, P., Cialanib, C., & Ulgiaticd, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems transition to a balanced interplay of. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- Globechain. (s.d.). *Think sustainability.Think reuse*. Obtido em 15 de Janeiro de 2020, de <https://www.globechain.com/>
- Gorgolewski, M. (2018). *Resource of Salvation The Architecture of Reuse*. Toronto: John Wiley & Sons Ltd.

- Graña, S. (2018). EDIFÍCIOS COM NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA. *As novas políticas para a eficiência energética nos Edifícios e as suas implicações nos Sistemas de Gestão Técnica*. Porto. Obtido de http://apirac.pt/documentos/2018/3_4_GTC/sg_v3.pdf
- Griffiths, A. (16 de julho de 2016). *Recycled ice cream tubs cover walls of elevated Microlibrary by Shau*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2016/07/16/microlibrary-shau-facade-recycle-ice-cream-tubs-bandung-indonesia-architecture/>
- Grupo Marktest. (s.d.). *43% dos portugueses vivem em cidades*. Obtido de Grupo Marktest: <https://www.marktest.com/wap/a/n/id~2444.aspx>
- Haggith, M., Kinsella, S., Baffoni, S., Anderson, P., Ford, J., Leithe, R., . . . Tinhout, N. M. (2018). *The State of Gloval Papel Industry*.
- Hammond, G., & Jones, C. (2011). *The Inventory of Carbon and EnergyThe Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. A BSRIA guide.
- Hebel, D. E., & Heisel, F. (2017). *Construction, Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and*. Alemanha: Birkhäuser, 12/06/2017 - 184 páginas.
- Hebel, D. E., Wisniewska, M. H., & Heisel, F. (2014). *Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction*. Birkhäuser.
- Heinrich, M., & Lang, W. (2019). *MATERIALS PASSPORTS -BEST PRACTICE*.
- Heureux, E. (2015). *PAVILLON CIRCULAIRE*. Obtido de Encore Heureux: <http://encoreheureux.org/projets/pavillon-circulaire/z>
- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., & Seggewies, J.-K. (2019). *Manual of Recycling : Buildings as Sources of Materials*. Edition DETAIL.
- Hitti, N. (5 de Abril de 2019). *Thomas Vailly uses sunflowers to make bio-based materials*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2019/04/05/thomas-vailly-sunflower-material/>
- Hitti, N. (12 de Dezembro de 2018). *Rowan Minkley and Robert Nicoll recycle potato peelings into MDF substitute*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2018/12/12/rowan-minkley-robert-nicoll-recycle-potato-peelings-mdf-substitute/>
- Humbert, M. (2007). *Technology and Workforce: Comparison between the Information Revolution and the Industrial Revolution*. California.
- Humbert, M. (December 2007). *Technology and Workforce: Comparison between the Information Revolution and the Industrial Revolution*.
- Hutton, J., Adams, K., Hobbs, G., Cari, I., Bricout, J., Ollerenshaw, C., & Oberhuber, J. S. (Abril 2016). *Circularity in the Built Environment : Case Studies A Compilation Of Case Studies From The CE100*.
- Imianowsky, G. W., & Walendowsky, M. A. (s.d.). *OS PRINCIPAIS AÇOS CARBONO UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL*. Obtido de <http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/aços%20carbono%20construção%20civil.pdf>
- INE, I. N. (21 de Dezembro de 2018). *Conta de Fluxos de Materiais 1995-2017*. p. 15.
- Inhabitat. (14 de Janeiro de 2006). *COOL MATERIALS: ALKEMI*. Obtido de <https://inhabitat.com/cool-materials-alkemi/>
- Inhabitat. (s.d.). *EcoARK Pavilion made from 1.5 Million Plastic Bottles*. Obtido de <https://inhabitat.com/ecoark-pavilion-made-from-1-5-million-plastic-bottles/polli-brick-pavilion-3/>
- Instituto Nacional de Estatística. (2014). *Estatísticas dos Resíduos*. Estatísticas Oficiais.
- Instituto Nacional de Estatísticas. (2018). *Estatísticas do Ambiente*. Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatísticas. (2017). *Estatísticas Agrícolas*.

- International Living Future Institute. (2019). *LIVING BUILDING CHALLENGE 4.0 A Visionary Path to a Regenerative Future*. Cascadia Green Building Council.
- IPCC. (2014). *Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas*. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça.
- IRP. (2019). *GLOBAL RESOURCES OUTLOOK 2019 Natural Resources for the Future We Want*. Bruno Oberle, Stefan Brinzeu, Steve Hatfield-Dodds, Stefanie Hellweg, Heinz Schandl and Jessica Clement.
- Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, a. R. (2018). Mechanical behavior of mycelium-based particulate. *Springer Science+Business Media, LLC*.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10853-018-2797-z>
- IST, APA . (2014). *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2014-2020*. Lisboa.
- Jadir, T. T., & Lima, M. G. (2009). PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO PARA USO EM EDIFICAÇÕES NO ENTORNO DE AEROPORTOS. *ais do 150 Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA / 2009*. São José dos Campos, SP, Brasil.
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & Johna, S. (February de 2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design, 187*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Jongert, J., Peeren, C., & Hinte, E. (2007). *Superuse: Constructing New Architecture by Shortcutting Material Flows*.
- Josefsson, T. A. (Spring 2019). *Form follows availability*. Chalmers: Department of Architecture and Civil Engineering Chalmers University of Technology.
- Kaufman, J. (2016). Properties and Characteristics of Aluminum and Aluminum Alloys CHAPTER 1. Em J. Kaufman, *Fire Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys and Measuring the Effects of Fire Exposure on the Properties of Aluminum Alloys* (p. 9). ASM International. Obtido de asminternational.org
- Kennedy, & Grunenberg. (2004). *Material Misuse: Kennedy & Violich Architecture (Architecture Landscape Urbanism)* . AA Publications.
- Köhler, F. (10 de Novembro de 2018). *Geometrically modified: Carroll House in New York City*. Obtido de Detail: <https://www.detail-online.com/article/geometrically-modified-carroll-house-in-new-york-city-32951/>
- Kubbinga, B., Bamberger, M., Noort, E. v., Reek, D. v., Blok, M., Roemers, G., . . . Faes, K. (August 2018). *A FRAMEWORK FOR CIRCULAR BUILDINGS Indicators for possible inclusion in BREEAM*.
- KUNZIG, R. (18 de FEBRUARY de 2020). *Is a world without trash possible?* Obtido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2020/03/how-a-circular-economy-could-save-the-world-feature/>
- Lamberts, R., Enedir Ghisi, M., Ana Lígia Papst de Abreu, M. E., Joyce C. Carlo, M. E., & Juliana Oliveira Batista, M. E. (2016). *DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES*. Florianópolis.; LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.
- Langdon, L. (2009). *Designing out waste: a design team*. Oxon, United Kingdom: WRAP.
- Lanham, A., Gama, P., & Braz, R. (2004). *Arquitetura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro Seminários de Inovação* .
- Latka, J. F. (2017). *Paper in architecture Research by design, engineering and prototyping*. Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment,.
- Lemos, P. (2018). *Economia Circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo, Estudos para uma Região RICA, Resiliente, Inteligente, Circular e Atractiva*. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.

