

Mestrado Integrado em Engenharia Química

“Otimização de compactos HPL usando borracha reciclada”

Dissertação de Mestrado

de

Luís Miguel Monteiro da Rocha Silva Gonçalves

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizada em

Sonae Indústria de Revestimentos, S.A.



Orientadores na FEUP: Professora Doutora Luísa Hora de Carvalho

Professor Doutor Fernão Domingos de Magalhães

Orientador na Sonae Indústria de Revestimentos: Doutora Cláudia Costa



Departamento de Engenharia Química

Fevereiro de 2018

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores: à Dr.^a Cláudia Costa por toda a confiança, motivação e autonomia que me concedeu durante todo o período de dissertação, à Professora Doutora Luísa Carvalho, por todo o conhecimento transmitido, disponibilidade, dedicação e confiança depositada no meu trabalho; e ao Professor Doutor Fernão Magalhães por todas as sugestões e acompanhamento ao longo desta jornada.

Da mesma forma, a imprescindível ajuda do Professor Doutor Jorge Martins, todo o tempo depositado em mim e todos os conselhos que me deu, foram essenciais para sucesso deste projeto. Por toda a partilha de conhecimento e todos os momentos de descoberta, o meu muito obrigado.

Não poderia deixar de agradecer também, à Eng.^a Ana Vinhas pela tão importante partilha de informações e conhecimentos no arranque desta dissertação.

De seguida, gostaria de agradecer às pessoas mais importantes da minha vida: aos meus pais, Ana e Carlos, por tudo: por todo o amor e apoio incondicional, por sempre me incentivarem a ser persistente e trabalhador e me motivarem a fazer sempre mais e melhor; ao meu irmão Carlos Manuel por fazer de mim, a cada dia, um homem melhor, por ter sido sempre o meu exemplo, quem eu mais admiro. Aos meus queridos avós, Manuel e Alcina, por todo o carinho ao longo destes anos, por serem um modelo de bondade, integridade e caráter e por toda a felicidade e alegrias que me proporcionam desde que tenho memória; aos meus doces avós Juliano e Angelina, por me ajudarem a sonhar, por todos os conselhos e memórias partilhadas, pelo amor e atenção.

Gostaria também de agradecer ao meu grupo de amigos do meu ano: obrigado por toda a ajuda ao longo deste anos e memórias inesquecíveis que deste curso levo comigo. Aos meus amigos João, Gonçalo e Francisco, por me ajudarem sempre que precisei, próximos ou afastados, e por todo os momentos que partilhamos, que nos relembram que a distância não afeta grandes amizades. Ao Pedro, ao João, à Alice, ao Daniel e à Raquel, obrigado por me apoiarem e me fazerem mais feliz ao longo desta jornada.

Quero também agradecer ao Sr. Vítor e ao Sr. Rogério do Laboratório de Qualidade da SIR por toda a ajuda e conhecimento partilhado. De igual modo gostaria de agradecer à Eng.^a Ana Antunes e à Eng.^a Nádia Paiva por todos os conselhos e paciência com todo o granulado de borracha espalhado pelo UPTEC.

Este trabalho foi financiado por *Sonae - Indústria de Revestimentos, SA* e pelo projeto POCI-01-0145-FEDER-006939 (Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia, UID/EQU/00511/2013) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

(FEDER), através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.



“Se sabemos que não temos a certeza, temos a possibilidade de melhorar a situação” (Richard Feynman)

Resumo

A Sonae Indústria de Revestimentos S. A. (SIR) é um dos maiores produtores de laminados de alta pressão (HPL) e compactos do mundo. A SIR promove a constante melhoria e otimização dos seus produtos, incentivando a constante inovação em diferentes abordagens aos desafios que surgem. A vasta gama de laminados de alta pressão procura satisfazer as necessidades do mercado para todos os tipos de aplicações e a solicitação de laminados de baixo custo, mais leves e mais fáceis de manusear, trabalhar e maquinar constitui um desafio, no presente, para a empresa. Assim, pela integração de matérias-primas baratas e de elevada disponibilidade nos produtos já produzidos, por forma a obter soluções estruturais viáveis e otimizadas, surge a oportunidade de integrar um produto de borracha reciclada no portefólio comercial da SIR. Devido à necessidade de reutilização de borracha dos pneus em fim de vida, a utilização deste material como miolo de compactos apresenta-se como uma solução ecológica de valorização de resíduos transmitindo uma mensagem de consciencialização ambiental, além das vantagens competitivas num mercado dinâmico e global.

Os produtos comercializados pela SIR apresentam, geralmente, elevada resistência mecânica e impermeabilidade, e outras propriedades menos comuns como a resistência à chama, ao risco e a condições atmosféricas adversas. O processo de produção de compactos e termolaminados encontra-se dividido em três etapas principais: impregnação do papel kraft, prensagem da estrutura, e corte, lixagem e inspeção visual do produto final.

De forma a compatibilizar o método de produção do protótipo com o processo produtivo industrial da SIR, foram testados vários parâmetros influentes na produção dos compactos com miolo de borracha reciclada, sendo alguns deles o teor de resina, o tempo de cura e a distribuição de calor e pressão. Alguns dos testes efetuados passaram pelo teste de água em ebulição, a determinação da resistência à tração perpendicular ao plano e resistência ao vapor de água. Foi utilizada uma resina de pré-polímero de poliuretano, devido à sua elevada tolerância à humidade, tempos de cura curtos e ausência de libertação de gases nocivos.

De uma forma geral, obteve-se um produto final com propriedades otimizadas, sendo que as suas propriedades estudadas ficaram perfeitamente definidas: duas folhas de papel kraft impregnado por face, duas folhas de papel kraft seco, teor de resina de 5 %. Adicionalmente realizaram-se estudos no que toca a outras otimizações pertinentes, tendo-se aprofundado a produção de painéis com tempos de cura superiores e recorrendo-se ao uso de uma camada externa de kraft seco para garantir uma distribuição homogénea do calor e pressão.

Palavras Chave: Borracha reciclada, HPL, compactos, poliuretano

Abstract

Sonae Indústria de Revestimento S.A. (SIR) is one of the largest high-pressure laminates (HPL) and compacts producer in the world. SIR promotes the continuous improvement and optimization of its products, incentivizing a constant innovation in different approaches to the challenges that arise. The vast range of high-pressure laminates attempts to satisfy the market needs for all types of applications, and the demand for low-cost laminates that are lighter, easier to handle, work with and to process constitutes a challenge to the company today. Therefore, with the goal of integrating cheaper, more abundant raw materials and looking to obtain increasingly viable and optimized structural solutions, an opportunity emerges to add a recycled rubber product to SIR's commercial portfolio.

Due to the benefits of reutilizing the rubber from end-of-life tires, the use of this material as the compacts' core presents itself as a competitive and ecological solution that brings value to this waste.

The products sold by SIR normally present a high mechanical resistance and impermeability and other less common properties such as flame resistance and weatherability.

The production process of compacts and thermolaminates is divided into three main stages: kraft paper impregnation, structure pressing and cutting, sanding and visual inspection of the final product.

In order to match the prototype production method with the industrial production process of SIR, several parameters that influence the production of recycled rubber core compacts were tested, namely the resin content, the curing time and the distribution of heat and pressure. Some of the performed tests were the test with boiling water, the resistance to perpendicular traction and the dry heat resistance test. A polyurethane prepolymers resin was used, due to its high humidity tolerance, low curing times and absence of toxic gases emission.

Overall, the final obtained product presented optimized properties, and the researched properties were clearly defined: two impregnated kraft paper sheets on each side, two dry kraft paper sheets and a resin content of 5%. Additionally, studies were carried out concerning other relevant optimizations, further analyzing the production of panels with longer curing times and an external layer of dry kraft in order to guarantee a homogeneous distribution of heat and pressure.

Keywords: recycled rubber, HPL, compacts, polyurethane

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

(Luís Gonçalves)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Contributos do Trabalho.....	3
1.3	Organização da Tese	4
2	Contexto e Estado da Arte	5
2.1	Termolaminados de alta pressão (HPL)	7
2.2	Compactos Fenólicos	8
2.3	Papel Kraft	10
2.4	Borracha	10
2.4.1	Borracha Natural	10
2.4.2	Borracha Sintética	10
2.5	Poliuretanos.....	11
2.6	Resina de fenol-formaldeído.....	13
2.7	Resina de melamina-formaldeído	13
2.8	Estudos relacionados	13
3	Descrição Técnica.....	15
3.1	Materiais Utilizados.....	15
3.2	Procedimentos.....	15
3.3	Caracterização do produto.....	19
3.3.1	Teste de água em ebulição.....	19
3.3.2	Resistência à tração perpendicular ao plano.....	19
3.3.3	Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM)	20
3.3.4	Resistência ao vapor de água	21
4	Discussão e Resultados.....	23
4.1	Otimização do <i>core</i>	24
4.1.1	Influência da pressão.....	24
4.1.2	Teor de resina	28

4.1.3	Condições de arrefecimento	31
4.1.4	Resistência a 9 MPa	33
4.2	Otimização do laminado	34
4.2.1	Número de folhas de papel kraft impregnado	34
4.2.2	Tipo de decorativo	37
4.2.3	Tempo de polimerização	38
4.2.4	Distribuição de pressão e calor	40
4.2.5	Caracterização dos protótipos compactos HPL de borracha reciclada	43
5	Conclusões	47
6	Avaliação do Trabalho Realizado	49
6.1	Objetivos Realizados	49
6.2	Limitações e Trabalho Futuro	49
6.3	Apreciação Final	49
7	Referências	50
Anexo 1	Ficha Técnica da cola LORPUR 1728 R.....	I
Anexo 2	Ficha Técnica da borracha BioRG 0,0-0,8 mm	II
Anexo 3	Exemplo de Cálculo.....	III
Anexo 4	SEM.....	IV

Notação e Glossário

F_{tL}	resistência à tração perpendicular	$N.mm^{-2}$
F_{max}	carga de rutura	N
a	largura	mm
b	espessura	mm
V_{forma}	volume da forma	cm^3
ρ	massa volúmica	$kg.cm^{-3}$
$\bar{\rho}$	massa volúmica média	$kg.cm^{-3}$
m	massa	kg
V	volume	cm^3

Lista de Siglas

OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
HPL	<i>High Pressure Laminates</i>
SIR	Sonae Indústria de Revestimentos, S.A.
ARCP	Associação Rede de Competência de Polímeros
I&D	Investigação e Desenvolvimento
BMB	Betume Modificado de Borracha
MDI	<i>Methylene Diphenyl Isocyanate</i>
MUF	<i>Melanine-Urea-Formaldehyde</i>
PU	Poliuretanos
pMDI	para-Methylene Diphenyl Isocyanate
UF	Ureia-Formaldeído
LEPABE	Laboratório de Engenharia de Processo, Ambiente, Biotecnologia e Energia
UPTEC	Parque Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto
EN	<i>European Norm</i>
IISRP	International Institute of Synthetic Rubber Producers
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
IPV	<i>Instituto Politécnico de Viseu</i>

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Desenvolvido no âmbito da Dissertação de Mestrado e realizado em ambiente empresarial, o presente trabalho procura colmatar alguns problemas associados à utilização de papel kraft na indústria de produção de termolaminados, na qual a Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. (SIR) se insere. Surgindo da necessidade de conferir novas características diferenciadoras e compatibilizar o produto com o processo produtivo da SIR, o principal objetivo deste trabalho é a otimização de novas soluções de compactos de alta pressão, através da substituição do papel kraft do interior do compacto por outros materiais como borracha reciclada.

Fundada em 1959, na Maia, onde tem a sua sede (Figura 1), a SONAE - SOCIEDADE NACIONAL DE ESTRATIFICADOS, SARL, foi criada com o objetivo de produzir termolaminados decorativos. Em 1971 começa o processo de diversificação da SONAE, ao adquirir controlo de uma unidade de produção de aglomerado de madeira, em Paredes, e após a instalação da primeira linha de revestimento melamínico em Portugal, inicia a produção de aglomerado revestido com papel melamínico e de componentes de mobiliário e decoração. Em 1975, a Sonae inicia atividade no setor da química industrial instalando uma unidade de produção de resinas fenólicas e melamínicas. No final de 1988 é constituída a holding do Grupo e o património industrial da unidade da Maia foi integrado e criada a SONAE INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS, S.A. (SIR) na qual se desenvolve esta dissertação.

Entre 1988 e 1990, a SONAE consolida a sua posição de líder no setor de aglomerados de madeira, com a aquisição de novas unidades fabris e inicia a internacionalização dos seus negócios, ao adquirir a *Spanboard*, na Irlanda do Norte. Em 1990, a SONAE era já o maior grupo não financeiro de capitais maioritariamente portugueses e no ano seguinte dá-se uma importante reorganização com a criação de distintas sub-holdings, surgindo, então a SONAE INDÚSTRIA, SGPS.

Em 1993, marca o início de uma nova fase de expansão e internacionalização dos negócios do Grupo SONAE INDÚSTRIA, tornando-se um dos cinco maiores produtores europeus e líder do setor de painéis de madeira na Península Ibérica Continua este processo de crescimento com a aquisição da TAFISA, expandindo as suas



Figura 1- Instalações da SIR na Maia

atividades para o Canadá, Brasil e África. Ao longo dos anos seguintes, a empresa atravessou um processo de expansão através da combinação de crescimento orgânico e aquisições, tendo-se afirmado, cada vez mais, como líder nos sectores a que se dedica.

Já em 2016, a Sonae Indústria SGPS conclui a parceria estratégica com a Inversiones Arauco International, com sede no Chile, surgindo a Sonae Arauco, que passou a englobar todas as operações de painéis derivados de madeira, químicos e impregnação de papel que a Sonae Indústria atualmente detém na África do Sul e em todo o continente europeu.

A Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. tem como âmbito “a conceção, desenvolvimento, produção e comercialização de termolaminados” sendo o seu o capital social detido na sua totalidade pela Sonae Indústria, SGPS, S.A.

Os objetivos deste trabalho são o estudo de novas soluções e arquiteturas de compactos de alta pressão utilizando borracha reciclada como substrato para posterior aplicação de termolaminados de alta pressão (*High Pressure Laminates* - HPL); a otimização do processo de produção focada na sua implementação industrial e, por fim, o desenvolvimento do protótipo até um ponto suficiente, de modo a obter uma prova de conceito. Os HPL da SIR consistem numa fina placa constituída por folhas de papel kraft impregnadas com resinas termoendurecíveis, ligadas entre si após serem submetidas a elevadas pressões e temperaturas, resultando num produto de elevada versatilidade e grande resistência, utilizado em diversas aplicações como mobiliário, revestimentos ou divisórias de casa de banho. Apesar de ser considerado como um produto topo de gama para aplicações exigentes, em certos casos estes compactos tornam-se em produtos sobre-qualificados e demasiado dispendiosos. De facto, por serem produtos de difícil manuseio e muito pesados, com elevada densidade e resistência mecânica, estes termolaminados são difíceis de transformar ou maquinar, reduzindo, deste modo o leque de aplicações e, conseqüentemente, tornando-o num produto mais difícil de comercializar. Este projeto procura colmatar a necessidade de um produto estruturalmente menos resistente, mas que seja vantajoso no sentido de resultar em maior valor acrescentado, quer pela redução de custo e peso, quer por ser mais fácil de trabalhar, cortar ou fresar, aumentando, deste modo, a aplicabilidade do produto.

Privilegiando o uso de matérias-primas de baixo custo e fácil acesso com o objetivo de reduzir o custo de produção, diferentes materiais poderiam ser escolhidos para este estudo. Na escolha destes materiais a serem usados no projeto, parâmetros como a facilidade de processamento, maquinação e transformação, assim como o peso do produto e a sua resistência mecânica, são tidos como características diferenciadoras face ao produto atualmente comercializado pela SIR. A opção de se recorrer a borracha reciclada triturada em fina granulometria, fornecida pela Biosafe, explora a reutilização de borracha proveniente de pneus em fins de vida, um resíduo sólido presente em abundância em Portugal.

De uma forma geral, inicialmente, procurar-se-á encontrar uma arquitetura ótima e uma seleção de materiais que viabilize estruturalmente o compacto, numa segunda fase definir a sua composição e assegurar a compatibilidade do protótipo com o processo produtivo da SIR, e numa fase final do desenvolvimento e validação do protótipo, otimização de diferentes parâmetros de modo a reduzir o custo de produção e a facilitar o processo produtivo, focado na implementação industrial do produto.

1.2 Contributos do Trabalho

A SIR promove a constante inovação e a busca de diferentes abordagens aos desafios que surgem. A vasta gama de laminados de alta pressão procura satisfazer as necessidades do mercado para todos os tipos de aplicações e a solicitação de laminados de baixo custo, mais leves e mais fáceis de manusear, trabalhar e maquinar constitui um desafio para a empresa.

Para o departamento de I&D da SIR, o presente trabalho apresentou diferentes contribuições, como o estudo da viabilidade do compacto HPL usando borracha reciclada enquanto solução alternativa aos produtos atualmente comercializados; a otimização da arquitetura estrutural focada na implementação industrial; caracterização dos compactos alternativos produzidos recorrendo a diferentes métodos e testes e, por fim, benchmarking de diferentes soluções alternativas concorrentes aos compactos da SIR.

Em 2017, a SIR coordenou outra dissertação com o tema “Desenvolvimento de painéis de material reciclado revestidos com laminado de alta pressão” (Ana Vinhas, 2017) servindo o presente trabalho como uma continuação e aprofundamento do tema, procurando otimizar os resultados obtidos previamente e colmatar as limitações e os obstáculos encontrados no primeiro estudo deste tema. Neste estudo anterior, identificaram-se os principais parâmetros e condições de operação associadas à produção do produto final, servindo estes de ponto de partida para o presente estudo. Assim, após estudo e otimização de compactos de espessura de 5 mm, Vinhas definiu como configuração ideal: uma folha de papel kraft seco e quatro de kraft impregnado por face, um teor de resina pré polímero de poliuretano (PU) de 4%, granulometria entre os 0,0 e 0,8 mm e 4 MPa como pressão máxima a ser aplicada para produção dos painéis de borracha reciclada revestidos com laminado de alta pressão.

Sendo os HPL produzidos a pressões específicas iguais superiores a 5 MPa, o presente trabalho procura otimizar a arquitetura do compacto, assim como o seu processo produtivo, de modo a produzir os primeiros compactos HPL de borracha reciclada acima da pressão específica definida pela norma EN 438-2, e, se possível ultrapassar os 9 MPa, compatibilizando a produção do *core* (constituído por granulado de borracha reciclada, resina PU e duas folhas de papel kraft seco) com os parâmetros de produção dos laminados de alta pressão da SIR.

Este trabalho visa, também, clarificar a influência de diferentes componentes, parâmetros e condições na viabilização do produto enquanto parte do processo produtivo atual da SIR.

1.3 Organização da Tese

A presente dissertação está dividida nas seguintes secções:

1. Enquadramento, apresentação do projeto e principais objetivos;
2. Contexto e estado da arte, onde são apresentados os diferentes componentes a utilizar e estudos realizados;
3. Descrição técnica de todos os materiais, análises, técnicas e atividades realizadas durante esta dissertação;
4. Resultados e discussão dos mesmos;
5. Conclusões retiradas pela análise dos resultados deste projeto;
6. Avaliação do trabalho realizado, resumo das principais limitações e sugestões para trabalhos e projetos futuros.

2 Contexto e Estado da Arte

Enquanto um dos maiores produtores de painéis derivados de madeira, laminados e compactos, a SIR está orientada na procura da melhoria contínua dos seus processos e produtos. A empresa aposta na constante inovação e investigação, estando a par de novas tecnologias que possam alargar o seu portefólio, satisfazer os clientes e as necessidades do mercado e promover um desenvolvimento sustentável para uma melhor conceção, desenvolvimento, produção e comercialização de termolaminados.

Com o intuito de produzir um compacto de baixo custo, procura-se integrar, nos produtos já desenvolvidos, borracha reciclada: um resíduo com elevada disponibilidade e que representa um desafio ambiental de difícil resolução e gestão, procurando, ao mesmo tempo, manter ou melhorar o desempenho dos produtos já comercializados pela SIR.

Em Portugal, o mercado dos laminados encontra-se em crescimento. Em 2016, o negócio de laminados e componentes apresentou um melhor desempenho face ao ano anterior. A unidade de laminados da SIR, única no país neste tipo de produto, cresceu 44% em volume de vendas, estando, deste modo, a empresa a aproveitar as melhores condições globais do mercado, com os seus três principais negócios a melhorar o seu desempenho face a 2015. A Europa representa 65% do volume de negócios do mercado global, apresentando-se como mercado líder no setor (Global Industry Analysts, Inc, 2016) e está previsto o maior crescimento do sector para os mercados Asiático e Latino-Americano.

O mercado global dos laminados continua também em expansão, com os setores comercial e de construção e recuperação de edifícios em crescimento, estando previsto, para 2022, um total de 30,5 mil milhões de euros em volume de negócios (Lucintel, Nov 2017). Os baixos custos de instalação e manutenção, aliados a um aumento na atividade de construção, mas também à inovação e desenvolvimento dos produtos, são os principais fatores de crescimento e procura deste setor.

A economia circular é a transição do modelo linear de produção de bens e serviços, para um modelo circular que estimula novas práticas de gestão e descortina novas oportunidades criando valor às organizações em harmonia com o meio ambiente. Enquanto fonte de inovação ao nível de produtos, processos e modelo de negócio, e permitindo a redução da procura de recursos naturais com a recuperação de desperdícios e resíduos, este novo paradigma de sustentabilidade abre excelentes perspectivas a serem encaradas pelas empresas como alavanca e motivação para um crescimento com bases sólidas e com futuro, além das vantagens competitivas num mercado dinâmico e global. (Leitão, 2015)

Relativamente ao mercado de pneus usados em Portugal, em 2016, assistiu-se ao aumento da quantidade de pneus colocada no mercado, tendo atingido o seu máximo desde o início do funcionamento da Valorpneu, a entidade responsável pela organização e gestão do sistema de recolha e destino final de pneus usados, criada em 2002, em Portugal. Verificou-se, também, um aumento nos pneus usados gerados, ultrapassando as 80 000 toneladas, no ano de 2016, das quais cerca de 55 000 correspondem a borracha, tendo em consideração que a borracha (sintética e natural) representa 68% da constituição em peso de um pneu. É de notar que, em termos de operações de tratamento, a reciclagem é maioritariamente utilizada, tendo sido recicladas mais de 47 000 toneladas de pneus usados, representando 56,4% da totalidade de destinos dos pneus recolhidos pelo Sistema de Gestão de Pneus Usados (SGPU), como se observa pela Figura 2. Podemos, assim, concluir que a borracha reciclada é uma matéria-prima de elevada disponibilidade e que pode ser aplicada em diferentes áreas, desde a indústria de isolamentos, à indústria de pavimentos, betume modificado de borracha (BMB, MBB na sigla inglesa) e sendo que, em 2016, 51,7% do granulado de borracha produzido foi utilizado na produção de relvados sintéticos, regista-se, deste modo, um aumento face a 2015, ano em que perfazia 47,8%. No seguimento desta necessidade de novas formas e produtos, que impulsionem a reutilização dos resíduos produzidos, surge a oportunidade de os incorporar em produtos resistentes e economicamente viáveis, que possam ser comercializados pela SIR, como é o caso dos compactos de laminados de alta pressão usando borracha reciclada.

Destino dos pneus recolhidos pelo SGPU

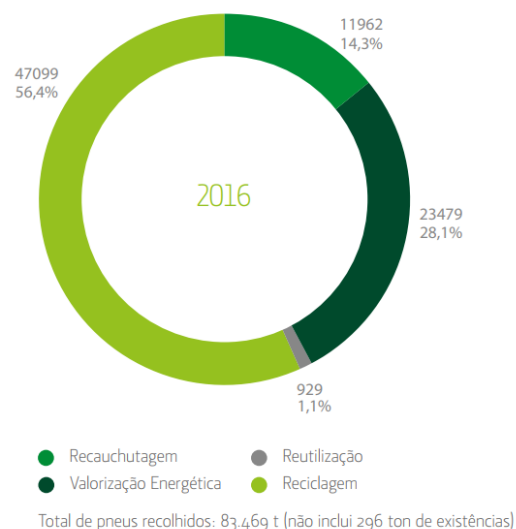


Figura 2- Distribuição dos destinos de pneus recolhidos em Portugal

Assim, após um estudo aprofundado da arquitetura de termolaminados e compactos, procurar-se-á otimizar e encontrar possíveis alterações à mesma, através da substituição de componentes físicos parcial ou totalmente, ou pela alteração de formulações, quantidades e tipo de componentes adesivos, de forma a garantir a adesão do papel kraft à borracha reciclada, mantendo ou melhorando as propriedades mecânicas associadas a este tipo de produtos e reduzindo custos de produção. Todo o processo será estudado com vista à implementação industrial do produto, sendo objetivada a viabilização e compatibilização do processo produtivo com o da SIR.

Todo este projeto é economicamente interessante para a SIR, estando prevista a diminuição de custos de matéria-prima, de quantidade de papel kraft necessário enquanto resultados da

incorporação de borracha nos compactos conduzindo a uma melhoria em algumas propriedades mecânicas de interesse, face a produtos apresentados pela concorrência da SIR.

2.1 Termolaminados de alta pressão (HPL)

Os termolaminados decorativos de alta pressão (HPL-High Pressure Laminate), consistem em camadas de papel impregnado com resinas termoendurecíveis para promover a adesão entre as diferentes camadas aquando submetidas simultaneamente a calor (temperatura igual ou superior a 120 °C) e elevada pressão específica (igual ou superior a 5 MPa), promovendo o fluxo e subsequente cura das resinas termoendurecíveis para obter um material homogêneo e não-poroso, com maior densidade ($\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$) e com o acabamento superficial exigido (Figura 3). Enquanto soluções de superfície, os HPL representam uma das soluções mais indicadas para móveis, bancadas, pavimentos e superfícies de painéis de parede para edifícios residenciais e comerciais quer horizontais ou verticais, de interior ou exterior, que requerem elevada performance física, mecânica e química. A sua elevada versatilidade de texturas e padrões permitem atender a diferentes mercados, podendo, também, ser melhorados de forma a obter propriedades antibacterianas, antifúngicas, anti mosquito, atribuição de propriedades de resistência ao fogo e à chama, anti impressão digital, entre outros, ou simplesmente por afinação de pormenores como brilho, opacidade e cor (Figura 4). Geralmente, os HPL são compostos por três componentes distintos: uma carga de várias camadas de papel kraft impregnado com resina de fenol-formaldeído (PF), coberta por uma folha de papel decorativo impregnado com uma resina de melamina-formaldeído (Magina et al., 2016). É possível ainda usar um *overlay* por cima do decorativo para aplicações onde é necessária uma alta resistência à abrasão ou risco.

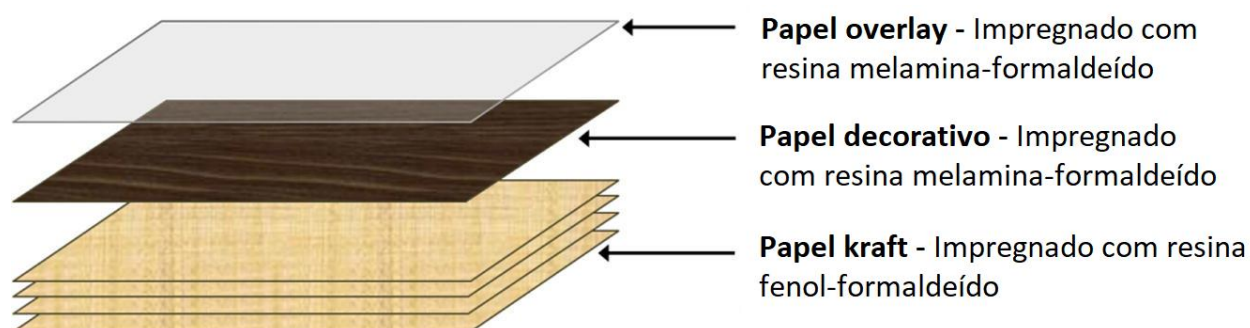


Figura 3 - Constituição de um HPL (adaptado de (Magina et al., 2016))

Todos os termolaminados produzidos na SIR são analisados segundo a Norma “EN 438-2 - High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 2: Determination of properties” e é testada a sua resistência a várias agressões a que os HPL poder estar sujeitos.

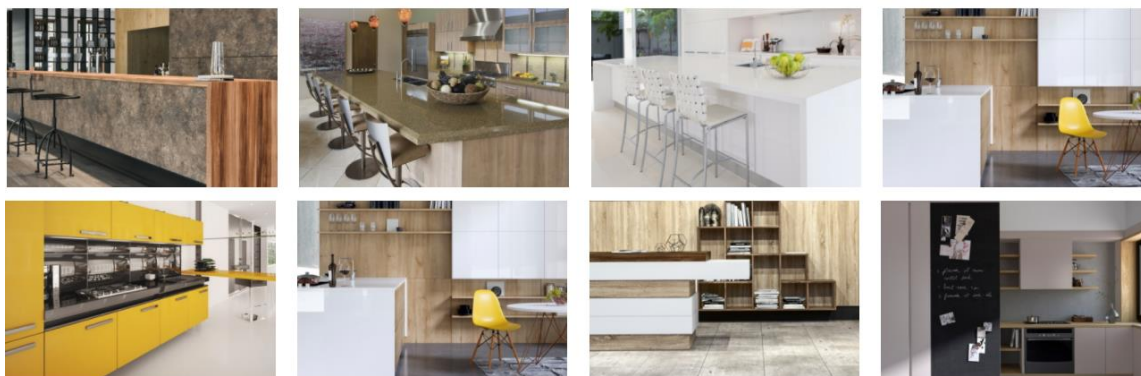


Figura 4 - Diferentes aplicações dos HPL da SIR.

2.2 Compactos Fenólicos

Um compacto fenólico distingue-se do HPL por apresentar uma espessura igual ou superior a 2 mm e é composto por um miolo de papel kraft impregnado com resinas termoendurecíveis, podendo apresentar uma ou duas faces decorativas, constituídas por um papel decorativo e um overlay protetor, como se observa pela Figura 5. Apresenta elevada resistência mecânica e impermeabilidade e além destas características, outras podem ser potenciadas, como por exemplo resistência à chama, ao risco e a condições atmosféricas adversas.

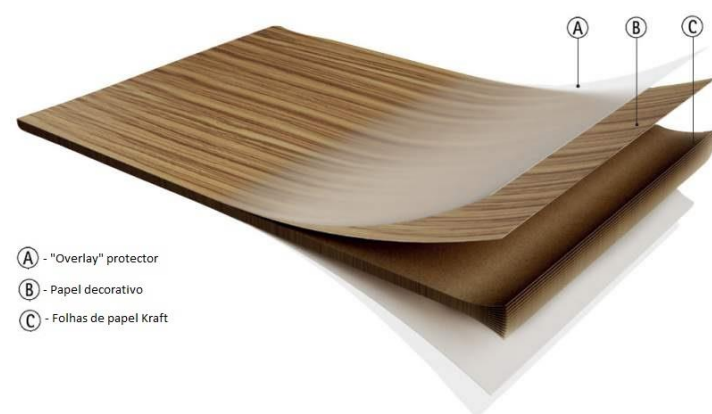


Figura 5 - Constituição de um compacto fenólico (adaptado Tectonica online)

O processo de produção de compactos e laminados é essencialmente constituído por quatro principais etapas sucessivas: impregnação, prensagem, acabamentos e classificação do produto final.

Na impregnação do papel kraft, de forma a conferir-lhe as características adesivas necessárias para o processo de prensagem, é adicionada uma resina curada de melamina-formaldeído, de base aquosa e derivada da reação entre o formaldeído e o fenol. Após este passo, o papel é seco e cortado. Posteriormente, no processo de prensagem e após a meticolosa formação das cargas (Figura 6), montadas manualmente de baixo para cima com as diferentes camadas de folhas do compacto a produzir, as cargas são aquecidas a temperaturas superiores a 120 °C, sendo neste processo de “cura” que se dá a formação de um polímero homogéneo, rígido e termoendurecível. Após a cura estar completa, a carga é arrefecida para diminuir quaisquer tensões (Figuras 7 e 8). Na linha de acabamento, é efetuado o corte em largura e comprimento das placas, o produto é lixado e carimbado por baixo e é já feita uma primeira triagem de defeitos. Na etapa final de classificação de laminados/ produto final, é efetuada uma inspeção visual na qual são encontrados e separados os defeitos dos produtos bem acabados e prontos a expedir. Os principais problemas identificados nesta etapa são maioritariamente relacionados com sujidade que fica marcada no decorativo, problemas de indexação, defeitos do papel ou manchas.

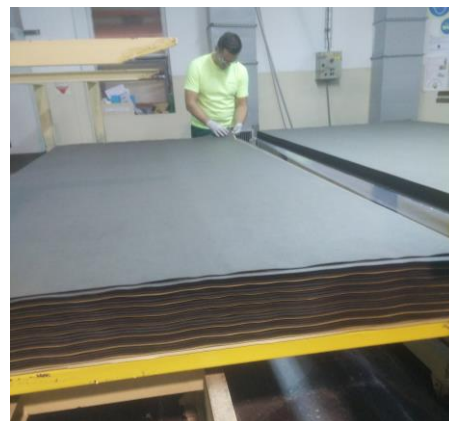


Figura 6 - Formação de cargas, aqui são montadas e separadas as cargas para facilitar a alimentação da prensa



Figura 7 - Prensa 2 de alta pressão da SIR (1999); Dimensões: 3,05 m x 1,32 m até 3,66 m x 1,56 m (5 dimensões)



Figura 8 - Prensa 1 de alta pressão da SIR (1959) Dimensões: 2,5 m x 1,25 m; Pressão \geq 9 MPa

2.3 Papel Kraft

O papel kraft constitui a base de um termolaminado de alta pressão, conferindo-lhe rigidez e espessura, definidos pelo número de folhas utilizadas e pela sua granulometria. De cor acastanhada e textura rugosa, obteve a sua designação devido ao processo Kraft de transformação química de madeira em polpa de madeira (resinosas ou folhosas).

No processo de impregnação do papel kraft, este é passado num banho com resina fenol-formaldeído, previamente formulada, permitindo a sua penetração no papel pela ação de dois rolos equalizadores, que asseguram uma distribuição homogénea da resina pela folha. Posteriormente, o papel é colocado num conjunto de estufas em série, evaporando os compostos voláteis da resina e conseqüentemente secando o papel. De seguida, é cortado e armazenado em ambiente condicionado. (Soares, 2012)

2.4 Borracha

2.4.1 Borracha Natural

A borracha natural é um elastómero obtido através da refinação do latex, uma dispersão coloidal produzida por algumas plantas e árvores. É resistente à água e possui elevada elasticidade, resistência à fadiga e à tração e flexibilidade.