- Loos.FM. (2014). *TIJDELIJK MONUMENT IN EEN PAUZELANDSCHAP*. Obtido de Loos.fm:
<http://loos.fm/project-pet-paviljoen.php>
- Lot-ek. (2017). *Upcycle Technology*. Obtido de Lot-ek: <https://lot-ek.com/ABOUT-UpcycleTechnology>
- Luscuere, L. (2016). Materials Passports: Optimising value recovery from materials. *Waste and Resource Management. Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1(170), 25-28.
- Luzzira, S., Sanarica, S., & Stefanizzi, P. (Setembro de 2017). Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: a review. *Energy Procedia*, 126, 242-249. Obtido de Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: a review
- Magalhães, A. (22 de Maio de 2010). *Exclusivo Segunda Vida*. Obtido de https://issuu.com/2012architecten/docs/047.00_2010-escala
- Malka, S. (2011). *AME-LOT*. Obtido de Malka Architecture:
<https://www.stephanemalka.com/portfolio/ame-lot-i-on-the-blind-walls-i-paris-2011/>
- Mang, P., & Reed, B. (Dezembro de 2011). Regenerative Development and Design. *Encyclopedia Sustainability Science & Technology*, 2112, Capítulo 103.
- Marques, M. T. (2013). *Plano Urbano_ Av.Lusíada | Cidade Universitária | Telheiras: Estratégia de Continuidade Urbana*. Lisboa: Técnico.
- Mat Net, Material Property Data*. (2020). Obtido de Aluminio, Al:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cd1edf33ac145ee93a0aa6fc666c0e0&ckck=1>
- Materiais, R. d. (2017). *Repositório de Materiais*. Obtido em 15 de Janeiro de 2020, de <http://repositoriodemateriais.pt/>
- Materiais, R. d. (s.d.). *PLATAFORMA PARA A REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO*. Obtido de <https://repositoriodemateriais.pt/>.
- MaterialDistrict. (2020). *NewsPaperWood*. Obtido de MaterialDistrict:
<https://materialdistrict.com/material/newspaperwood/>
- MatWeb. (s.d.). *Steel, General Properties*. Obtido de Material Property Data:
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?bassnum=MS0001&ckck=1>
- McCarthy, N. (2 de Janeiro de 2019). *PLASTIC WASTE: The EU's Worst Offenders*. Obtido de Statista:
<https://www.statista.com/chart/16502/annual-plastic-waste-per-head-of-the-population/>
- McCORMICK, J. (1987). *Reclaiming Paradise : A história dos movimentos ambientalistas*.
- Meinhold, B. (14 de 05 de 2013). *Upcycle House: Lendager Architects construindo US \$ 175.000 em casa, inteiramente de materiais reciclados na Dinamarca*. Obtido de InHabitat:
<https://inhabitat.com/lendager-architects-building-175000-upcycle-house-entirely-from-recycled-materials-in-denmark/>
- MENDES PAULA, R. (Julho/Agosto de 1968). Lisboa: a Cidade Universitária. *Revista Arquitectura*, nº 104.
- Michael E. Reynolds, P. B. (1 de Novembro de 1971). *United States Patent Patente N° 3,721,059*.
- Minimiz. (2020). *Minimiz*. Obtido de TrashLab: <https://www.miniwiz.com/trashlab.php>
- Minimiz Sustainable Energy Developmennt TLD. (2017). *Polli-Brick, Your Trash Our Buildig Material*.
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). Decreto-Lei n.º 178/2006. *Diário da República n.º 171/2006, Série I de 2006-09-05*, pp. 6526 - 6545. Obtido de dre.pt
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2011). *Diário da República n.º 116/2011, Série I de 2011-06-17*. pp. 3251 - 3300. Obtido de dre.pt
- Miniwiz. (2020). *Miniwiz*. Obtido de Polly Brick: https://www.miniwiz.com/solution_detail.php?id=5

- Minkley, R., & Nicoll, R. (2018). *Chip[s] Board® have developed a range of innovative and sustainable circular economy materials using potato waste*. Obtido de Chip[s] Board®: <https://www.chipsboard.com/materials>
- Monteiro, J. P. (2012). *Para o projeto Gopal- 9 décadas de obra, Arte Design e Técnica na Arquitetura do atelier Pardal Monteiro*. Lisboa: Universidade Tecnica de Lisboa Faculdade de Arquitetura.
- Morris, A. (21 de Novembro de 2017). *Fahed + Architects create bulbous copper pavilion from old bedsprings at Dubai Design Week*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2017/11/21/fahed-architects-bulbous-copper-pavilion-old-bedsprings-dubai-design-week/>
- Mulder, G. d. (2020). *Gert*. Obtido de http://gert.tv/?attachment_id=529
- Muniz, V. (s.d.). *Galeria* <http://vikmuniz.net/pt/>. Obtido de <http://vikmuniz.net/pt/>
- NERSolutions. (20 de Fevereiro de 2020). *Plastval*. Obtido de Identificação de plásticos: plastval.pt/index.asp?info=reciclagem/identificacao
- Nováková, K., Šepsb, K., & Achtena, H. (2017). Experimental development of a plastic bottle usable as a construction. *Journal of Building Engineering*, 239- 247.
- Oliveira, E. S. (2006). *Diagnóstico ambiental de uma empresa de produção de alumínio secundário*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Oliveira, R. G. (2009). *Produção e Reciclagem de Aços Inoxidáveis*. Rio de Janeiro: Univeridade federa do Rio de Jneiro.
- Omnexus. (s.d.). *Polyethylene Terephthalate (PET): A Comprehensive Review*. Obtido em 20 de Fevereiro de 2020, de <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic>
- P.K.Mallick. (2010). 5 - Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures. Em *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles* (pp. 174-207). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering.
- Parker, L. (7 de Junho de 2019). *The world's plastic pollution crisis explained*. Obtido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/environment/habitats/plastic-pollution/>
- PARKER, L. (Julho de 2018). *We Made Plastic. We Depend on it. Now we're drowning in it*. Obtido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/06/plastic-planet-waste-pollution-trash-crisis/>
- Parlamento Europeu. (2019). *EFICIÊNCIA EM TERMOS DE RECURSOS E ECONOMIA CIRCULAR*. Obtido de <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/76/eficiencia-em-termos-de-recursos-e-economia-circular>
- Pascoal, A. M. (2010). *A cidade do saber: estudo do património artístico integrado nos edifícios projectados pelo arquitecto Porfírio Pardal Monteiro para a Cidade Universitária de Lisboa, (1934-1961)*.
- Pascoal, A., Teixeira, C., & Figueiredo, P. (2011). *Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa (ISCTE) / Instituto de Ciências Sociais (ICSCTE) / Instituto de Ciências Sociais (ICS)*. Obtido de http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=30918
- Pedrosa, P. S. (6 de Setembro de 2005). *Território e esquecimento: a Cidade Universitária de Lisboa e a memória (1)*. Obtido de Revista Vitruvius : <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/434>
- Pereira, J. M. (2010). *Estudo das ligas de alumínio aplicadas em construção naval nomeadamente na resistência à corrosão em estruturas navais soldadas*. Lisboa: Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Peres, R. S., Moritz, V. F., & Ferreira, C. A. (2019). Revestimentos Intumescentes à Base de Taninos para Proteção Contra Incêndio. *Pesquisa de Materiais*, 22(2). doi:<https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0433>