O consumo global de borracha natural (NR) encontra a sua maior distribuição no sector automóvel com cerca de 75% relativos à produção de pneus e 5% a produto mecânicos de automóveis, seguido do sector não-automóvel (10%) e, por fim, diferentes aplicações como sector médico e outros produtos de saúde (10%). Desde 1960, a qualidade e a consistência da borracha natural tem melhorado, primariamente devido à implementação de especificações estandardizadas que definem diferentes categorias. A borracha natural está dividida em três tipos básicos: borrachas tecnicamente especificadas (avaliação do conteúdo de sujidade, cinzas, conteúdo volátil, azoto, viscosidade de *Mooney*, plasticidade e índice de cor); borrachas especificadas visualmente e borrachas de especialidade (Líquidas e de baixo peso molecular, epoxizadas ou desproteinizadas, por exemplo) (Wagner, 1976).

Quimicamente, a borracha natural é um cis-1,4-poliisopreno, apresentando uma longa cadeia polimérica linear com unidades C_5H_8 (2-metil-1,3 butadieno) repetidas e com densidade aproximadamente igual a 0,93 a 20 °C.

2.4.2 Borracha Sintética

Este elastómero utiliza isopreno como matéria-prima e classifica-se de acordo com o método de produção e polímeros base utilizados. A classificação das diferentes borrachas sintéticas é governada pelo IISRP. Podem também ser definidos consoante a sua macro e microestrutura,

sendo que na primeira procura-se descrever o peso molecular, a distribuição de ligações cruzadas e as ramificações de cadeia, enquanto que a segunda é constituída pela descrição dos arranjos dos monómeros dentro da cadeia polimérica (Rodgers e Waddell 2013).

A produção de pneus consome aproximadamente 60% da produção global de borrachas sintéticas e as borrachas de butadieno-estireno (SBR), os polímeros produzidos em maior volume, representam 65% das borrachas sintéticas usadas em pneus (Worldwide Rubber Statistics, 2015), seguidas das borrachas de polibutadieno (BR), polímero com várias características vantajosas, desde boa resistência à abrasão ao bom desempenho face ao desgaste e quando misturada com borracha natural, obtém-se melhorias na resistência à fadiga e à propagação de cortes. (Mezynski e Rodgers 1993).

O granulado de borracha reciclada utilizado neste projeto foi fornecido pela Biosafe, este é obtido através de um processo mecânico de reciclagem de pneus. Este processo é dividido em 5 etapas, iniciando-se com a receção do pneu, seguido de duas triturações sucessivas, utilizando “shredders”. Numa segunda fase é efetuada uma separação magnética inicial, seguida de granulação e de uma segunda separação magnética. Por fim, dá-se a remoção de fibras, uma separação granulométrica e uma última separação magnética, de forma a retirar-se partículas de aço ou têxtil que ainda não tenham sido separadas eficazmente. A calibração do granulado, controlo de qualidade e embalamento encerram a fase final deste processo (Marques 2005). Deste procedimento resultam partículas com diferentes tamanhos, que terão aplicações diferentes consoante a sua granulometria. Para este estudo apenas foi usada borracha reciclada de fina granulometria (< 0.4 mm) uma vez que, ao ter uma área superficial superior, conduzirá a melhores adesões na encolagem da borracha e na sua adesão ao papel kraft e porosidades menores após prensagem, potenciando os resultados preliminares. (Vinhas, 2017)

2.5 Poliuretanos

O poliuretano foi pela primeira vez sintetizado, nos laboratórios da I.G. Farben, na Alemanha por Otto Bayer e os seus colegas, em 1937 (Monteiro, 2014). Os poliuretanos são formados fazendo reagir um poliálcool (um álcool com dois ou mais grupos hidroxilo reativos por molécula) com um diisocianato ou um isocianato polimérico na presença de catalisadores e aditivos adequados. Uma vez que uma grande variedade de diisocianatos e polióis podem ser utilizados para produzir um poliuretano, são polímeros versáteis devido à variedade de grupos constitutivos e da possibilidade de polimerização controlada, o que permite a adaptação do processo para a obtenção de materiais para as mais variadas exigências (Zeck, 2004).

Os poliuretanos formam ligações com a maioria das superfícies, adquirindo assim uma elevada versatilidade face a matérias-primas, composição e processo de cura, razão pela qual são

utilizados em diversas aplicações, além disso, ainda possuem melhor resistência a baixas temperaturas do que qualquer outro adesivo. Outras vantagens passam pela resistência à abrasão, rigidez e flexibilidade. Quanto à sua base, podem ser catalogados tanto como adesivos isentos de solventes como de base solvente. Assim, obtemos a seguinte classificação topológica: espumas, elastómeros microcelulares e elastómeros sólidos. (Melo, 2004)

O material ligante utilizado para a encolagem do granulado de borracha reciclada é um pré-polímero de poliuretano, que se traduz por um intermediário que contém grupos isocianato livres, a sua reação de formação é apresentada na Figura 9.



Figura 9 - Reação de formação do pré-polímero de poliuretano.

Neste caso, todos os componentes são misturados pelo fabricante de matérias-primas, fazendo-se reagir o polioliol com o diisocianatos de fenilmetano (MDI) em excesso obtendo-se um pré-polímero de peso molecular médio com grupos terminais isocianato. O MDI, apresentado na Figura 10, é um diisocianato aromático de cor amarelada, sendo o isocianato da mais consumido no mundo.

A utilização deste tipo de substância permite um maior controlo das várias reações realizadas, já que é um processo bastante empregue na produção de elastómeros, espumas, colas e revestimentos. (Monteiro, 2014). Trata-se do adesivo ideal a ser utilizado neste projeto, na sua conformação para-(4,4'-MDI), devido à elevada tolerância à humidade, tempos de cura curtos e ausência de libertação de gases nocivos.

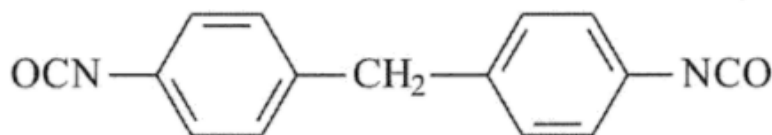


Figura 10 - Estrutura molecular do 4,4' MDI (Melo et al., 2004).

A indústria de aglomerados de cortiça usa, em Portugal, mais de 5000 toneladas por ano de resinas PU para a produção aglomerados decorativos de baixa densidade, rolhas de champagne e rolhas de aglomerado produzidas por extensão. (Melo e Moreno, 2004)

2.6 Resina de fenol-formaldeído

Os compostos fenólicos definem-se como uma classe de compostos químicos a partir das quais se podem produzir resinas plásticas de alta resistência, que podem ser utilizadas como adesivo interior para as fibras no processo de transformação de aglomerados de madeira, conferindo-lhes propriedades de grande resistência química e mecânica. A sua versatilidade, elevada resistência, durabilidade e total insensibilidade a uma vasta gama de agentes químicos agressores, tornam os painéis em resinas fenólicas termoendurecíveis numa opção a ter em conta em todo o tipo de revestimentos. (Mendes, 2009)

2.7 Resina de melamina-formaldeído

A resina melamínica ou de melamina-formaldeído (MF) é um material plástico termoendurecível e resistente. As resinas termoendurecíveis mantêm-se insolúveis aquando do processo de cura, não perdendo solidez com o aquecimento (Campos et al., 2004). As resinas de MF são indicadas para curas a quente (115 a 160 °C) e são produzidas a partir de melamina e formaldeído por condensação dos dois monómeros e apresentam vantagens como elevada resistência à água, possibilidade de cura sem catalisador e de serem comercializadas em solução aquosa e pó para aplicações que necessitem de maior vida útil. (Filho, 2009)

2.8 Estudos relacionados

De maneira a validar a procura deste tipo de produtos no mercado, procedeu-se a um estudo extensivo da literatura, tanto a nível de artigos científicos como de patentes relacionadas com este projeto. É de salientar a escassez de publicações nesta área sendo que os resultados desta pesquisa mais próximos do tema em questão são apresentados abaixo.

Ayrlmis et al. (2009) apresentam um estudo sobre algumas propriedades físicas e mecânicas de OSB (Oriented-strand board-aglomerado de partículas longas e orientadas) contendo borracha de pneu reciclado em diferentes níveis de adição com base no peso das partículas secas. Neste artigo, foram utilizados dois tipos de resina, fenol-formaldeído (PF) e poliisocianato, nas diferentes experiências. O teor de borracha foi variado em diferentes percentagens em peso de borracha reciclada/madeira. Verificou-se que a borracha melhorou a resistência à água do painel OSB devido à sua propriedade quase hidrofóbica. Com base nos resultados obtidos com este estudo, concluiu-se que a borracha reciclada poderia ser usada para produção de OSB, utilizando uma resina PF, com um conteúdo de borracha reciclada de até 10% em peso, de acordo com o peso do painel seco.

Thébault et al. (2016) apresentam um estudo das principais variáveis que influenciam o processamento e propriedades de laminados à base de papéis impregnados com resina fenólica.

Esta revisão resume as principais interações, entre resinas fenólicas e papeis kraft impregnados, em quatro pontos fundamentais para o processo de produção de termolaminados de alta pressão: a velocidade de impregnação da resina líquida no papel; a homogeneidade da distribuição da resina pelo papel kraft; o fluxo mínimo entre folhas quando é aplicada elevada temperatura e pressão e, por fim, a cura da resina após este fluxo que previne danos ao nível das fibras. Com base nos resultados desta publicação verifica-se que os parâmetros mais relevantes relativamente ao processo de impregnação de papel kraft com resinas fenólicas são a viscosidade, a distribuição de pesos moleculares e de tensões superficiais, porosidade e características superficiais das fibras.

3 Descrição Técnica

3.1 Materiais Utilizados

A cola *LORPUR 172R* da *LORCOL* foi o ligante utilizado para promover a adesão das partículas de borracha. É um pré-polímero de poliuretano com coloração amarelada, resistente à água e de elevado grau de aderência. Com um tempo de abertura aproximado de 7 minutos, trata-se de um ligante que endurece em contacto com a humidade dos substratos (ficha técnica no Anexo 1). Esta cola é adequada para colagens de madeiras, laminados, MDF, assim como espumas rígidas, cerâmicas, entre outros. É também indicada para uso exterior.

Da Biosafe foram disponibilizados granulados com quatro granulometrias diferentes (0,0-0,4 mm, 0,4-2,5 mm, 2,5-4,0 mm, 4,0-7,0 mm, tendo sido utilizada a menor granulometria para este estudo (respetiva ficha técnica encontra-se no Anexo 2), visto que, a granulometria inferior conduz a melhores adesões entre partículas, devido à maior área superficial disponível, resultando em porosidades inferiores da placa.

O papel kraft seco (gramagem de 156 g.cm⁻²), impregnado e o papel decorativo, assim como outros materiais que foram sendo necessários ao longo do projeto, provieram da *SIR*.

3.2 Procedimentos

De modo a facilitar a otimização de novas soluções de compactos, o processo produtivo foi melhorado por etapas. De uma forma geral, as propriedades mais relevantes para este projeto seriam o número de folhas de papel kraft a utilizar e o teor de resina necessária para a encolagem do miolo, uma vez que o controlo destes parâmetros é vantajoso para a *SIR* como forma de redução de custos de produção. Outros parâmetros importantes a estudar seriam a resistência à tração perpendicular ao plano, a densidade ótima dos painéis produzidos, e por fim, a resistência mecânica do produto final, de forma a este ser adequado e compatível com as aplicações a que se destina. Salientam-se, também, outros parâmetros determinantes na otimização do produto, como a influência do tempo de aquecimento e arrefecimento do compacto, a temperatura dos pratos da prensa, a pressão efetiva de produção e a massa volúmica do painel.

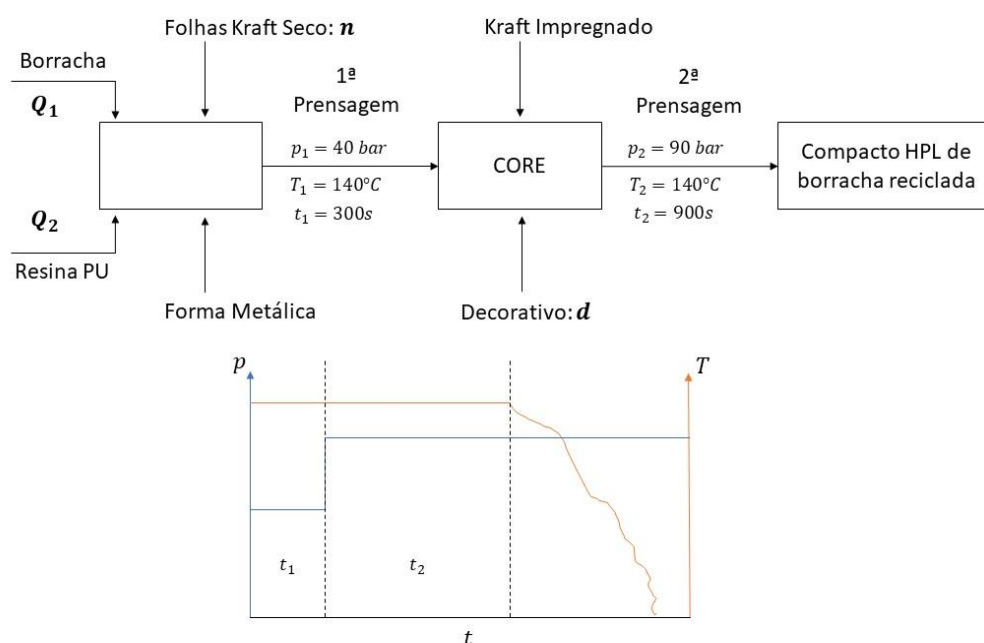


Figura 11- Esquema e perfil de temperatura e pressão ao longo do tempo de todo o processo de produção de compactos HPL de borracha reciclada.

Para a produção do *core* dos painéis, sob a orientação do Professor Doutor Jorge Martins, foi utilizada a prensa da SIR, da C.M.R. *Costruzioni Meccaniche*, (Figura 16) em conjunto com um painel de controlo integrado, disponível no UPTec, por promover um melhor acabamento do laminado e controlo das diversas variáveis. Esta prensa funciona com um controlo de pressão e possui um programa de arrefecimento. Para controlo de posição são utilizadas umas barras de aço, de modo a obter-se um compacto com a espessura desejada.

1. Definição de características (espessura, por exemplo) e cálculo de quantidades de componentes (exemplo de cálculo no Anexo 3). Adicionalmente, corte do papel kraft seco e impregnado e papel decorativo necessário;
2. Pesagem dos reagentes;
3. Encolagem da borracha com resina, por mistura manual dentro de um saco plástico pousado sobre uma base (50x25 cm) para permitir um maior espalhamento do granulado de borracha durante a mistura (Figura 10);

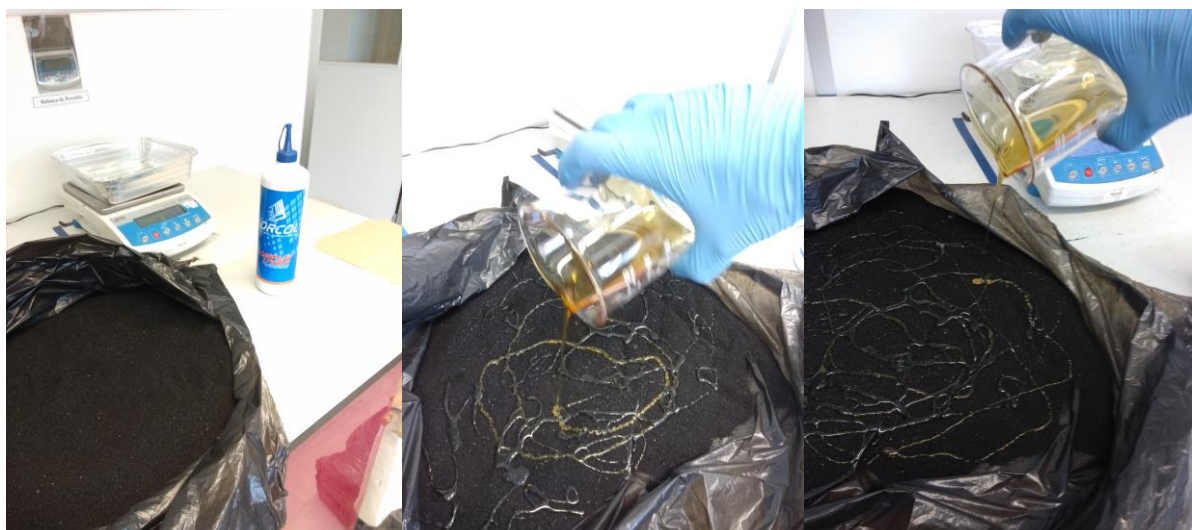


Figura 12 - Encolagem do granulado de borracha reciclada com resina de poliuretano.

4. Disposição das diferentes matérias-primas, de acordo com o esquema seguinte, nas formas utilizadas (Figura 13):



Figura 13 - Ordem de colocação das matérias-primas.

5. Primeira prensagem e arrefecimento: de forma a reproduzir o procedimento utilizado na indústria, o arrefecimento ocorre durante um longo período de tempo;

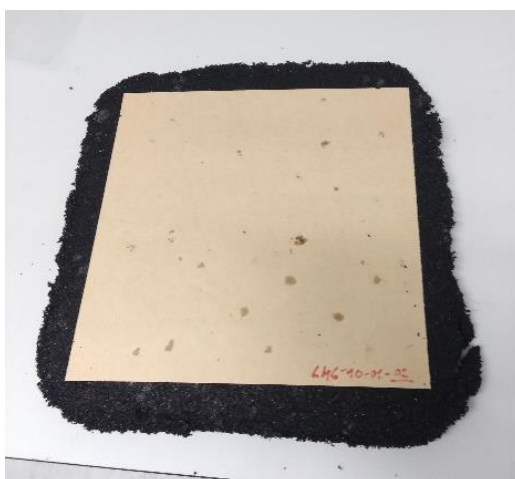


Figura 14 - Resultado da primeira prensagem.