- Peters, S. (2012). *MATERIAL REVOLUTION II New Sustainable and Multi-purpose Materials for Design and architecture*. Alemanha: BIRKhäUsER BASEL.
- Philip Nuss, M. J. (7 de July de 2014). Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298>
- Pinho, M. M. (2018). *DE RESÍDUO A RECURSO: A Reciclagem / Reutilização de Materiais Não Biodegradáveis em Arquitetura*. Porto: Universidade de Arquitetura do Porto.
- Plastics, S. (s.d.). *Smile Plastics*. Obtido de Os Clássicos: <https://smile-plastics.com/order/>
- PNGR. (2011). *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020*. Lisboa.
- Pomponi, F., & AliceMoncaster. (February de 2017). Circular economy for the built environment: A research framework research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718.
- Portal Acústica. (14 de Janeiro de 2019). *Lã de PET: o que é? Como usar?* Obtido de Portal Acústica: <https://portalcustica.info/la-de-pet-o-que-e-como-usar/>
- Pownall, A. (29 de October de 2019). *Pavilion grown from mycelium acts as pop-up performance space at Dutch Design Week*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/>
- PrettyPlastic. (2020). *PrettyPlastic*. Obtido de <https://www.prettyplastic.nl/tile/#product-faq>
- PrettyPlastic. (s.d.). *PrettyPlastic*. Obtido de Materiais de revestimento de plástico reciclado: www.prettyplastic.nl
- Raadshooven, A. v., Meijer, M., Letterlé, R., & Branderhorst, A. (s.d.). *NewspaperWood About*. Obtido de NewspaperWood: <http://www.newspaperwood.com/about/>
- Rau, T. (2018). *Material Matters: Wie wir es schaffen, die Ressourcenverschwendung zu beenden, die Wirtschaft zu motivieren, bessere Produkte zu erzeugen und wie ... Verbraucher und die Umwelt davon profitieren*. Alemanha: Econ Verlag; Edição: Neuauflage.
- Rawn, E. (3 de Dezembro de 2014). *Material Masters: Glass is More with Mies van der Rohe*. Obtido em 24 de Novembro de 2020, de ArchDaily.
- Realdania. (s.d.). *MiniCO2 Husene: Upcycle House*. Obtido de Realdania: <https://realdania.dk/projekter/mini-co2-husene-upcycle-house>
- ReciPac. (2014). *BOLETIM ESTATÍSTICO DE PAPEL E CARTÃO*.
- Recipac. (s.d.). *Produção de Papel*. Obtido de Recipac: <http://recipac.pt/o-ciclo-do-papel/producao-de-papel/>
- Renewed Materials. (2009). *LLC Guide Specifications*. Obtido de SECTION 06 61 17SOLID SURFACING FABRICATIONS (ALKEMI-ACRYLIC): https://static1.squarespace.com/static/575607e160b5e9cc267f2974/t/577d74e52994ca74015d1ee9/1467839717346/ALK_ACR_CSL.pdf
- Renewed Materials Inc. (s.d.). *ALKEMI Projects*. Obtido de ALKEMI Projects: <http://www.renewedmaterials.com/alkemi-client-projects>
- República Portuguesa e PAEC. (2018). *Liderar a Transição: Plano de ação para a Economia Circular em Portugal*. Portugal.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017. (2017). Diário da República n.º 236/2017, 2º Suplemento, Série I de 2017-12-11.
- Richlite. (s.d.). *Is it really paper?* Obtido de <https://richlite.com/pages/about>
- Ritter, N. (2019). *Wood Foam From Tree To Foam*. Braunschweig, Alemanha: Fraunhofer Institute for Wood Research, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI. doi:www.wki.fraunhofer.de
- Rossell, L. (2018). *The Beehive*. Obtido de Luigi Rossell Architects: <https://luigirosselli.com/public-commercial/workspaces/beehive>

- Sáez, P. V., & Osmanib, M. (20 de December de 2019). A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 241(118400). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118400>
- Santos, C. P., & Coelho, A. L. (2011). *A CLASSIFICAÇÃO EUROPEIA DE REACÇÃO AO FOGO DOS PRODUTOS E SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO E AS EXIGÊNCIAS DA LEGISLAÇÃO NACIONAL DE SEGURANÇA AO INCÊNDIO*. Universidade de Coimbra- Portugal : 2as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos.
- Santos, E. C. (3-5 de Dezembro de 2012). As vantagens e as limitações da aplicação prática da classificação europeia de reação ao fogo. NFPA-APSEI FIRE & SECURITY LNEC/LERF.
- Sarkar, R. (2017). Use of paper mill waste for brick making. *Cogent Engineering*, 4: 1405768. doi:DOI: 10.1080/23311916.2017.1405768
- Schmidt III, R., & Austin, S. (2016). *Adaptable Architecture: Theory and practice*. Nova Yorque: Routledge.
- Schmidt III, R., Eguchi, T., & Austin, S. &. (2010). WHAT IS THE MEANING OF ADAPTABILITY IN THE BUILDING INDUSTRY? *O&SB2010 "Open and Sustainable Building"*, 233-244. doi:<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB17993.pdf>
- SEAISI, The South East Asia Iron and Steel Institute. (s.d.). THE MAKING OF IRON AND STEEL. Obtido de <http://www.seaisi.org/file/The%20Making%20of%20Iron%20&%20Steel.pdf>
- Silva, A. S. (2011). *Arquitetura Ecológica Materiais Não-Convencionais A Reutilização dos Materiais na Arquitetura*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.
- Silva, V. R. (2012). *A Evolução do Conceito de Sustentabilidade e a Repercussão na Mídia impressa do País*. São Paulo.
- Sousa, N. O., & Lima, P. L. (2015). *Estudo Comparativo de Latas de Alumínio Primário e Do Alumínio Reciclado*. São. Jose dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba.
- Stahel, W. (16 de Fevereiro de 2012). Walter Stahel on the Performance Economy. (EMF, Entrevistador) doi:<https://www.youtube.com/watch?v=PhJ-YZwDAVo&t=314s>
- Stahel, W. R. (1984). *The product life factor*. Obtido em 5 de Janeiro de 2020, de <https://www.quebeccirculaire.org/data/sources/users/4/32217.pdf>
- Stahel, W. R. (2006). *The Performance Economy* (2 ed.). Londres: Palgrave Macmillan.
- SteelConstruction. (s.d.). *Recycling and reuse*. Obtido de The free encyclopedia for UK steel construction information: https://www.steelconstruction.info/Recycling_and_reuse
- Stonecycling. (s.d.). *Meet the _WasteBasedBricks@Sustainable building materials made from waste*. Obtido de <https://www.stonecycling.com/wastebasedbrick>
- Sumiyoshi, T., & Matsui, G. (1989). *Wood joints in Classical Japanese Architecture*. Japan: Kajima Institute Publishing Co.
- Supa soft insulation. (2020). *SupaSoft Insulation Specification*. Obtido de Supa soft insulation: <https://www.supasoftinsulation.com/supasoft-specifications/>
- Sustainables, C. (s.d.). *Celtic Sustainables*. Obtido de Thermafleece - SupaSoft Polyester Insulation: <https://www.celticsustainables.co.uk/thermafleece-supasoft-polyester-insulation/>
- Suter, F., Steubing, B., & Hellweg, S. (2016). Life Cycle Impacts and Benefits of Wood along the Value Chain: The Case of Switzerland. *Industrial Ecology*, 21(4), 874-886. doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12486>
- Swingler, H. (24 de Outubro de 2018). *World-first: Bio-bricks from urine*. Obtido de University of Cape Town : <https://www.news.uct.ac.za/article/-2018-10-24-world-first-bio-bricks-from-urine>
- T.O.OdoziO, & AkarantaP.N.Ejike. (1986). Particle Boards from Agricultural Wastes. *Agricultural Wastes*, 16(3), 237-240.

- Tailored Tile. (s.d.). *Tailored Tile*. Obtido de <https://tailoredtile.com>
- Technologies, N. E. (s.d.). *ECOR®*. Obtido de <https://ecorglobal.com/>
- Tejo, C. d. (4 de Janeiro de 2018). *Publicado o Plano de Ação para a Economia Circular (PAEC)*. Obtido em 12 de Janeiro de 2020, de <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/publicado-o-plano-de-acao-para-a-economia-circular-paec/9703.htm>
- Terreform. (sd). *Mycelium Blocks: Mycelia Amalgamation Methods for Urban Growth*. Obtido de http://www.terreform.org/projects_habitat_mycoform.html
- The World Aluminium. (20 de Abril de 2020). *PRIMARY ALUMINIUM PRODUCTION*. Obtido de The World Aluminium: world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#data
- The World Counts. (Maio de 2020). *The World Counts*. Obtido de Overuse of resources on earth: <https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/state-of-the-planet/overuse-of-resources-on-earth>
- Thelen, D., Acoleyen, M. v., Huurman, W., (Arcadis), T. T., Brunschot, C. v., (WBCSD), B. E., & Economy, B. K. (2018). *SCALING THE CIRCULAR BUILT ENVIRONMENT pathways for business and government*. Amsterdam: Circle Economy; World Business Council for Sustainable Development.
- Thormark, C. (2001). *Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings*. Lund Institute of Technology.
- Torgal, F. P. (2010). *A sustentabilidade dos Materiais de Construção* (1ª Edição: 1500 exemplares ed.). Minho: TecMinho .
- UK, K. I. (30 de August de 2019). *What is the Euroclass System?* Obtido de kingspan: <https://www.kingspan.com/gb/en-gb/products/insulation/kingspan-insight/articles-and-advice/what-is-the-euroclass-system>
- UPM. (2020). *UPMPROFI*. Obtido de <https://www.upmprofi.com/wpc-decking/>
- Vailly, T. (2017). *SUNFLOWER ENTREPRISE®* . Obtido de Studio Thomas Vailly: <http://studiothomasvailly.com/project/sunflower-entreprise-i/>
- Vandkunsten Architects, A.-M. M. (2016). *Rebeauty - Nordic Built Component Reuse*. Tegnestuen Vandkunsten: Knudtson Graphic.
- Visuall. (10 de janeiro de 2014). *Upcycle House por Lendager Arkitekter*. Obtido de Visuall: <https://visuall.net/2014/01/10/upcycle-house-by-lendager-arkitekter/>
- VTT Technical Research Centre of Finland. (2013). *Guidance for design for deconstruction - WP2*.
- Webster, K. (2016). *The Circular Economy: A Wealth of Flows: 2nd Edition* (2 ed.). Ellen MacArthur .
- Weetman, C. (2006). *A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink* (1 ed.). Britain: Kogan Page.
- Wiegel, A. (17 de Maio de 2019). *Life in Shipping Containers: Drivelines Studios by Lot-ek*. Obtido de Detail: <https://www.detail-online.com/en/article/life-in-shipping-containers-drivelines-studios-by-lot-ek-33990/>
- Wikihouse. (2019). *About*. Obtido em 15 de Janeiro de 2020, de <https://www.wikihouse.cc/About>
- William R. Miller, E. (2012). *Introducing Geodesign: The Concept*. USA: Esri.
- Wit, M. d., Hoogzaad, J., & Daniels, C. v. (2020). *THE CIRCULARITY GAP REPORT*.
- Wit, M. d., Hoogzaad, J., Ramkumar, S., Friedl, H., & Douma, A. (2018). *The CIRCULARITY GAP report : An analysis of the circular state of state of the global economy*. Circle Economy.
- WoodSolutions. (23 de June de 2015). *Environmental Product Declaration Softwood Timber*. vironmental Product Declaration,EPD.

- World Steel Association. (Fevereiro de 2019). *RAW MATERIALS*. Obtido de World Steel Association: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/raw-materials.html>
- Yang, J., & Ogunkah, I. (2013). A multi-criteria decision support system for the selection of low-cost green building materials and components. *Building Construction and Planning Research*, 1(4), 89-130.
- Zhang, H. (2011). *Building materials in civil engineering* . Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Zinger, & Snead. (15 de Fevereiro de 2009). *A House of Paper: The Artek Pavillion by Shigeru Ban*. Obtido de Zinger|Snead Architects: <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/a-house-of-paper-the-artek-pavillion-by-shigeru-ban/02-15-2009/1728/>

ANEXOS

ANEXO I - PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL E FUNCIONAL

Desempenho Ambiental

Complexidade do Processo de Transformação

A complexidade do processo de transporte é um parâmetro⁷⁷ que nos permite ordenar por ordem de complexidade os processos de transformação. É importante priorizar os processos de transformação mais simples sobre os mais complexos dentro da reutilização e da reciclagem. Quanto mais complexos são os processos de transformação, mais energia, carbono e mão de obra são necessários para a produção dos novos materiais e sistemas construtivos.

Geralmente os processos de transformação mais simples podem ser realizados no local da obra eliminando a necessidade de processos produtivos e transporte para a fábrica, já os processos mais complexos implicam uma linha de produção específica que deve ser realizada em locais apropriados.