6. Formação do laminado, com a adição das folhas de papel kraft e papel decorativo para formação dos laminados superficiais (Figura 15). Introdução das condições da prensagem, através da interface, nomeadamente, das dimensões dos painéis e das condições operatórias como temperatura, tempo de cura e pressão de trabalho (a qual converte em pressão efetiva nos pratos, sendo esta função da área do painel). De seguida coloca-se o laminado, por cima do core de borracha e kraft seco, entre os pratos e inicia-se o programa.

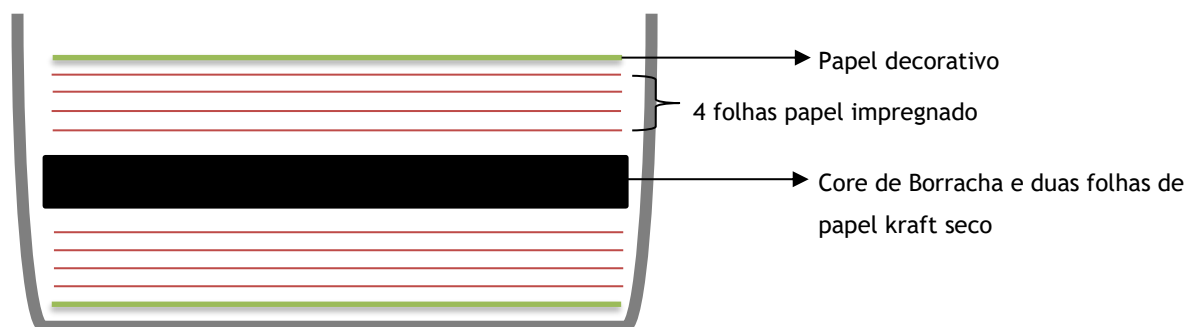


Figura 15 - Esquema da deposição do laminado, em ambas as faces do core de borracha-kraft seco. (adaptado de (Vinhas, 2017))

7. Segunda prensagem a 140 °C, promovendo a cura das resinas presentes tanto no kraft impregnado como no papel decorativo;
8. Arrefecimento do compacto, à temperatura ambiente, ainda dentro da prensa, sob pressão;
9. Corte dos provetes: habitualmente realizado no Departamento de Engenharia de Madeiras, do Instituto Politécnico de Viseu, pelo Eng. João Pereira, sob a supervisão do Prof. Jorge Martins.



Figura 16 - Prensa laboratorial de alta pressão da SIR.

3.3 Caracterização do produto

3.3.1 Teste de água em ebulição

Este teste avalia o aumento de massa e espessura dos provetes, bem como alterações na aparência da superfície, quando sujeitos a condições extremas de temperatura e humidade.

O procedimento aplicado passa por, conforme descrito na norma EN 438-2 (EN 438-2 2005):

1. Corte de quatro provetes de 5×5 cm do laminado (três para teste, um de referência);
2. Imersão dos três provetes num recipiente com água em ebulição durante 120 minutos;
3. Arrefecimento em água fria, durante 5 minutos;
4. Secagem dos provetes;
5. Repouso durante 24 horas;

3.3.2 Resistência à tração perpendicular ao plano

Os ensaios de resistência à tração perpendicular ao plano, ou de “*internal bond strength*” (IB), têm como objetivo definir a adesão interna (ou “*internal bond*”) de um provete, conforme as especificações da norma NP EN 319. Os provetes a testar devem apresentar uma forma quadrada com dimensões de 50 ± 1 mm de aresta, cujos ângulos devem ser de 90° , com bordos direitos e limpos.

Para este ensaio, os provetes são colados a suportes metálicos, paralelamente, com uma cola termofusível, como se observa na Figura 17. Para tal, as placas metálicas sofrem um aquecimento, por forma a fundir o adesivo utilizado, sobrepondo-se de seguida os provetes. Por último, o conjunto é deixado arrefecer de forma a proceder-se ao endurecimento da cola. (Campos e Lahr 2004)



Figura 17 - Detalhe da interface provete-superfície metálica.

Após montagem, os provetes são colocados num equipamento de ensaio universal, *Tinius Olsen H50KT*, e o ensaio inicia-se por aplicação de uma força de tração perpendicular às superfícies do provete por intermédio de uma garra, como se observa na Figura 18, capaz de medir a força aplicada.



Figura 18 - Detalhe do equipamento e ensaio numa fase final.

A determinação da resistência máxima consiste em submeter as amostras a uma tração até rutura a uma velocidade constante, e é calculada utilizando a *Equação 1*:

$$\text{Equação 1:} \quad f_{t\perp} = \frac{F_{max}}{a \times b}$$

sendo $f_{t\perp}$ a resistência à tração perpendicular em $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$, F_{max} a carga de rutura em Newton e a e b a largura e a espessura da secção reta do provete, respetivamente, do corpo-de-prova, em milímetros.

3.3.3 Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM)

A microscopia eletrónica de varrimento é um tipo de análise que nos permite obter imagens tridimensionais de alta resolução da superfície de uma amostra de interesse.

Através de um feixe de elétrons que interagem com os átomos presentes na amostra, excitando-os, diferentes sinais são produzidos e convertidos em informação sobre a topografia e composição da superfície em teste. Para este tipo de teste foi utilizado o equipamento *Phenom XL* da *Phenom-World* (Figura 19).

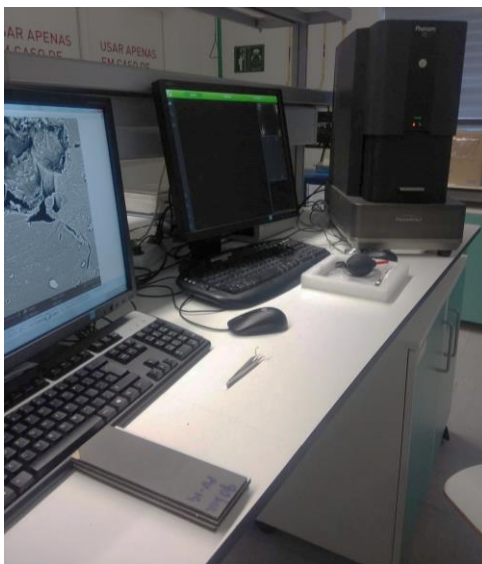


Figura 19 - Phenom XL presente no laboratório da ARCP/UPTEC.

De maneira a poderem ser analisadas, as amostras devem satisfazer um conjunto de condições: apresentar boa condutividade elétrica superficial, suportar vácuo, estabilidade física e química, entre outras. No caso de estas características não se verificarem, como no caso do presente estudo, é então necessário um pré-tratamento, como por exemplo, a aplicação de um revestimento ultrafino de ouro de forma a melhorar a condutividade superficial da amostra a visualizar. (A. Monteiro, 2015)

3.3.4 Resistência ao vapor de água

Este teste avalia alterações na aparência da superfície dos provetes, quando sujeitos a condições extremas de temperatura e humidade, segundo os parâmetros definidos pela norma EN 438-2 para este teste.

O procedimento adotado para estes testes passou por manter água em ebulição num recipiente e posicionar a superfície decorativa do provete a ensaiar voltada para baixo de modo a que fique exposta ao vapor de água, durante 30 minutos. Após este tempo o provete é retirado, limpo e deixado a repousar por mais 30 minutos, antes da examinação final de determinação de grau.

O presente teste é utilizado para avaliar o grau e extensão dos danos causados à superfície do laminado, compacto ou provete a ensaiar, de acordo com a seguinte escala:

- 1) Formação de bolhas ou delaminação;
- 2) Alterações acentuadas no brilho e/ou cor;
- 3) Alterações moderadas no brilho e/ou cor;
- 4) Alterações mínimas no brilho e/ou cor;
- 5) Sem alterações perceptíveis.

4 Discussão e Resultados

Numa primeira fase do projeto, optou-se por replicar as condições otimizadas no estudo anterior deste tema e produzir o compacto em duas etapas distintas: uma primeira onde o *core* seria produzido por prensagem de dois minutos a 120 °C e 2 MPa, para promover a cura da resina PU aplicada na encolagem, e uma segunda etapa, na qual a segunda prensagem com a duração de cinco minutos a 140 °C e 4 MPa, garante a adesão do laminado nas superfícies do painel anterior, resultando no compacto final (*Figura 20*).



Figura 20 - Compactos de borracha produzidos nas condições otimizadas do estudo anterior deste projeto (dois com 5 mm e dois com 12,5 mm de espessura, 4% resina).

Diferentes parâmetros e procedimentos foram sendo alterados ao longo deste estudo, de modo a podermos aumentar a pressão específica, aplicada na segunda prensagem, para a gama à qual os HPL, por definição, são produzidos (pressão superior a 5MPa). No sentido de compatibilizar o processo de produção de laminados da SIR, na Maia, com processo laboratorial de prensagem do laminado no *core*, constituído apenas por borracha e duas folhas de kraft seco, a pressão à qual o laminado é prensado no *core* deverá ser igual ou superior a 9 MPa. O desafio deste projeto passa pela importância de manter as propriedades estruturais e a integridade das placas de granulado de borracha reciclada com kraft seco, após a segunda prensagem a altas pressões para permitir a produção eficaz do laminado. Assim, optou-se por dividir este estudo em duas partes distintas, primeiro estudar a resistência do *core* (ou “sanduiche” de borracha e kraft seco) a diferentes pressões e otimizar o mesmo de modo a garantir que aguenta pressões entre

5 e 9 MPa sem comprometer a sua integridade estrutural; após este estudo e já com um substrato otimizado para posterior aplicação do laminado de alta pressão, focou-se o estudo nos principais parâmetros determinantes na produção de um compacto HPL usando borracha reciclada, tais como: como pressão, teor de resina, tempos de arrefecimento e polimerização, tipo de decorativo a utilizar e, por fim, a distribuição de calor pelas chapas de acabamento e compacto. Todos os provetes dos ensaios relativos à primeira parte deste estudo, são codificados com 01- (número do provete), e os ensaios relativos ao estudo do laminado, na segunda fase deste estudo, são acompanhados com a identificação 02- (número do provete).

4.1 Otimização do core

Numa primeira fase do projeto foi estudada a possibilidade de se otimizar a preparação e produção do *core* face ao método utilizado no estudo anterior deste tema. Assim, foi otimizado o processo de encolagem laboratorial de modo a reduzir o tempo de produção do *core* e garantir uma distribuição mais homogênea da resina PU pelo granulado de borracha reciclada. Por ser essencial não ultrapassar o tempo de cura de 7 minutos, característico desta resina, de modo a não comprometer a adesão do aglomerado de borracha e, conseqüentemente, a sua integridade estrutural, procurou-se, neste novo método de encolagem (Figuras 12 e 21), não só facilitar a aplicação da resina PU, mas, também, aumentar a área superficial de contacto entre os grãos de borracha reciclada e a resina, melhorando a distribuição do ligante pelo granulado e acelerando a preparação do *core*. Para além da otimização do processo de encolagem, foi também alterado o tempo de polimerização na primeira prensagem para produção do *core*, isto é, foi aumentado de 120 para 300 segundos o tempo ao qual a “sanduiche” de borracha e kraft seco é mantida dentro da prensa a 140 °C sob pressão e com a posição dos pratos definida por guias de aço posicionadas simetricamente. Tal aumento do tempo da primeira prensagem, conduz a uma cura mais eficaz da resina, resultando num maior grau de compactação da borracha e maior adesão entre as suas partículas e o kraft seco.



Figura 21 - Montagem para encolagem mais uniforme do granulado de borracha.

4.1.1 Influência da pressão

Nesta fase inicial, decidiu-se estudar o comportamento do *core* a diferentes pressões, sendo prensado uma primeira vez para curar a resina de poliuretano e compactar os componentes numa só placa ou miolo e uma segunda para se avaliar a extensão das deformações quando

submetido a pressão elevada, simulando o processo de prensagem do HPL sob a placa de borracha. Na *Tabela 1* encontram-se os diferentes ensaios efetuados.

Tabela 1 - Estudo da influência da pressão no core.

ID Proвете	Pressão de trabalho / MPa
01-01	3,0
01-02	4,0
01-03	5,0
01-04	6,0
01-05	7,0
01-06	8,0
01-07	9,0
01-08	9,5

De um modo geral todos os ensaios resultaram em *cores* robustos e sem fraturas ao nível da borracha, com uma resistência mecânica apreciável, mesmo nos ensaios acima de 6 MPa, resultando em aglomerados sem defeitos aparentes. Em todos os ensaios, a folha de papel kraft seco fissurou, sendo a extensão dos estragos proporcional ao aumento de pressão, como se pode visualizar pela *Figura 17*. De facto, quando a pressão aplicada é elevada (≥ 5 MPa), à temperatura de 140 °C, o granulado flui para fora dos limites do laminado, conduzindo, posteriormente, a um elevado “*springback*” (recuperação elástica da borracha à forma inicial) quando libertada, ao qual a resina já curada não resiste. Este fenómeno resulta em quebras ou pequenas fissuras no aglomerado e no papel kraft ligado à borracha. Estas fissuras no papel kraft seco ligado ao aglomerado de borracha, associadas a prensagens a alta pressão, não comprometem a aplicação posterior do laminado, pois apenas serve como meio de ligação entre a borracha e o kraft impregnado, constituinte do HPL.

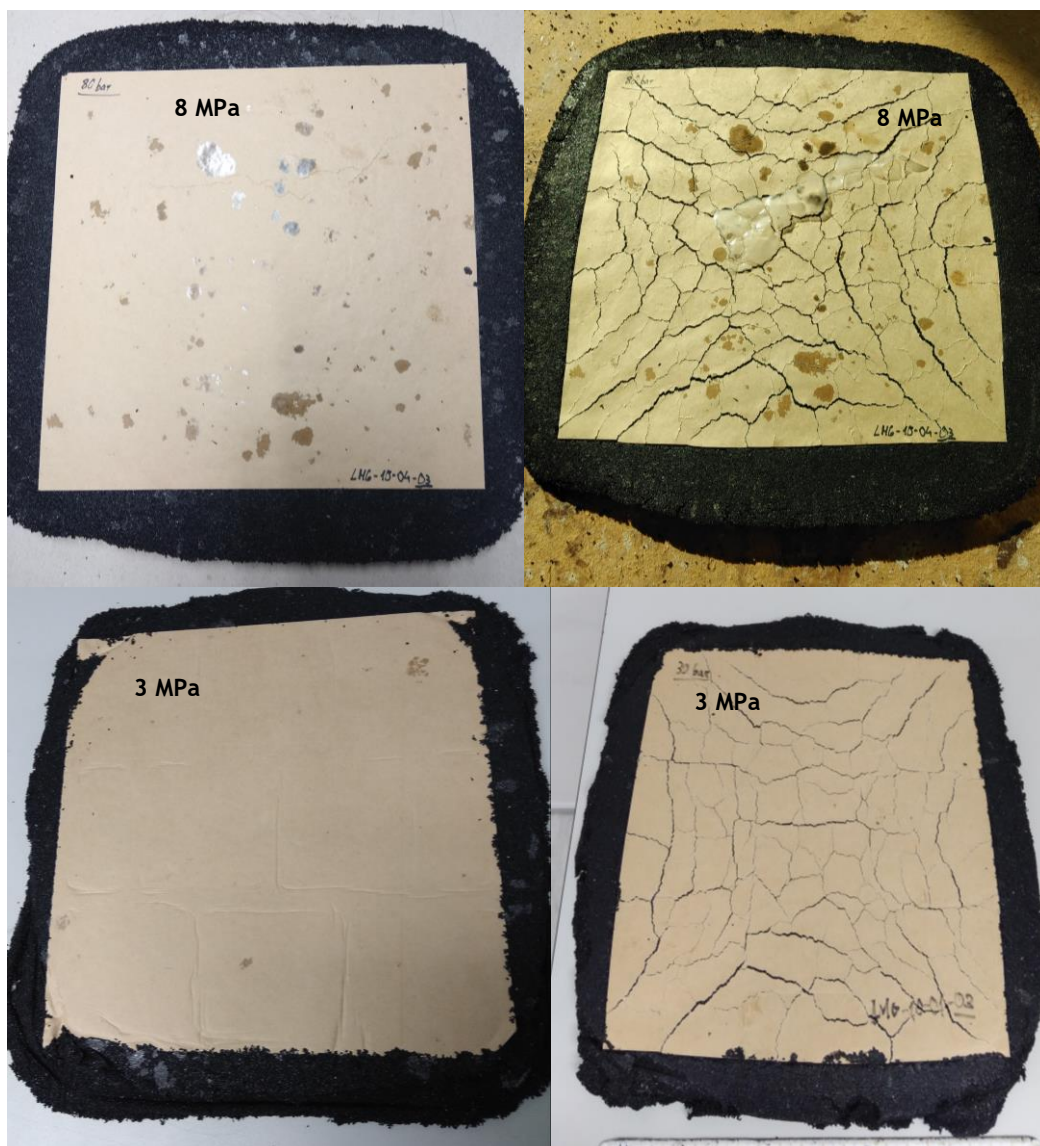


Figura 22 - Resultado dos ensaios antes (à esquerda) e depois (à direita na figura) da segunda prensagem (a 8 MPa nas duas imagens de cima e a 3 MPa nas duas outras).

De forma a auxiliar na avaliação da influência da pressão, realizaram-se testes de água em ebulição segundo o procedimento descrito pela norma EN 438-2. A Figura 23 representa a variação de massa ao longo do tempo de teste e representa a variação da espessura ao longo do tempo, em função da pressão específica a que cada ensaio foi realizado.