A imagem 353 ilustra os processos de transformação identificados anteriormente por ordem de complexidade.

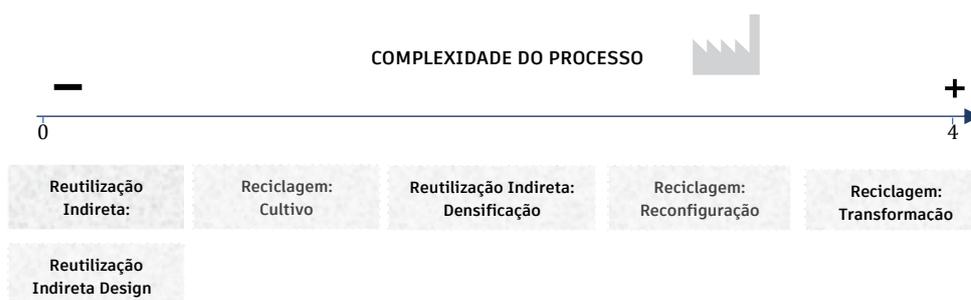


Figura 334 Diagrama de Complexidade de processo.

Desta forma avalia-se os materiais e sistemas construtivos numa escala de 0-4, da seguinte forma:

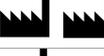
- a Reutilização Indireta simples: equivale a uma transformação sem processo produtivo, este processo de transformação inclui apenas pequenas alterações, como por exemplo, polir, aparafusar, serrar o material descartado e pode ser realizado no local da obra, logo é avaliada em 0;
- o Processo de *Design* tem como princípio o design de produtos para que nunca se tornem resíduos, eliminando a necessidade de um processo de transformação, pois, o produto foi previamente projetado para ser reutilizado, como tal é avaliado em 0;
- a Reciclagem: Cultivação: é fruto de processo de reciclagem, natural que geralmente absorve carbono e utiliza técnicas de produção simples. A preparação

⁷⁷ Definido pela autora

destes materiais pode geralmente ser realizada no local da obra, portanto é avaliada em 1;

- a Reutilização Indireta: Densificação é um processo que implica o uso de máquinas industriais ou outros sistemas mais rudimentares para comprimir os resíduos e pode ser realizada no local da obra, portanto é avaliado em 2;
- a Reciclagem: Reconfiguração inclui os processos de triturar, esmagar, colar, cozer, entre outros. Necessitam de processos produtivos e máquinas industriais específicos que consomem alguma energia e libertam dióxido de carbono, acrescenta-se, ainda, que não podem ser realizados no local da obra, portanto, são avaliados em 3;
- a Reciclagem: Transformação é o processo que altera o estado molecular do resíduo, necessita de tecnologia avançada e processos produção mais complexos que os restantes processos de transformação, portanto é avaliada em 4.

Tabela 49 Avaliação do Parâmetro de Complexidade do cada processo de Transformação.

COMPLEXIDADE DO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO (0-4) (sendo que o 0 equivale a reutilização sem o processo de transformação, e o 4 um processo de transformação muito complexo)	
Reutilização Indireta Simples	0 
Reutilização Indireta: Design	0 
Reciclagem: Cultivação	1 
Reutilização Indireta: Densificação	2 
Reciclagem: Reconfiguração	3 
Reciclagem: Transformação	4 

O Potencial de Reintegração no Ciclo Biológico e Tecnológico

O potencial de Reintegração no Ciclo Biológico e Tecnológico permite identificar a capacidade que os novos materiais e sistemas construtivos têm de conseguir ser separados facilmente dos outros componentes, após a vida útil do edifício, e, assim, serem eliminados pela natureza (nutrientes biológicos); ou reutilizados e reciclados sem perder valor, (nutrientes tecnológicos). Desta forma, este critério identifica se o processo de transformação não compromete e promove fluxos contínuos de materiais.

É considerado um material ou sistema construtivo com potencial de reintegração nulo, os materiais técnicos que não permitem a reutilização, reciclagem futura e os materiais biológicos que não possam regressar com segurança à biosfera.

Serão considerados como um potencial de reintegração baixo, os materiais técnicos que através de um novo processo de transformação podem ser reciclados, dando origem a um material com um valor inferior (*downcycling*), apresentado uma perda económica cultural ou estética.

O potencial de reintrodução alto diz respeito aos materiais e sistemas construtivos que permitem que todos os materiais reintegrem o seu ciclo normal ou um de valor semelhante, com poucos danos no material. Os resíduos são facilmente libertados após a vida útil do edifício e reintegrados no ciclo biológico ou tecnológico, sendo possível manter ou aumentar o valor económico, cultural e estético dos materiais.

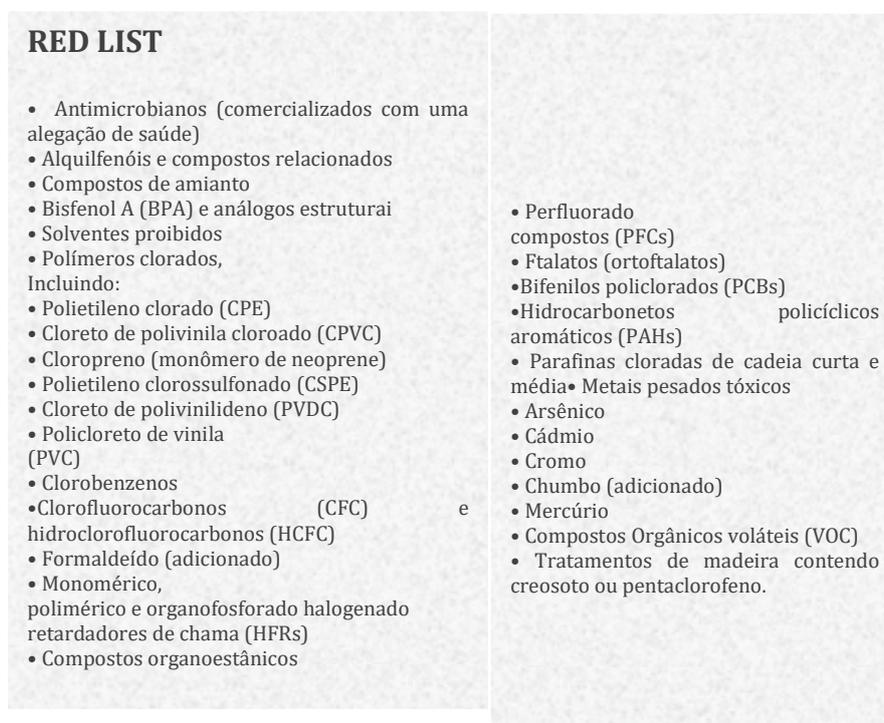
Tabela 50 Avaliação do Parâmetro Potencial de Reintegração no Ciclo Tecnológico e Biológico.