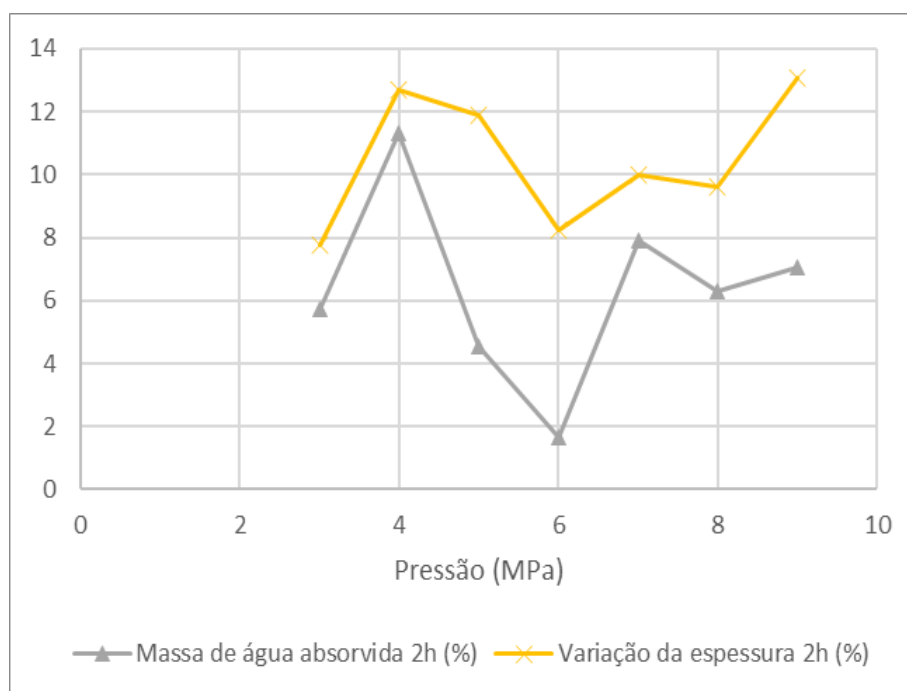


Figura 23 - Massa de água absorvida e variação da espessura ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, em função da pressão a que cada provete foi produzido.

Da análise da Figura 23, verifica-se que, de um modo geral a variação de massa e espessura foi bastante semelhante nos ensaios realizados, sendo que todos estes resultaram em variações inferiores a 15 %. Observa-se, no entanto, um distanciamento significativo na variação da massa e espessura para o provete 01-04, produzido a 6 MPa. Este desvio pode ser explicado por erros associados ao processo de encolagem ou decorrentes do processo de produção do compacto, como por exemplo, poderá ter sido ultrapassado o teor de resina de 5 %, resultando numa maior adesão entre as partículas de borracha do provete e, conseqüentemente, num maior grau de compactação, não alojando tanta quantidade de água nem sofrendo aumentos significativos na espessura. Conclui-se, por estes testes, que o aumento da pressão específica na segunda prensagem para valores próximos dos utilizados no processo produtivo industrial de laminados da SIR, como no caso dos provetes 01-06, 01-07 e 01-08, não compromete a integridade dos compactos. Como se verifica nos resultados dos provetes 01-02 e 01-07, produzidos a 4 e 9 MPa, respetivamente, os valores de aumento de massa de água e a diferença relativa de espessura são muito próximos, e abaixo dos valores dos mesmos testes realizados em compactos produzidos a 2,5 MPa, os quais apresentavam variações de massa e espessura entre os 15 e os 25 %. (Vinhas, 2017)

Adicionalmente, os dezasseis provetes foram enviados para o IPV de forma a serem realizados não só testes de resistência à tração perpendicular ao plano (IB), mas também medições da massa volúmica (MV). Na *Tabela 2* observam-se os valores obtidos.

Tabela 2- Resultados obtidos para o teste de MV e IB

ID Provete	MV / kg.m ⁻³	IB / N.mm ⁻²
01-1.4	1121	0,22
01-1.5	1147	0,25
01-2.4	1123	0,19
01-2.5	1137	0,21
01-3.4	1119	0,16
01-3.5	1148	0,17
01-4.4	1130	0,19
01-4.5	1152	0,16
01-5.4	1082	0,20
01-5.5	1112	0,23
01-6.4	1110	0,22
01-6.5	1117	0,21
01-7.4	1077	0,18
01-7.5	1105	0,15
01-8.4	1055	0,26
01-8.5	1108	0,27

De um modo geral, pode ser observado que os valores de IB apresentados encontram-se bastante próximos, verificando-se alguma consistência do método produtivo utilizado, e pela análise dos valores obtidos, para os provetes 01-2.4 (produzido a 4 MPa; 0,19 N.mm⁻²) e 01-7.4 (produzido a 9 MPa; 0,18 N.mm⁻²), pode-se concluir que pressões elevadas não comprometem a integridade, grau de compactação e rigidez dos *cores* produzidos. Dentro da mesma placa, podemos observar que a variabilidade dos resultados obtidos se encontra dentro do razoável, sendo que as diferenças observadas poderão ser justificadas por uma prensagem e/ou encolagem menos uniforme, pelo que os provetes com valores de IB superiores poderiam encontrar-se numa zona da placa com maior teor de resina ou na zona mais central da placa.

4.1.2 Teor de resina

Com o estudo da influência da pressão no *core* concluído, com diversos resultados a indicar que o compacto aguentaria pressões mais elevadas, seguiu-se para o estudo da influência do

teor de resina ideal a utilizar pois este parâmetro representa uma possibilidade de diminuição dos custos de produção.

No estudo da arquitetura ótima do compacto a produzir, duas folhas de papel kraft seco (uma por face) foram acrescentadas ao granulado de borracha reciclada (Figura 15) criando uma superfície de ligação, para que tanto a resina de poliuretano da borracha como a resina fenólica dos constituintes impregnados possam ancorar-se.

A cura da resina PU durante a primeira prensagem, permite, não só uma adesão homogénea dos grãos de borracha reciclada entre si, mas também une, irreversivelmente, as folhas de kraft seco à placa de borracha. Na segunda prensagem, é promovido o fluxo de resina PF de modo a atravessar as várias folhas de papel kraft impregnado até à folha de kraft seco, aderindo, assim, todo o laminado à placa de borracha por intermédio das folhas de kraft seco.

Numa primeira fase do projeto, doze provetes foram produzidos a diferentes teores de resina para se estudar a influência da quantidade de resina de poliuretano, aplicada na etapa da encolagem do granulado de borracha, na integridade estrutural do compacto final e no grau de compactação da borracha após a primeira prensagem. No estudo anterior deste tema, otimizou-se o teor de resina para 4% e seria expectável que quanto maior o teor de resina, melhor a qualidade global do compacto, no sentido em que maior percentagem de cola resultaria numa melhor adesão das partículas de borracha entre si e com as folhas kraft seco.

Tabela 3 - - Ensaios para o estudo do teor de resina ótimo.

ID Provete	Pressão 2ª prensagem / MPa	Teor de Resina / %
01-24	9	
01-25	8	5
01-26	6	
01-27	3	
01-28	9	
01-29	8	10
01-30	6	
01-31	3	
01-32	9	
01-33	8	
01-34	6	15
01-35	3	

Os ensaios realizados a 9 MPa para os três teores de resina apresentaram resultados muito positivos no âmbito deste estudo, no sentido em que todos resistiram à pressão sem fraturar ou fissurar, sendo, também, de salientar que o ensaio realizado a 5% de teor de resina PU e a 9 MPa resistiu perfeitamente e, como tal, verificou-se que não seria necessário aumentar o conteúdo de resina acima dos 5%, sendo este mais um parâmetro essencial para a redução do custo global de produção. A Tabela 4 resume os principais resultados obtidos no estudo do teor de resina ótima a utilizar.

Tabela 4 - Resultados obtidos relativos ao estudo do teor de resina ótimo.

ID Provete	Pressão / MPa	Teor de resina / %	IB / N.mm ⁻²
01-24	9		0,58
01-25	8	5	0,54
01-26	6		1,0
01-28	9		0,7
01-29	8	10	0.85
01-30	6		0.91
01-32	9		1,01
01-33	8	15	1,02
01-34	6		1,05

De um modo geral, verifica-se que os valores de IB aumentam consoante o aumento de resina na placa, o que seria de esperar, pois menores teores de resina conduzem a menos ligações entre as partículas de borracha, resultando num menor grau de compactação do aglomerado.

Os resultados suportam a hipótese de utilizar teores de resina de 5% para a produção de compactos HPL a 9 MPa, na medida em que os valores de IB obtidos nos testes se encontram na gama exigida pela norma EN 438, validando a otimização processo de produção do *core* e a utilização do teor de 5% de resina PU.

De forma a ter uma referência, procedeu-se à comparação dos resultados de IB obtidos com valores conhecidos para placas de aglomerados de partículas (AP) para fins não estruturais e ambiente húmido (tipo P3 de acordo com a norma EN 312). Na Tabela 5 encontram-se os valores de IB para os teores de resina de 5%, produzidos a 9 MPa e uma placa de aglomerado de partículas típica com a mesma espessura, para o caso de provetes não sujeitos ao teste de água em ebulição (319 s.d.).

Tabela 5 - Comparação das propriedades mecânicas entre os provetes testados e a bibliografia relativa a aglomerados de partículas.

ID Proвете	Espessura / mm	IB / N.mm ⁻²
01-24	5	0,58
01-28	5	0,70
AP	4 - 6	0,50

De acordo com a Tabela 5, os provetes selecionados apresentam valores de IB superiores aos valores típicos para AP, conclusões estas que justificam a utilização desta formulação nos estudos seguintes.

4.1.3 Condições de arrefecimento

Após o estudo da hipótese de se o *core* aguentaria altas pressões validada, e o teor de resina definido nos 5%, seguiu-se para o estudo da influência do tempo de arrefecimento do *core* na qualidade final do compacto.

Assim, quatro ensaios foram realizados fazendo variar as condições de arrefecimento após a primeira prensagem a 140 °C e 2 MPa de pressão específica. Dois provetes foram retirados da prensa a 140 °C e arrefecidos lentamente à temperatura ambiente (≈ 20 °C) e outros dois foram rapidamente arrefecidos, mantendo os provetes dentro da prensa desde os 140 °C até chegar a 25 °C, sempre com pressão aplicada. A Tabela 6 resume as condições deste estudo.

Tabela 6 - Estudo da influência das condições de arrefecimento.

ID Proвете	Condições
01-09	Prensado a 9 MPa; arrefecido dentro da prensa
01-10	Prensado a 8 MPa; arrefecido dentro da prensa
01-11	Prensado a 9 MPa; arrefecido à temperatura ambiente
01-12	Prensado a 8 MPa; arrefecido à temperatura ambiente

O arrefecimento dentro da prensa, dos 140 °C aos 25 °C, realizado pelo programa automático do equipamento laboratorial, tem a duração aproximada de 300 segundos, desde o fim do

tempo de polimerização estipulado, sempre com a pressão a ser aplicada. O arrefecimento à temperatura ambiente, pressupõe cerca de 1800 segundos de tempo de arrefecimento, sem qualquer pressão aplicada. Na Figura 24 podemos observar a influência do tempo e modo de arrefecimento na integridade e coesão do *core* produzido, evidenciados pela extensão de danos e fissuras do papel kraft seco ligado ao aglomerado de borracha.

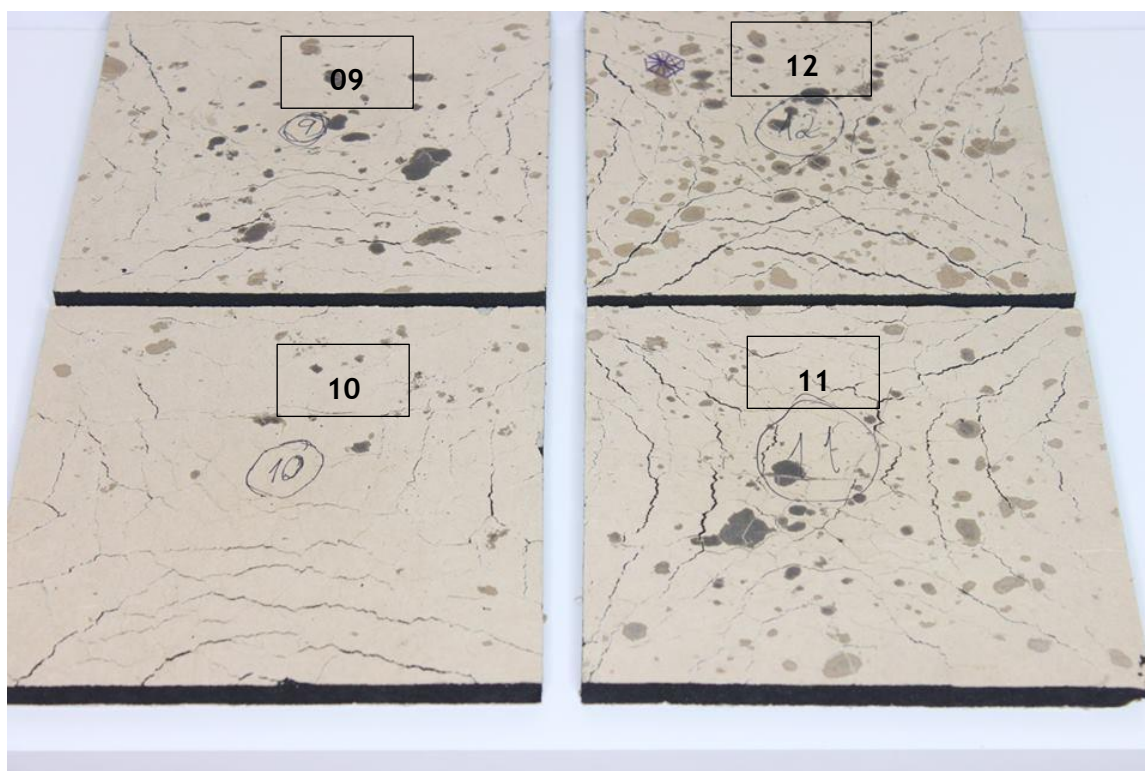


Figura 24 - Estudo da influência das condições de arrefecimento do *core*, provetes 9 e 10 (lado esquerdo da figura) arrefecidos dentro da prensa e provetes 11 e 12 arrefecidos na janela (lado direito da figura).

Observando a Figura 24, verifica-se que os ensaios nas condições de arrefecimento fora da prensa, provetes 01-11 e 01-12, apresentam fissuras mais acentuadas e mais deformações associadas ao efeito de “springback”, provocadas por movimentações do granulado de borracha após ser retirado da prensa a 140 °C e colocado a arrefecer lentamente à temperatura ambiente. No caso dos ensaios nos quais foi mantido o *core* dentro da prensa, provetes 01-09 e 01-10, por serem mantidos limitado pelos pratos da prensa a pressionar o provete durante o arrefecimento acelerado até 25 °C, resultaram em miolos com menor número e profundidade de fissuras e de um modo geral mais robustos e homogêneos, não apresentando deformações significativas. Verifica-se, assim, que reduzindo o tempo de arrefecimento e mantendo o provete sob pressão dentro da prensa, após a primeira prensagem, resulta num *core* mais bem preparado para a posterior aplicação do laminado de alta pressão, produzido a 9 MPa.

Deste estudo, foi possível concluir que é fulcral o arrefecimento do *core* ser realizado dentro da prensa. Da Figura 25 é possível observar que diversos defeitos começam a surgir no kraft seco e no aglomerado de borracha, logo após ser retirado da prensa a 140 °C e posto a arrefecer lentamente à temperatura ambiente sem qualquer pressão aplicada. Ao ser arrefecido dentro da prensa, o *core* é mantido sob pressão, limitando a expansão da borracha quente e reduzindo as forças distensivas sobre ela aplicadas, impedindo o aparecimento de bolhas de ar ou fissuras como as que são apresentadas na figura abaixo e que comprometem, não só a integridade estrutural do *core*, mas também a posterior aplicação do laminado nas faces do mesmo.



Figura 25 - Defeitos superficiais associados ao arrefecimento do *core* fora da prensa à temperatura ambiente.

4.1.4 Resistência a 9 MPa

Após a otimização do miolo de borracha e kraft seco, diversos ensaios foram realizados com vista a conseguir-se aplicar com sucesso o laminado na segunda prensagem. Na Figura 26 podemos observar diferentes compactos produzidos a 9 MPa, com diferentes defeitos estruturais.



Figura 26 - Resultados dos ensaios relativos ao estudo do comportamento do *core* a 9 MPa.

De forma a tornar este estudo o mais fiável possível, relativamente ao processo industrial e às condições de armazenagem das folhas, os miolos de borracha e kraft seco (ou *core*) de cada um dos ensaios foram prensados num dia, e apenas uma semana e meia depois se procedeu à prensagem dos laminados sobre a face da sanduiche.

Em termos de testes à integridade estrutural dos *cores* produzidos a 9 MPa, verificou-se previamente que cumpriam os requisitos das normas e as alterações processuais de produção melhoraram a sua *performance*: alterações no processo de encolagem facilitaram-no e conduziram a menor variabilidade de resultados, possibilitando uma cura mais eficaz da resina PU; o estudo da pressão comprovou a resistência do *core* a altas pressões; os testes ao teor de 5% de resina validaram a hipótese de se utilizar esta concentração mantendo as características exigidas e, por fim, o estudo dos tempos de arrefecimento e produção do miolo conduziram a *cores* mais coesos, homogéneos e menos deformados, comprovando estar mais bem preparados para suportar pressões acima de 5 MPa. No entanto, todos os compactos e laminados produzidos nesta fase, fraturaram durante a segunda prensagem, impossibilitando a aplicação do laminado a alta pressão.

De facto, ao ser aplicada a pressão específica de 9 MPa ocorre uma expansão e espalhamento do aglomerado de borracha, promovendo esforços de distensão, rasgando o kraft seco e, conseqüentemente, partindo o laminado a ele ligado.

Assim, focou-se o estudo nos parâmetros que influenciam o processo de produção do HPL, como o número de folhas de papel kraft impregnado a adicionar na formação do laminado, o tempo de prensagem ou polimerização, o tipo de decorativo e, por fim, a distribuição de calor pelo compacto e chapas de acabamento, procurando-se otimizar cada um destes de modo a avaliar a viabilidade de compatibilizar o processo de produção do compacto HPL de borracha reciclada com o processo de produção dos HPL da SIR.

4.2 Otimização do laminado

Numa segunda fase deste projeto, focou-se o estudo nos principais parâmetros, passíveis de otimização, que pudessem melhorar a arquitetura do compacto e manter as características exigidas. Diferentes estudos e ensaios foram realizados, com vista a conhecer melhor a influência de cada parâmetro no desempenho final do compacto HPL de borracha reciclada.

4.2.1 Número de folhas de papel kraft impregnado

No estudo da influência do número de folhas de kraft impregnado a utilizar na formação do laminado, diversos ensaios foram feitos fazendo variar entre duas e dez folhas de kraft impregnados, verificando-se que quanto maior o número de folhas, melhor a qualidade e aspeto final do decorativo, no entanto, mais dificilmente se consegue fazer aderir todo o laminado ao

core de borracha e kraft seco. A *Tabela 7* apresenta a constituição dos diferentes compactos produzidos.

Tabela 7 - Constituição dos diferentes cores produzidos para o estudo da influência do número de folhas de papel kraft impregnado

ID Provete	Constituição
02-16	Sanduiche de kraft seco + Duas folhas de papel impregnado por face
02-17	Sanduiche de kraft seco + Duas folhas de papel impregnado por face
02-18	Sanduiche de kraft seco + Três folhas de papel impregnado por face
02-19	Sanduiche de Kraft Seco + Três folhas de papel impregnado por face
02-20	Sanduiche de kraft seco + Três folhas de papel impregnado por face
02-21	Sanduiche de kraft seco + Cinco folhas de papel impregnado por face
02-22	Sanduiche de kraft seco + Cinco folhas de papel impregnado por face
02-23	Sanduiche de kraft seco + Dez folhas de papel impregnado por face

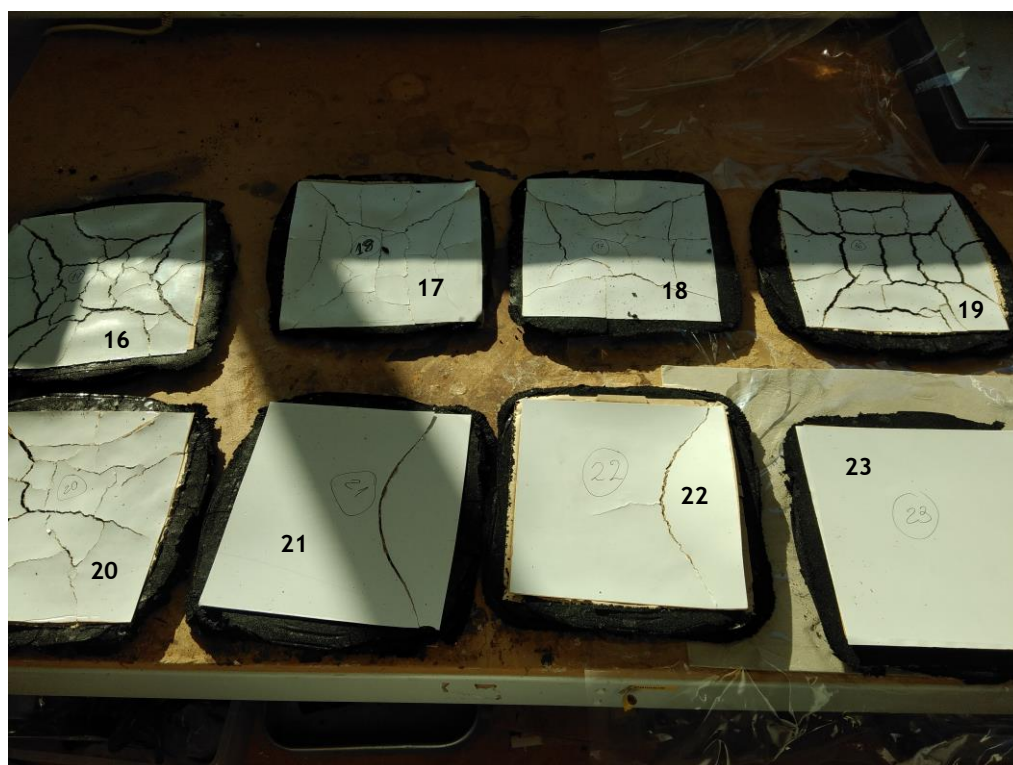


Figura 27 - Resultados após segunda prensagem para aplicação do HPL.

Verifica-se pelas diferentes imagens apresentadas nas Figuras 27 e 28, que o painel com duas folhas de kraft impregnado se apresenta fraturou completamente, e que todos os compactos

com mais de duas folhas de kraft impregnado resultaram em falhas na adesão das camadas do laminado, destacando-se facilmente o laminado do resto da “sanduíche” por não haver resina suficiente a fluir entre as diferentes camadas de kraft impregnado, não sendo o fluxo de resina fenólica suficiente para aderir o laminado à folha de kraft seco.

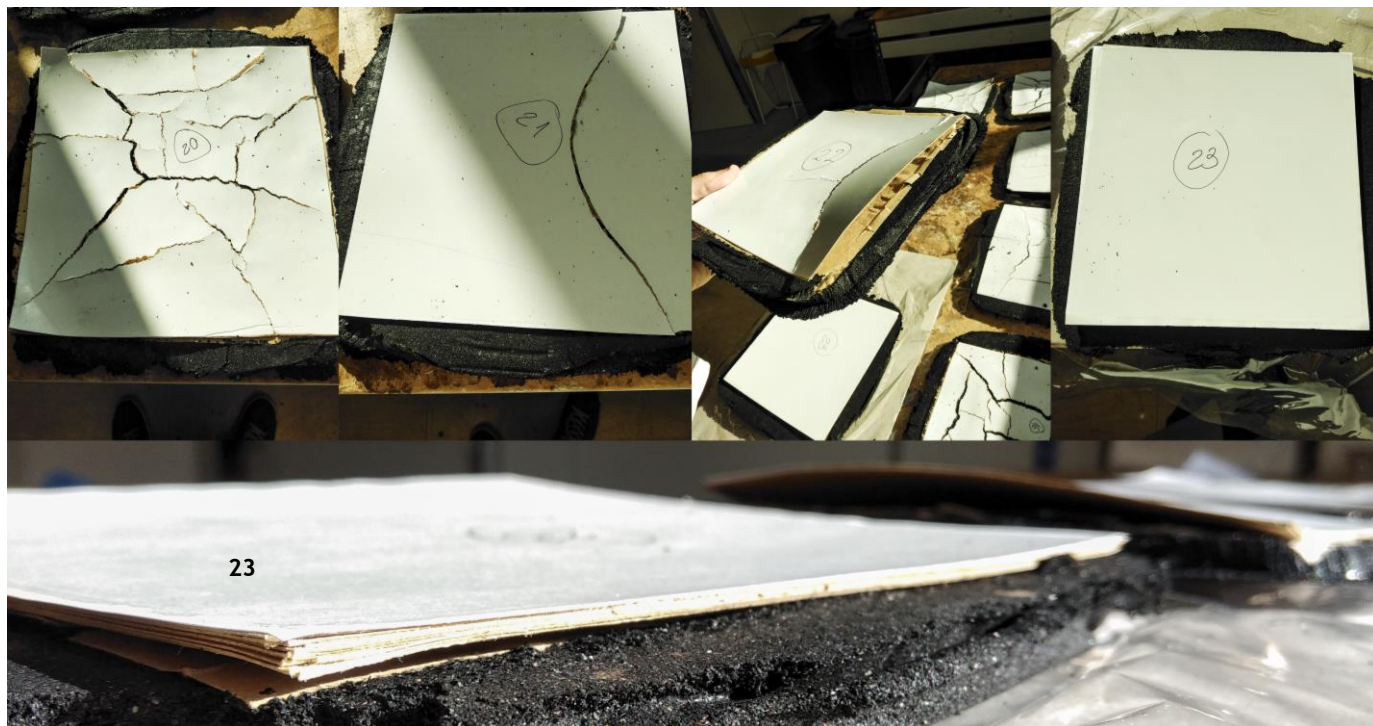


Figura 28 - Resultados dos ensaios ao número de folhas de kraft impregnado.

Tal facto é explicado por um maior número de folhas requerer uma maior percentagem de fluxo de resina PF a atravessar a camada de papel kraft impregnado, para promover uma cura eficaz e homogénea por todo o laminado e garantir a sua adesão à placa de borracha. Uma possível solução para colmatar esta falta de adesão entre camadas de kraft passará por aumentar o tempo de prensagem e reforçar o teor de resina PF aquando da impregnação industrial do mesmo ou um reforço laboratorial das folhas a usar no estudo. No entanto, tendo em conta que um dos parâmetros mais vantajosos para a SIR, como forma de redução de custos de produção, é precisamente a redução do número de folhas de papel kraft impregnado, e que os únicos provetes que não apresentaram problemas de adesão entre o laminado e o core, verifica-se que seria vantajoso optar apenas pelo uso de duas folhas de kraft impregnado, já que resultam num produto estruturalmente mais coeso e de menor custo.

4.2.2 Tipo de decorativo

Após otimização total do *core*, validando as diferentes alterações que suportavam a viabilidade de se aplicar, neste, elevadas pressões para produção dos HPL, surgiu a opção de se explorar a utilização de diferentes tipos de decorativos que pudessem limitar, de certa forma, a expansão da borracha durante o processo produtivo do HPL e garantir mais um ponto de reforço para contrariar esforços distensivos provocados pela elevada pressão aplicada. A Figura 29 apresenta diversos decorativos que foram utilizados neste estudo, tais como decorativos melamínicos de diferentes espessuras, decorativos plásticos, *post-forming* ou termomoldáveis e decorativos metálicos como metalite e folhas de alumínio.



Figura 29 - Diferentes ensaios relativos ao estudo do tipo de decorativo mais indicado.

Diversos ensaios foram realizados neste estudo, alternando no tipo de decorativo, de modo a verificar se a troca da camada superficial do compacto HPL resultaria em melhoramentos ao nível do seu comportamento sob elevadas pressões. Seria de esperar que decorativos espessos e resistentes como os decorativos metálicos suportariam melhor as forças distensivas associadas a altas pressões, quando comparados com outras folhas de decorativo termoendurecível, como o papel melamínico que partem mais facilmente e são altamente quebradiços.

No estudo da influência do decorativo na otimização do laminado para aplicação num *core* de borracha, concluiu-se que, com a utilização de folhas de decorativo metálico, o laminado não partia a pressões elevadas, chegando alguns provetes a aguentar perfeitamente os 9 MPa de pressão específica. No entanto, apesar da alteração do uso de decorativos melamínicos por metálicos evitar fraturas, quebras ou deformações gerais no compacto, verificou-se, como se pode observar na Figura 30, que não se conseguia uma cura eficaz da resina PF, resultando em delaminação generalizada do HPL. Para além disso, após os ensaios com o decorativo metálico no qual se obteve melhores resultados, verificou-se que este produto foi descontinuado e já não é comercializado pela SIR. Assim, concluiu-se que um estudo aprofundado do tempo de polimerização seria necessário, de modo, a conseguir-se prensar o laminado ao *core*, sem o partir ou fissurar e reunir as condições necessárias para curar o papel kraft impregnado e impulsionar o fluxo de resina fenólica através das diferentes camadas do compacto, resultando num laminado coeso e bem aderido ao miolo de borracha e kraft seco, unificando-os numa só peça. Na Figura 30, é possível observar diferentes provetes com acabamentos metálicos diferentes e o problema de delaminação associado às prensagens a elevadas pressões e a um tempo de prensagem demasiado reduzido, até então usado nos diferentes ensaios.



Figura 30 - Resultado dos ensaios com decorativos metalite e alumínio.

4.2.3 Tempo de polimerização

Numa fase final deste projeto, prosseguiu-se com o estudo dos parâmetros a otimizar na produção do HPL aplicado numa placa de borracha reciclada. Assim, no seguimento dos ensaios anteriores e após se verificar que apesar de resistirem a 9 MPa, os provetes apresentavam delaminação generalizada pela interface kraft impregnado-seco e entre as folhas de kraft

impregnado e decorativo, indicando assim problemas ao nível da cura, foram revistas as condições industriais de produção de HPL e procurou-se aproximar e reproduzir o processo laboratorial de prensagem, ao método produtivo utilizado pela SIR. Deste modo, foi aumentado de 300 segundos (tempo otimizado na dissertação anterior deste projeto) para 900 segundos (máximo permitido pela interface de controlo da prensa laboratorial em modo automático). Este aumento significativo no tempo durante o qual o provete fica a ser prensado a 140 °C a pressão constante, aproxima este processo do método produtivo industrial, permite uma melhor cura da resina fenólica garantindo maior resistência interna, conduzindo, assim, a maiores percentagens de fluxo de resina a atravessar as diferentes camadas e, portanto, resulta num maior grau de compactação do laminado (e, conseqüentemente, maior densidade) e uma resistência superior à tração.

Como se observa pela Figura 31, após a alteração introduzida nesta fase, os compactos HPL produzidos foram todos prensados acima de 5 MPa e a otimização do tempo de polimerização resultou, como se esperava, numa adesão perfeita de todos os componentes do laminado entre si e com o *core* de borracha e kraft seco. No entanto, mesmo após todas as otimizações e alterações na arquitetura do compacto e no seu método produtivo, as fissuras, nos laminados prensados acima de 7 MPa, persistem.



Figura 31 - Fissuras nos compactos em ensaios com diferentes decorativos.

Procurou-se, então, esclarecer qual fator poderia estar, ainda, a impedir a produção de compactos HPL a 9 MPa e 140 °C que mantivessem todas as características estruturais e de *performance* que os compactos produzidos pela SIR apresentam.

4.2.4 Distribuição de pressão e calor

Após todas as diferentes otimizações realizadas ao longo deste projeto, o aparecimento de fraturas como as que se observam na Figura 31, resultantes da segunda prensagem, evidenciaram a necessidade de se encontrar uma solução que permitisse a produção do HPL a 9 MPa sem o danificar.

De modo a ser possível produzir sem falhas o compacto HPL de borracha reciclada, teria de ser, também, possível a produção laboratorial de um HPL comparável aos produzidos pela SIR, na unidade industrial da Maia. Assim, procurou-se produzir laminados de alta pressão a 9 MPa e 140 °C com 900 segundos de polimerização e 300 segundos de tempo de arrefecimento dentro da prensa. O resultado pode ser observado na Figura 32, onde se verifica que não foi possível produzir os laminados corretamente, pois apenas algumas zonas estavam bem prensadas e a maior parte dos provetes produzidos estavam num estado de delaminação desenvolvido, evidenciando falhas graves na distribuição da pressão e calor pelos pratos da prensa.



Figura 32 - Resultado dos ensaios relativos ao estudo da distribuição de pressão e calor.

Deste modo, conclui-se que, por um lado, as falhas na distribuição homogénea do calor na superfície de prensagem resultam numa cura menos eficaz da resina fenólica como é observável na Figura 32, comprometendo a adesão das diferentes camadas do compacto, e, por outro lado, uma distribuição não homogénea da pressão aplicada nos provetes, resulta em compressões desiguais no sistema borracha/laminado, provocando esforços dispersivos desequilibrados, conduzindo às fraturas que foram sendo observadas nos compactos.

De facto, verificam-se diversas discrepâncias ao nível da distribuição de calor, pressão e tempos de cura e arrefecimento, associadas ao uso de uma prensa laboratorial para simular o processo

produtivo da SIR. Na realidade, não é possível definir qualquer perfil de temperatura ou pressão, ao todo o processo ser automático ser controlado pela interface da prensa laboratorial, enquanto que no processo realizado na Maia, todas as fases do processo podem ser definidas e afinadas conforme a necessidades do produto.

Assim, surgiu a opção de se reproduzir mais um procedimento realizado na unidade industrial da Maia e recorreu-se ao uso de um “colchão”, composto por várias folhas de papel kraft seco por face, de dimensões 50x50 cm, geralmente usado para uniformizar a distribuição de calor pelo laminado e conferir maior espessura durante a prensagem de modo a garantir uma distribuição homogênea e equilibrada da pressão aplicada, de modo a evitar fraturas e defeitos nos laminados produzidos.

Assim sendo, diferentes ensaios foram realizados utilizando vinte folhas de papel kraft seco por face, duas folhas de polipropileno para garantir que o kraft não aderiria às faces decorativas do compacto e todas as otimizações até agora validadas. Na Tabela 8 encontram-se resumidos os diferentes ensaios realizados.

Tabela 8 - Resumo dos ensaios realizados no estudo da influência da distribuição de calor e pressão.

ID Provete	Pressão de trabalho / MPa	Espessura / mm
02-07	5,5	6
02-08	6,0	5
02-09	6,5	5
02-12	8,0	12,5
02-13	8,5	5
02-14	9,0	5

Nas Figuras 33 e 34 observa-se o resultado dos ensaios a diferentes pressões.