Potencial de Reintegração Futuro no Ciclo Tecnológico e Biológico (sendo que o 2 equivale as soluções que não possibilitam a futura reutilização e reciclagem, e o 0 os que garantem a criação de fluxos contínuos)	
Potencial de Reintegração Nulo	→
Potencial de Reintegração Baixo	
Potencial de Reintegração no Ciclo Alto	

Conteúdo Químico

O parâmetro conteúdo químico permite identificar a existência de algum produto ou substância tóxica na constituição do material que possa comprometer a saúde dos ocupantes ou no futuro o ambiente. Neste sentido, os arquitetos devem priorizar o uso de materiais com pouco ou nenhum conteúdo químico perigoso conhecido.

O programa *Living Building Chalange* define como requisito nos seus certificados que 90% (com base no custo) dos materiais novos utilizados no edifício, não deve conter as substâncias presentes na *Red List* (*International Living Future Institute*, 2019). Para além do programa *Living Building Chalange*, vários outros certificados de edifícios e materiais de construção sustentáveis, como programa de certificação *CRADLE TO CRADLE* possuem listas de materiais proibidos idênticas.



A presença de substância perigosas nos materiais e sistemas construtivos será avaliada da seguinte forma: Inexistente – sem substâncias perigosas; Baixo- valores muito reduzidos e alto - valor significativo.

Tabela 51 Avaliação do Parâmetro Conteúdo Químico

Conteúdo químico	
Nenhum:	
Baixo:	
Alto:	

Disponibilidade e Proximidade local

O parâmetro disponibilidade e proximidade local pode ser definido em diversas escalas e está dependente do contexto e da disponibilidade de recursos. A maioria dos materiais virgens utilizados atualmente na construção percorre grandes distâncias, contribuindo para o aumento da energia incorporada dos materiais. De acordo com o relatório publicado pelo *Rise Research Institute of Sweden* geralmente o impacto dos transportes, dos processos produtivos e armazenamento associados à reutilização ou reciclagem de materiais, é menor que o impacto da produção e transporte de um material novo (Arvidsson, et al., 2016) (Josefsson, Spring 2019).

Acrescenta-se, ainda, que o uso de materiais locais para além de minimizar os impactos associados ao transporte apoia a comunidade e as empresas locais, contribuindo para a expansão da economia regional.

De acordo com o *Living Building Chalange*, os arquitetos devem selecionar os materiais produzidos localmente respeitando as seguintes restrições (International Living Future Institute, 2019):

- 20% ou mais do orçamento de construção de materiais deve vir de um raio de 500 quilómetros do local de construção.
- 30% do orçamento total de construção de materiais deve vir de um raio de 1000 quilómetros do local da construção ou mais próximo,
- Um adicional de 25% do orçamento de construção de materiais deve vir de um raio de 5.000 quilómetros do local da construção.
- Os 25% restantes dos materiais podem ser provenientes de qualquer local.

No âmbito desta dissertação e de acordo com o contexto da área de intervenção do projeto final de arquitetura que se localiza na Cidade Universitária de Lisboa, são considerados três raios diferentes, nomeadamente:

- Raio de 10 quilómetros com centro na área de intervenção: os materiais e sistemas construtivos cujo(s) resíduo ou resíduos são produzidos e podem ser adquiridos, num raio de 10 km, desta forma são considerados materiais com proximidade elevada.
- Raio de 25 quilómetros com centro da área de intervenção: os materiais e sistemas construtivos cujo(s) resíduo ou resíduos são produzidos e podem ser adquiridos, num raio de 25 km, desta forma são considerados materiais com proximidade média.
- Raio de 40 quilómetros com centro da área de intervenção: os materiais e sistemas construtivos cujo(s) resíduo ou resíduos são produzidos e podem ser adquiridos, num raio de 40 km, são considerados materiais com proximidade baixa.

Este parâmetro é avaliado na subsecção 4.9 do contexto da cidade de Lisboa.

Tabela 52 Avaliação do Parâmetro Disponibilidade e Proximidade Local

Disponibilidade e Proximidade Local
Não está disponível 0
Disponibilidade num Raio de 10 km
Disponibilidade num raio de 25 km
Disponibilidade num raio de 40 km

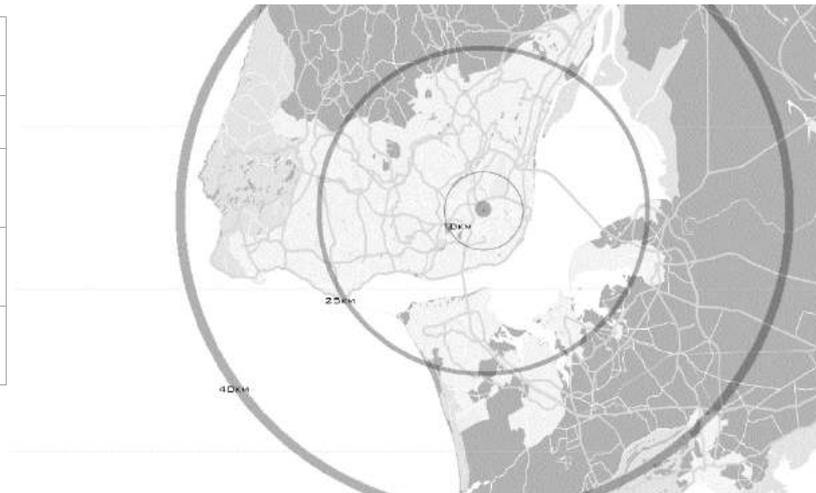


Figura 335 Raios de proximidade que serão considerados para a avaliação da disponibilidade Local

DESEMPENHO FUNCIONAL

O desempenho funcional é definido de acordo com a aplicação prática do material ou sistema construtivo. Permite compreender o nível de eficiência de cada material em estudo. A eficiência de cada material vai influenciar a qualidade dos espaços interiores, as condições de conforto térmico, conforto visual e os gastos de energia ao longo da vida de um edifício.

Capacidade de Resistência mecânica

As propriedades mecânicas definem o comportamento do material quando sujeito a esforços mecânicos, desta forma está associado à capacidade que o material tem de resistir a forças sem romper ou deformar. Portanto esse objetivo de desempenho irá classificar por exemplo se os materiais em estudo são autoportantes e se conseguem resistir a cargas leves ou elevadas sem se deformarem.

Neste sentido devem ser consideradas as seguintes características:

- Resistência à tração e à compressão: define a pressão que o material tolera antes de falhar quando sujeito a forças de tração ou compressão. As forças de compressão são particularmente importantes em elementos estruturais verticais como colunas e arcos. Já as forças de tração são importantes para o cálculo de elementos estruturais horizontais, como vigas ou pisos (Berge, 2009).
- Elasticidade: a capacidade de que um material possui de recuperar a sua forma e tamanho após a remoção da tensão (força) a que estavam sujeitos. Muitos materiais obedecem a lei de Hooke, que define que a tensão é diretamente proporcional à deformação. O modo de elasticidade é a razão entre a unidade de tensão e a de deformação.
- Ductilidade: é o grau de deformação que um material suporta até ao momento da fratura (Zhang, 2011)
- Plasticidade: é a capacidade de um material, quando é aplicado uma força sobre o mesmo e após sofrer uma deformação, tem de reter esta forma após a remoção da carga.
- Rigidez: refere-se à propriedade que um material possui de resistir à pressão ou arranhão de um objeto afiado (Zhang, 2011).