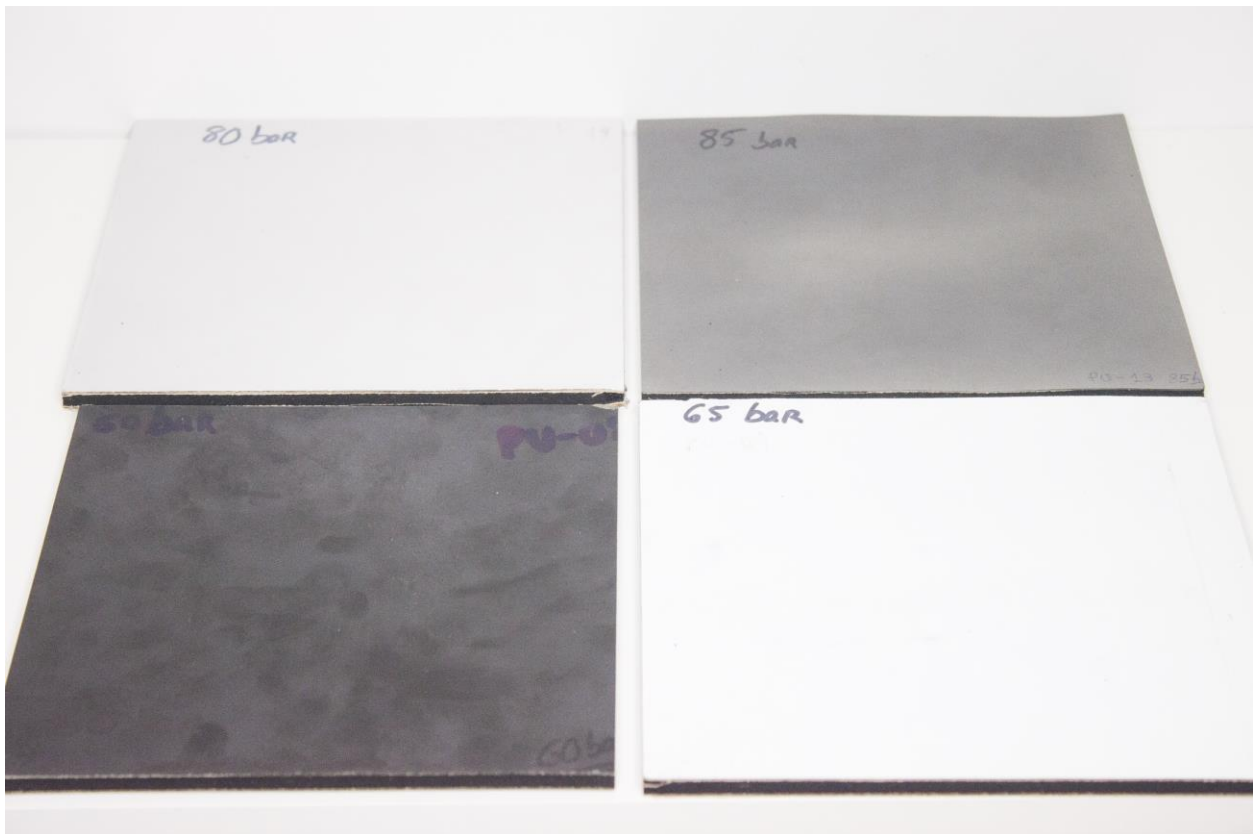


Figura 33 - Resultado dos ensaios realizados após o uso do “colchão” de papel kraft seco.

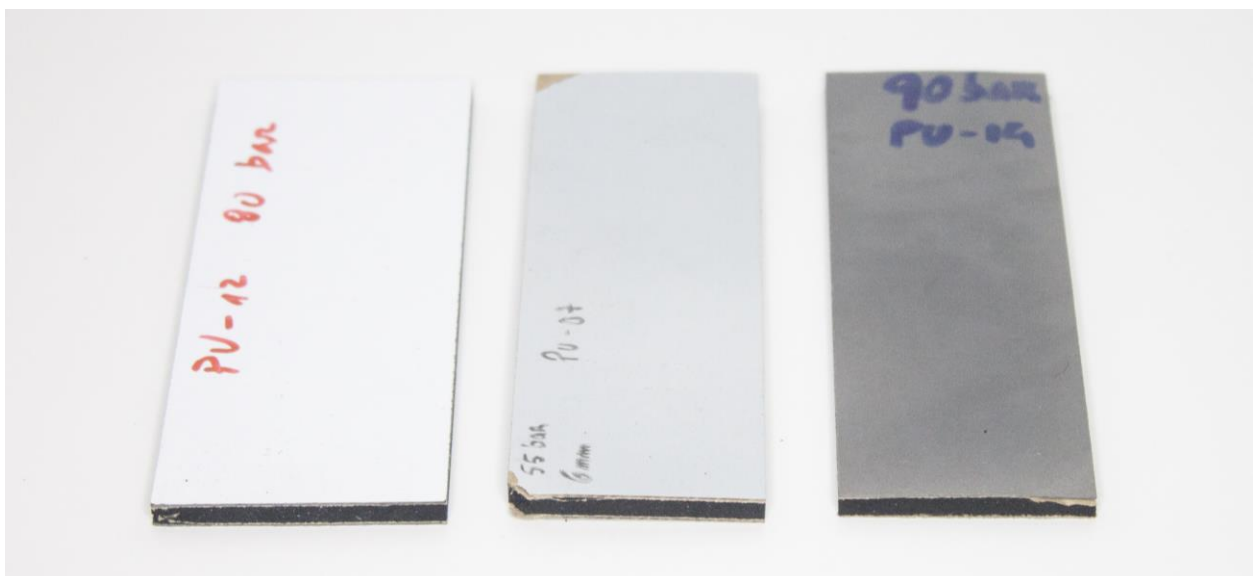


Figura 34 - Provetes dos compactos HPL, de 5 mm de espessura, produzidos a 8 MPa, 5.5 MPa e 9 MPa (da esquerda para a direita).

Pelos resultados destes últimos ensaios, verifica-se que o passo que faltava após o estudo do tipo de decorativo, era acondicionar os provetes ensaiados numa camada protetora que, de certa maneira, protegesse o compacto do choque associado à aplicação repentina de 9 MPa.

Todos os ensaios realizados resultaram em compactos HPL robustos e sem fissuras ou defeitos aparentes. Conclui-se, deste modo, que o uso do “colchão” de kraft seco, permite a produção, de compactos HPL de borracha reciclada de diferentes espessuras e com diferentes decorativos, compatibilizada com o processo utilizado pela SIR para a produção de laminados de alta pressão. A Tabela 9 resume os diferentes parâmetros estudados e compara as condições otimizadas no outro estudo anterior deste projeto (condições de arranque), com as novas alterações processuais realizadas ao longo da presente dissertação (condições otimizadas).

Tabela 9 - Resumo das diferentes condições iniciais e finais deste estudo.

Condições de arranque		Condições otimizadas	
Parâmetro	Conclusões	Conclusões	
Espessura	5 mm	Entre 4 a 12,5 mm	
Nº folhas kraft seco	1 por face	1 por face	
Nº folhas kraft impregnado	4 por face	2 por face	
Teor de resina	4 %	5 %	
Granulometria	0,0-0,8 mm	0,0-0,8 mm	
1ª prensagem	Pressão	2 MPa	4 MPa
	Temperatura	140 °C	140 °C
	Tempo	120 segundos	300 segundos
2ª prensagem	Pressão	2,5 MPa	9,0 MPa
	Temperatura	140 °C	140 °C
	Tempo	300 segundos	≥ 900 segundos

4.2.5 Caracterização dos protótipos compactos HPL de borracha reciclada

De modo a validar todas as otimizações, estudadas ao longo desta dissertação, diversos testes foram realizados como forma de caracterizar os protótipos produzidos. Procedeu-se, mais uma vez, à realização de teste de água em ebulição. Estes foram efetuados às amostras 02-07 (5,5 MPa), 02-12 (8 MPa) e 02-14 (MPa), utilizando o procedimento já apresentado, com uma

alteração: além de se retirarem os provetes e medir a sua massa e espessura após cinco minutos em água fria, repetiram-se essas medições após mais 24h em água fria.

A Figura 35 representa a variação de massa e a diferença relativa de espessura ao longo do tempo, de modo a ser possível obter um perfil temporal do comportamento do material, face a estas condições extremas.

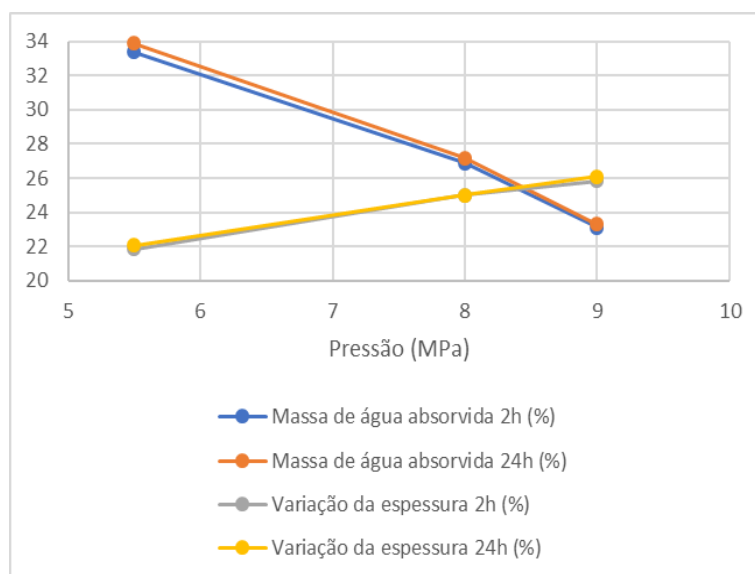


Figura 35 - Resultados dos testes de água em ebulição e imersão em água fria por mais 24h.

Da análise da Figura 35, observa-se um ligeiro aumento na variação da espessura com o aumento da pressão aplicada e, ao contrário do previsto, estes valores encontram-se bastante afastados dos resultados previamente obtidos (entre 5 e 15% (Vinhas, 2017)). Relativamente ao estudo da variação da massa de água absorvida, verifica-se uma diminuição da massa de água absorvida à medida que a pressão aplicada foi aumentada. No entanto, e contrariamente ao esperado, observa-se que os três compactos HPL de borracha reciclada testados, apresentam valores percentuais de massa de água absorvida extremamente elevados e indicativos de algum erro no processo produtivo ou na realização dos testes. Esta diminuição drástica pode dever-se a má aderência entre o laminado e a sanduiche, resultante de uma cura ineficaz durante a prensagem do laminado. Sendo o papel kraft o único elemento do compacto HPL de borracha reciclada, que absorve e retém a água, conclui-se que um possível erro na introdução do tempo de polimerização no controlo da segunda prensagem, poderá ter levado a resultados discrepantes do que era esperado para compactos de borracha produzidos a alta pressão. No entanto, apesar dos valores percentuais do teste efetuado serem demasiado elevados, pode-se observar que o mínimo de absorção de água em duas e vinte e quatro horas foi para o provete 02-14, que foi produzido a 9 MPa, indicando que quanto mais perto das condições ideais de prensagem,

praticadas na escala industrial pela SIR, melhor o comportamento e qualidade geral do compacto HPL de borracha. O tempo de polimerização, enquanto parâmetro fulcral no processo de cura da resina fenólica influencia profundamente o comportamento do compacto em condições adversas, como as testadas neste estudo, ao ser promotor da adesão entre as camadas de kraft impregnado e papel kraft seco do core.

De modo a podermos avaliar a qualidade do acabamento decorativo do compacto HPL de borracha reciclada, dois ensaios foram realizados a dois compactos de borracha produzidos a 9 MPa segundo o procedimento já descrito. A Tabela 10 resume os resultados obtidos neste teste.

Tabela 10 - Resultados do teste de resistência ao vapor de água

ID Provete	Grau (escala de 1 a 5)	Descrição
02-14	3	Alteração moderada no brilho e/ou cor
02-15	4	Alteração mínima no brilho e/ou cor, apenas visível a certos ângulos

Na Figura 36 encontram-se os resultados do teste de resistência ao vapor de água.



Figura 36 - Resultado do teste de resistência ao calor aos provetes 02-14 (observa-se em primeiro plano) e 02-15.

Através deste teste, verificou-se que a camada mais externa (folha decorativa melamínica), foi corretamente produzida, ao não apresentar quaisquer bolhas ou danos na superfície quando sujeitos a condições extremas de temperatura e humidade, concluindo-se, assim, que as

condições otimizadas ao longo deste estudo permitiram a produção de compactos HPL de borracha reciclada a 9 MPa com as características superficiais exigidas, compatibilizando o processo produtivo realizado em laboratório, com o processo industrial da SIR. Na Figura 37, observam-se diversos compactos HPL produzidos usando borracha reciclada e pressão de 9 MPa.

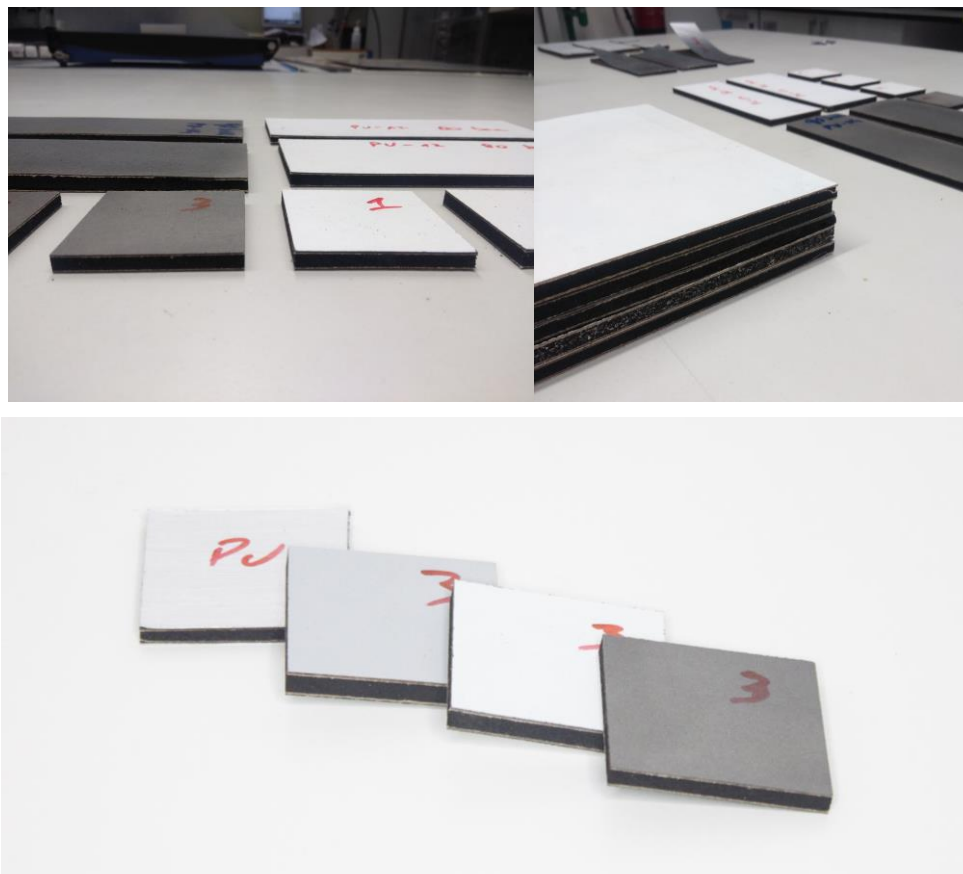


Figura 37 - Compactos HPL de borracha reciclada.

De modo a obter imagens tridimensionais de alta resolução da superfície dos compactos HPL produzidos na fase final deste estudo, realizou-se a análise SEM de duas superfícies prensadas a 9 MPa e 5,5 MPa com o mesmo decorativo. O resultado desta análise à superfície dos provetes confirmou a hipótese já validada pelos testes de resistência ao vapor de água, de que o laminado, produzido a 9 MPa, apresenta um acabamento superficial praticamente perfeito, tanto a nível de cura, como de estabilidade e integridade estrutural. As imagens encontram-se no Anexo 4, resultantes de aproximações de 300 e 3000 vezes.

5 Conclusões

No decorrer deste projeto de dissertação procedeu-se ao desenvolvimento e otimização de um compacto não-estrutural contendo um miolo totalmente composto por borracha reciclada, cujas superfícies são constituídas por papel kraft e papel decorativo. Para tal utilizou-se uma resina pré-polímero de poliuretano, devido à sua grande resistência à água e versatilidade.

Para este trabalho, optou-se por explorar a influência de diferentes parâmetros na produção de compactos HPL de borracha reciclada. Este estudo foi dividido em duas partes: numa primeira, explorou-se a influência de parâmetros relacionados com o comportamento do *core*: a pressão aplicada, o teor de resina a utilizar, o tempo de arrefecimento e a resistência da borracha à compressão a 9 MPa; numa segunda fase, procurou-se avaliar os principais parâmetros que poderiam influenciar a produção do laminado, de forma a ser possível aplicá-lo no *core* previamente otimizado, nomeadamente, o número de folhas de kraft seco e impregnado, o tipo de resina a aplicar, o tempo de polimerização e, por fim, a distribuição de calor e pressão pelo painel. De um modo geral, este trabalho focou-se na produção de painéis com espessuras entre 4 e 12,5 mm por ser a gama de espessuras mais comercializadas pela SIR em compactos tradicionais. O método de encolagem foi otimizado e reduzido o tempo deste processo com vista a um melhor controlo do tempo de abertura da resina de poliuretano.