Para a avaliação de um material de acordo com a sua capacidade mecânica, serão considerados os seguintes níveis:

- Um material ou sistema construtivo com capacidade de resistência mecânica baixa: corresponde a um material que não tem a capacidade de ser autoportante nem de resistir a cargas leves pois deforma-se ou fratura-se. E apresenta uma baixa rigidez e uma baixa resistência à tração e à compressão.
- Um material ou sistema construtivo com capacidade mecânica média: corresponde a um material ou sistema construtivo que tem a capacidade de ser

autoportante, e apresenta um comportamento mediano no que toca a capacidade de suportar cargas sem se deformar e apresenta uma rigidez média.

- Um material ou sistema construtivo com capacidade mecânica alta: corresponde a um material que apresenta uma boa capacidade de suportar cargas elevadas sem deformar e apresenta uma rigidez e resistência à compressão e tração elevadas.

Desempenho Térmico

O desempenho térmico de um edifício está sob influência de fontes internas e externas, desta forma está dependente do clima e da forma como o edifício foi construído.

Os materiais estão na interface entre o meio exterior e interior logo influenciam diretamente a relação da temperatura externa e a interna. Dessa forma, é necessário medir grandezas como capacidade térmica e a capacidade de transferência térmica desses elementos, para garantir o conforto térmico, contribuindo para a eficiência energética no edifício (Zhang, 2011).

A propriedade do material que indica a capacidade de conduzir calor é a condutividade térmica e está diretamente relacionada com a espessura do material (Zhang, 2011). É expressa pelo coeficiente térmico de condutividade (W/ m.k). Quanto maior for o coeficiente térmico de condutividade menor é o desempenho isolante do material (Zhang, 2011).

O calor específico do material expressa a quantidade de calor necessária para elevar um grau na temperatura de uma unidade de massa do material, quanto maior for o calor específico, melhor será a estabilidade da temperatura interior (Zhang, 2011).

Tabela 53 Condutibilidade térmica de alguns materiais (Mendonça, 2005)

Condutibilidade térmica (λ) (Mendonça, 2005)	
Lã de rocha (20-35kg/m ³):	0,045 W/m-K
Lã de rocha (35-180kg/m ³)	0,040 W/m-K
Lã de vidro (8-12kg/m ³):	0,045 W/m-K
Lã de vidro (12-80kg/m ³)	0,040 W/m-K
Vidro celular (110-140kg/m ³)	0,050 W/m-K
Aglomerado negro de cortiça (10-150kg/m ³)	0,045 W/m-K
Poliestireno expandido moldado (15-35kg/m ³)	0,040 W/m-K
Poliestireno expandido extrudido (25-40kg/m ³)	0,035 W/m-K
Espuma rígida de Poliuretano (30-40kg/m ³)	0,030 W/m-K
Argila expandida (8/16)	0,160 W/m-K

Tabela 54 Calor específico de alguns materiais (Mendonça, 2005)

Calor específico (c) (Mendonça, 2005)	
Madeira	0,045 W/m-K
Lã mineral	0,040 W/m-K
Poliestireno expandido	0,045 W/m-K
Cortiça, aglomerado	0,040 W/m-K

Neste sentido, este parâmetro será avaliado nos seguintes níveis:

- **Desempenho térmico bom:** os materiais aptos para prestar a função de isolamento térmico: os materiais ou sistemas construtivos que possuem valores de condutividade térmica e calor específico semelhantes aos materiais isolantes à venda atualmente no mercado (Zhang, 2011).
- **Desempenho térmico médio:** os materiais ou sistemas construtivos com valores inferiores aos materiais isolantes atualmente no mercado, assim são considerados materiais com um comportamento mediano para desempenhar a função de isolamento térmico.
- **Desempenho Térmico baixo:** os materiais que não são adequados para desempenhar a função de isolamento térmico num edifício.

Desempenho Acústico

A acústica nos edifícios está diretamente relacionada com o bem-estar do homem no exercício das suas atividades e assim evitar os inconvenientes resultantes do ruído sonoro. As exigências de acústica nos edifícios são geralmente relacionadas com isolamento de sons aéreos e de percussão, assim como o ruído dos equipamentos.

Quando as ondas sonoras entram em contacto com uma superfície ou refletem-se ou são absorvidas pelo próprio material, a porção de energia que é absorvida é a energia sonora incidente. Se 65 % do som incidente for absorvido e os restantes 35% refletidos diz-se que o coeficiente de absorção sonora é de 0.55 (Zhang, 2011).

A absorção sonora é influenciada não só pela espessura e a superfície dos materiais, mas também pelo ângulo de incidência e a frequência das ondas sonoras (Zhang, 2011).

Para a medição dos coeficientes de absorção de som de forma genérica nos materiais são utilizadas seis frequências (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz). Geralmente se a absorção média das seis frequências for superior a 0.2, o material pode ser considerado um bom absorvente de som (Zhang, 2011).

Tabela 55 Coeficientes de absorção de alguns materiais (Jadir & Lima, 2009)

Material	Espessura (cm)	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1k	2k	4k
Lã de rocha	10	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Lã de vidro	10	0,29	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85
Feltro	1,2	0,02	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85
Placas de cortiça sobre concreto	0,5	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Tapete de lã	1,5	0,20	0,25	0,35	0,40	0,50	0,75
Reboco áspero, cal	1,0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Betão aparente	0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Parede de alvenaria	14,5	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vidro	2,0	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02

Tapete 5 mm sobre feltro (5 mm)	10	0,07	0,21	0,57	0,66	0,81	0,72
---------------------------------	----	------	------	------	------	------	------

Os materiais e soluções construtivas em estudo serão classificados da seguinte forma:

- Bom desempenho acústico: diz respeito a materiais que apresentam um bom coeficiente de absorção sonora, ou seja, superior ou igual a 0.2 (média).

- Baixo desempenho acústico: diz respeito a materiais que apresentam um baixo coeficiente de absorção sonora, ou seja, inferior a 0.2 (média).

Resistência à Água e Humidade

A resistência à água é a capacidade que um material possui de manter as suas propriedades quando exposto à água a longo prazo. Alguns materiais quando expostos à água perdem as suas propriedades, e geralmente isso provoca impactes negativos no material. Normalmente se um material absorve água, o tamanho expande, a condutividade térmica aumenta e a resistência e a durabilidade podem ficar comprometidas (Zhang, 2011).

A impermeabilidade é a capacidade de um material resistir à infiltração da água ou infiltração de outros líquidos. Materiais densos como metais e vidro, são chamados de materiais impermeáveis, pois não permitem a entrada de água (Zhang, 2011).

A higroscopicidade é a propriedade que define a absorção de água do ar pelos materiais. Um material que absorve água é um material hidrofílico, e um material que não absorve água é chamado hidrofóbico (Zhang, 2011). Os materiais hidrofílicos são capazes de absorver a humidade de um ambiente húmido e libertar humidade em ambientes secos (Zhang, 2011). Os materiais hidrofóbicos são à prova de humidade e à prova de água (impermeáveis), e são usados muitas vezes como tratamento de superfície para os materiais hidrofílicos, e na aplicação de fachadas e pisos com o contacto com o exterior.

Neste sentido este objetivo de desempenho será avaliado nas seguintes categorias:

- Impermeável – ou seja resistente à água logo hidrofóbico, por exemplo, o plástico e o asfalto.
- Hidrofílico, resistente à água – ou seja é humedecido pela água, mas mantém as suas propriedades, como por exemplo as matérias têxteis.
- Hidrofílico, não resistente à água, ou seja, é humedecido pela água, mas as suas propriedades são comprometidas como durabilidade e resistência.

Resistência ao fogo

A resistência à chama é a propriedade de uma substância tem de resistir ao contacto com o fogo no ar. A importância de classificar esta propriedade é garantir a segurança dos ocupantes em caso de incendio. (Zhang, 2011). Outra característica que se deve considerar nos materiais de construção é a reação ao fogo, que caracteriza o comportamento de um material quando exposto ao fogo, como a emissão de fumos e as gotas incandescentes.

O sistema de classificação Europeu (Euroclasses) classifica com base no desempenho de reação ao fogo, os produtos de construção, considerando os seguintes critérios "a ignição,

a velocidade de libertação de calor, a velocidade de propagação da chama, a velocidade de produção de fumo e gotas/partículas inflamadas " (Santos & Coelho, 2011).

Os materiais devem ser testados e ensaiados em laboratórios certificados e classificados de acordo com as classes, que variam de A1 (não inflamável) a F (o pior desempenho em termos de combustibilidade). E em paralelo é avaliado a propagação de fumo, cujas classes varia de S1 (pouca ou nenhuma propagação de fogo) a S3 (muita propagação de fogo)de e as partículas flamejantes, cujas classes variam de D0 (nenhuma) a D2 (muito) (UK, 2019) (figura 143).

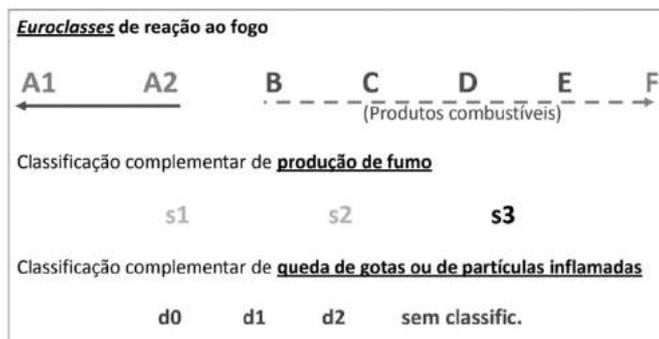


Figura 336 Euro classes de reação ao fogo (Santos E. C., 2012).

No âmbito deste trabalho, e devido à falta de dados em relação ao desempenho dos materiais e a sua reação ao fogo. A classificação dos materiais será realizada apenas considerando os seguintes tipos de materiais:

- Materiais não inflamáveis - os materiais não inflamáveis são aqueles que não podem ser queimados e carbonizados ao entrar em contato com o fogo ou altas temperaturas, tais como tijolo e pedra natural (Zhang, 2011).
- Materiais retardadores de fogo - os materiais retardadores de fogo são aqueles que são difíceis de ser queimados ou carbonizados quando em contato com o fogo ou alta temperatura. Após o contacto, param de queimar ou permanecem ligeiramente flamejantes (Zhang, 2011).
- Materiais inflamáveis - Os materiais inflamáveis são aqueles que se inflamam imediatamente ao entrar em contato com o fogo ou em altas temperaturas. Após o contacto, continuam a arder ou incendiar levemente (Zhang, 2011)

Na construção, a seleção de materiais não inflamáveis ou retardantes de fogo depende dos locais e funções onde os materiais são usados. A prevenção de incêndio deve ser tratada com a adição de substâncias retardadoras de fogo nos materiais inflamáveis (Zhang, 2011).

Durabilidade

A propriedade de um material resistir à ação combinada de fatores atmosféricos é conhecida como durabilidade do material. Se o material for durável, terá uma vida útil mais longa e uma necessidade de manutenção reduzida (Zhang, 2011).

No processo de utilização, os materiais são submetidos a fatores físicos, químicos, biológicos. Os materiais que são capazes de resistir à erosão dos diversos agentes e manter as suas propriedades originais são conhecidos como materiais duráveis.

As ações físicas incluem mudanças de humidade relativa do ar e oscilações bruscas na temperatura. Geralmente causam a expansão e contração do material (Zhang, 2011).

As ações químicas são a erosão de soluções aquosas ácidas, alcalinas e salinas que podem alterar a composição dos materiais e destruí-los, como a erosão química do cimento e a corrosão do aço (Zhang, 2011).

A ação biológica inclui a destruição por parte dos fungos e insetos. Estes podem mofar ou apodrecer materiais. (Zhang, 2011).

Neste sentido a durabilidade dos materiais e sistemas construtivos em estudo nesta dissertação serão avaliados nos seguintes níveis:

- Durável: o material que reúne um conjunto de características que lhe permite resistir às ações físicas, químicas e biológicas a que estão sujeitos ao longo da vida útil.

- Não duráveis: os que não reúnem um conjunto de características que lhe permite resistir às ações físicas químicas e biológicas a que estão sujeitos ao longo da vida útil.

Propriedades Sensoriais

Este objetivo de desempenho permite identificar as principais propriedades sensoriais dos materiais. As propriedades sensoriais são especialmente importantes nos materiais de acabamento pois estes possuem um peso significativo na composição dos espaços e estilo arquitetónico. As principais características sensoriais dos materiais são:

- a textura: descreve o aspeto de uma superfície (exemplo: lisa, rugosa, ondulada...)
- o brilho: descreve a capacidade de um material em refletir ou absorver luz, um material pode ser brilhante ou baço.
- a transparência: descreve a propriedade física que permite que a luz passe através do material sem que ocorra a dispersão. Quando atravessa luz num material de forma irregular (com dispersão), deixa-se de poder ver com nitidez através dos materiais, e isto é chamado de translucidez. A opacidade diz respeito aos materiais que não permitem que a luz lhes penetre.
- o odor: é a perceção do olfato, alguns materiais possuem odores característicos que tem impacto na qualidade do ar interior.