No estudo da influência da pressão aplicada, na integridade dos *cores* otimizados, verificou-se que podem ser aplicadas pressões elevadas na segunda prensagem, sem comprometer a integridade estrutural do miolo. Nos ensaios realizados, foi possível observar o efeito das forças dispersivas associadas a prensagens a altas pressões, no granulado de borracha previamente encolado e conclui-se que o aumento da pressão aplicada resulta em painéis mais coesos, melhorando o seu grau de compactação e resultando num aumento da resistência interna. O parâmetro seguinte a avaliar no estudo do *core*, foi o teor de resina e a sua influência na produção de compactos HPL usando borracha reciclada. Pelos testes efetuados, pudemos observar que provetes prensados a 9 MPa e produzidos com um teor de resina de 5 % apresentam resultados de resistência interna superiores aos objetivados, ultrapassando os valores típicos, estipulados pelas normas em vigor para este tipo de aplicações, concluindo-se, assim, que sendo um objetivo secundário a diminuição do custo de produção, não se justifica recorrer a teores superiores a 5 % de resina na encolagem. No estudo da influência das condições de arrefecimento do compacto, pelos ensaios realizados observou-se que os provetes mantidos a arrefecer sob pressão apresentaram menos defeitos estruturais e imperfeições que poderiam comprometer a posterior aplicação do laminado.

Relativamente ao estudo da produção do laminado em compactos de borracha reciclada, após testes com várias quantidades de folhas de papel kraft impregnado, concluiu-se que devem ser utilizadas duas folhas de kraft impregnado por face. Este é tido como o número de folhas ideal, que irá conferir uma estrutura rígida ao laminado, perfeita adesão entre camadas, e, ao mesmo tempo, irá conduzir a um fluxo de resina suficiente para impregnar a folha de kraft seco, melhorando, de um modo geral, a resistência do compacto à água. Diversos testes foram, também, realizados para estudar a importância do tempo de cura ou polimerização, no grau de delaminação dos compactos a produzir. Foi possível observar que o tempo de cura previsto no antigo procedimento, não era suficiente para promover uma cura eficaz das diferentes folhas de kraft impregnado. Assim, pudemos observar que os melhores resultados obtidos indicavam ainda a necessidade de um aumento da duração da segunda prensagem. Como se esperava, ao se triplicar o tempo de cura, obteve-se uma adesão perfeita de todos os componentes do laminado entre si e com o *core* de borracha e kraft seco.

Após estas otimizações, repetiu-se o processo produtivo, agora otimizado, explorando-se a resistência dos compactos à pressão ideal de prensagem para a SIR, 9 MPa, por ser esta a pressão utilizada na prensa industrial. Na fase final deste projeto, procedeu-se a um último estudo no qual se avaliou de que forma a distribuição uniforme de calor e pressão poderia permitir a aplicação de 9 MPa para produção do compacto HPL de borracha reciclada. Pudemos verificar pelos testes, que ao ser usado um “colchão” de kraft secos, são evitados choques térmicos em certas zonas do painel, resultando numa transferência de calor mais controlada e eficaz por todo o laminado, assim como, permite uma distribuição homogénea da pressão pelos pratos da prensa, que evita que forças desequilibradas fraturem o laminado, aquando da sua produção.

Pudemos concluir que a presença da borracha, comparativamente ao papel kraft que normalmente dá estrutura aos compactos produzidos, confere propriedades melhoradas no que toca à resistência à humidade e ao calor e resistência interna.

6 Avaliação do Trabalho Realizado

6.1 Objetivos Realizados

Os objetivos propostos no início deste projeto foram atingidos com sucesso, uma vez que foi aferida e confirmada a viabilidade do produto que foi proposto, através dos diversos parâmetros estudados e testes efetuados, e que o mesmo foi desenvolvido até um ponto suficiente, obtendo-se uma prova de conceito, o que confirma que a ideia e os métodos empregados são suscetíveis de ser explorados de forma útil para a SIR. Adicionalmente, a otimização do procedimento e de diferentes parâmetros processuais permitiu a compatibilização do método de produção laboratorial, com o processo produtivo industrial realizado na SIR.

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

A principal limitação prendeu-se com o facto de este estudo ter sido desenvolvido numa prensa laboratorial que apenas simula o processo da SIR. Na realidade, diversas discrepâncias surgem quando se compara resultados laboratoriais com os obtidos nas prensas instaladas na unidade industrial da Maia, tais como diferenças na distribuição de calor, pressão e tempos de cura. Assim, esta é a razão primordial para alguns dos resultados menos favoráveis que foram obtidos. Deste modo, o presente trabalho poderá representar uma base para estudos futuros, uma vez que abriu portas a uma área e a novos produtos ainda por explorar, tanto a nível académico como industrial.

Por fim, um obstáculo menos significativo passou pelo curto intervalo de tempo previsto para a realização da dissertação, o que não permitiu o aprofundamento necessário de algumas questões, como a caracterização extensiva do produto aqui desenvolvido de forma a ser possível garantir a sua viabilidade enquanto produto da SIR.

Finalmente, e como perspetiva futura, considera-se importante dar início a um estudo de implementação industrial e apresentação do protótipo criado, junto de potenciais clientes, por forma a validar a necessidade de licenciar ou até mesmo patentear os métodos empregues.

6.3 Apreciação Final

De um modo geral, considera-se todo o trabalho desenvolvido bastante positivo, tanto a nível académico como pessoal, uma vez que permitiu não só uma primeira experiência em ambiente empresarial, mas também o ganho de autonomia e responsabilidade que este tipo de projetos exige. Esteve sempre disponível uma rede alargada de apoio que me demonstrou a importância do trabalho de equipa e da motivação para fazer sempre mais e melhor.

7 Referências

- Vinhas, *Desenvolvimento de painéis de material reciclado revestidos com laminado de alta pressão*. Dissertação de Mestrado, U. Porto 2017
- Global Industrial Analysts, Inc. *Laminate Flooring Market Trends*. Março de 2015. http://www.strategyr.com/MarketResearch/Laminate_Flooring_Market_Trends.asp (acedido em 19 de Novembro de 2018).
- Lucintel. *Growth Opportunities in the Global Wood and Laminate Flooring Market*. Report Buyer, Set 2016, 211.
- Mezynski, S. M., e M. B. Rodgers. "Heavy Duty Truck Tire Materials and Performance." *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 1993: 718-726.
- Leitão, Alexandra. "Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI", 2015
- Magina, Ferra, Cruz, Nogueira, Portugal, Evtuguin. "Fluorinated polyhedral oligomeric silsesquioxane nanoparticles to boost the dirt repellence of high pressure laminates" Em *Chemical Engineering Journal*, Vol. 301, 372-370 Elsevier Inc., 2016.
- Tectonica-online. *Melamine and Phenolic Panels*. s.d. http://www.tectonica-online.com/products/1254/melamine_phenolic_panels_hpl_compact_polyrey_polyprey_panoprey/ (acedido em 15 de Janeiro de 2018).
- Soares, Márcio. "Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel", 2012.
- Rodgers, Brendan, e Walter Waddell. "The Science of Rubber Compounding." Em *The Science and Technology of Rubber*, 417-471. Elsevier Inc., 2013.
- Marques, Pedro. "'Para além dos Pneus'." *Jornadas de Engenharia de Materiais*. Universidade do Minho: BioSafe, 2005. 25.
- Sonae Industria, SGPS, S.A. "Produtos." *Sonae Industria*. 2007. <http://www.sonaeindustria.com/page.php?ctx=2,0,8> (acedido em 20 de Janeiro de 2018).
- Monteiro, Gonçalo Emanuel Batista. *Desenvolvimento de pré-polímero para espumas monocomponente de poliuretano*. Dissertação de Mestrado, Lisboa: Técnico Lisboa, 2014.
- Melo, Sérgio. "Química de Polímeros: Contribuições Portuguesas", 2004.
- Campos, C. L., e F. A. R. Lahr. "Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Ureia-Formaldeído." *Matéria* vol. 9, 2004: 32-42.
- Filho, Roberto. "Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resina ureia formaldeído e melamina formaldeído" Dissertação de Mestrado. CETEC, 2009.
- Ayrlimis, Nadir, Umit Buyuksari, e Erkan Avci. "Utilization of waste tire rubber in manufacture of oreinted strandboard." *Waste Management*, 2009: 2553-2557.
- Thébault, Marion. "Factors influencing the processing and technological properties of laminates based on phenolic resin impregnated papers", 2016

Anexo 1 Ficha Técnica da cola LORPUR 1728 R



LORCOL INDÚSTRIA DE COLAS E PRODUTOS QUÍMICOS, LDA.
 Contribuinte: 501 512 624 – Capital Social: € 1.500.000,00 – Cons. Reg. Com. S. João da Madeira nº 661
 Av. 1.º de Maio, nº 378 (Z. I. nº 1) Caixa Postal 6010- 3701-907 S. João da Madeira – Portugal
 Telef.: + 351 256 830 990 Fax: + 351 256 830 991
 Email: lorcol@lorcol.com www.lorcol.com

LORPUR 1728 R

Ficha Técnica

Nº Edição: 1
 Nº Revisão: 1
 Data: Setembro/11

Aplicações:

Cola poliuretano, resistente à água, muito versátil e de elevada aderência. Indicada para colagens de madeiras, fórmica, MDF, como cimento, betão, cerâmicas, estuque, espumas rígidas, etc., e também rodapés, portas, janelas e todo o tipo de cofragens. Reage com a humidade dos substratos, endurecendo. Esta cola é adequada para uso em trabalhos exteriores e pelas suas características técnicas permite atingir elevados valores de resistência à água (D4, de acordo com a norma EN 204).

Características Técnicas:

Tipo de produto: Pré-polímero PUR
Cor: Amarelado
Densidade: Ca. 1,10 g/cm³
Viscosidade: Ca. 5000 mPa.s (Brookfield RVT, sp 4, 20 rpm)
Tempo Aberto: Aprox. 7 minutos
Período de armazenagem: 9 meses, devidamente armazenada

Modo de Emprego:

1. As superfícies a colar devem estar limpas e isentas de pó e gordura.
2. Aplicar uniformemente uma pequena camada sobre uma das superfícies a unir e pressionar.
3. Não manusear as peças coladas antes de decorridas cerca de 2 horas.

Limpeza de ferramentas:

Limpar as ferramentas de trabalho com acetona ou tolueno e enquanto a cola estiver fresca.

Precauções:

Este produto é sensível à humidade, devendo ser sempre armazenado em embalagem bem fechada.

Para outras informações, recomendamos a consulta da Ficha de Segurança do produto.



(Concepção, desenvolvimento e produção de colas industriais, produtos de vedação e produtos químicos auxiliares)



Anexo 2 Ficha Técnica da borracha BioRG 0,0-0,8 mm



BioRG 0,0-0,8 mm

01

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

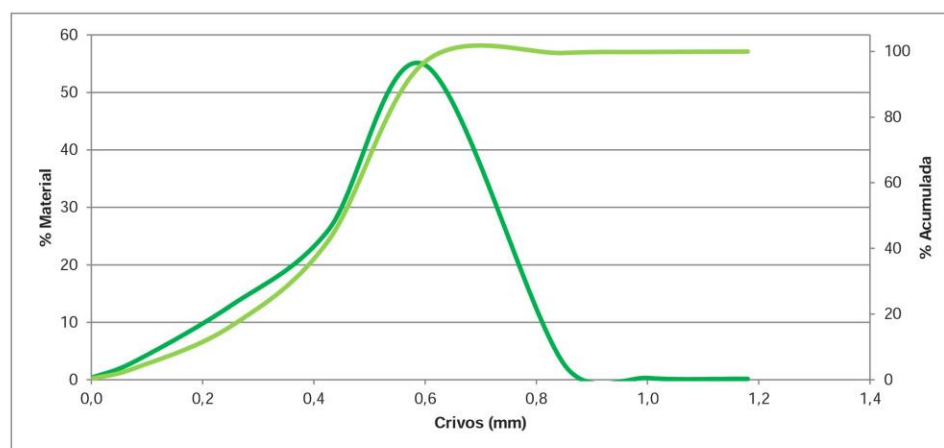
Os Granulados de Borracha BioRG são produtos obtidos por trituração mecânica ambiental a partir de pneus em fim de vida.

2. PROPRIEDADES TÉCNICAS

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

PARÂMETROS	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADO
Cor	Visual	Preto
Densidade Aparente (Granel)	ISO 60	0,35 ± 0,02
Densidade Absoluta	Picnômetro de Hélio	1,15 ± 0,06
Humidade (% em peso)	Interno	< 1,0
Partículas de Aço (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Partículas de Fibra Têxtil (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Inertes (% em peso)	CEN TS 14243	< 1,0
Área Superficial (cm ² /g)	ASTM B922-02 Teoria de Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.)	620 ± 40
Dimensões (mm)	CEN TS 14243	0,0 a 0,8

Curva Granulométrica (CEN TS 14243)



2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Polímeros - 40% a 55%

(incluindo **NR** – Borracha natural; **SBR** – Borracha de estireno-butadieno; **IR** – Borracha de isopreno; **IIR** – Borracha de isobutileno-isopreno; **IIR modified** – Borracha de halogéneo isobutileno-isopreno; **BR** – Borracha de polibutadieno; **NBR** – Borracha de Acrilonitrilo-butadieno)

Negro de fumo (CAS# 1333-86-4; EC# 215-609-9) – 20% a 25%

Outros aditivos – Balanço

Fonte: Convenção de Basileia, 1999

Anexo 3 Exemplo de Cálculo

- Para o caso de um painel com uma espessura de 5 mm, e utilizando as formas disponíveis, com dimensões de 10,7 cm de largura e 8,5 cm de comprimento:

$$V_{forma} = comprimento \times largura \times altura = 10,7 \times 8,2 \times 0,5 = 43,87 \text{ cm}^3$$

- Sabendo a densidade absoluta da borracha, através das fichas técnicas, $\rho = \frac{m}{V} = 1,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, retiramos uma massa de borracha de 50,5 g;
- Estabelecendo o teor de resina, por exemplo, em 5 %, temos então a massa de resina a utilizar, 2,53 g.

Anexo 4 SEM

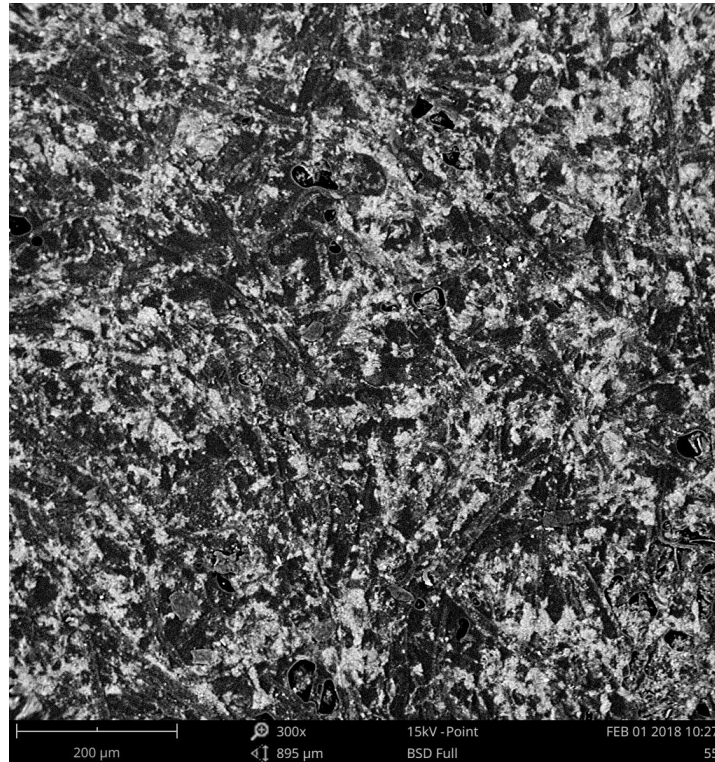


Figura 38 - Resultado do teste de SEM realizado a um provete produzido a 5,5 MPa (aproximação de 300x).

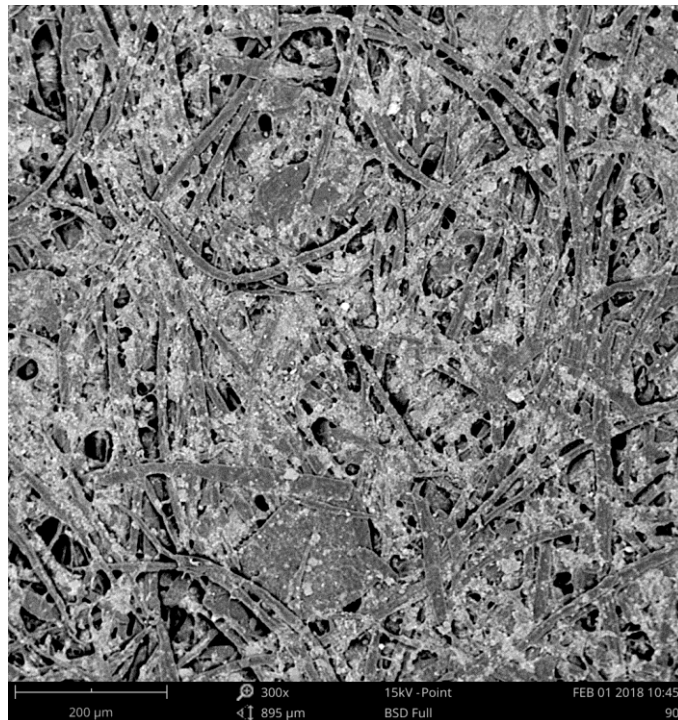


Figura 39 - Resultado do teste de SEM realizado a um provete produzido a 9 MPa (aproximação de 300x).

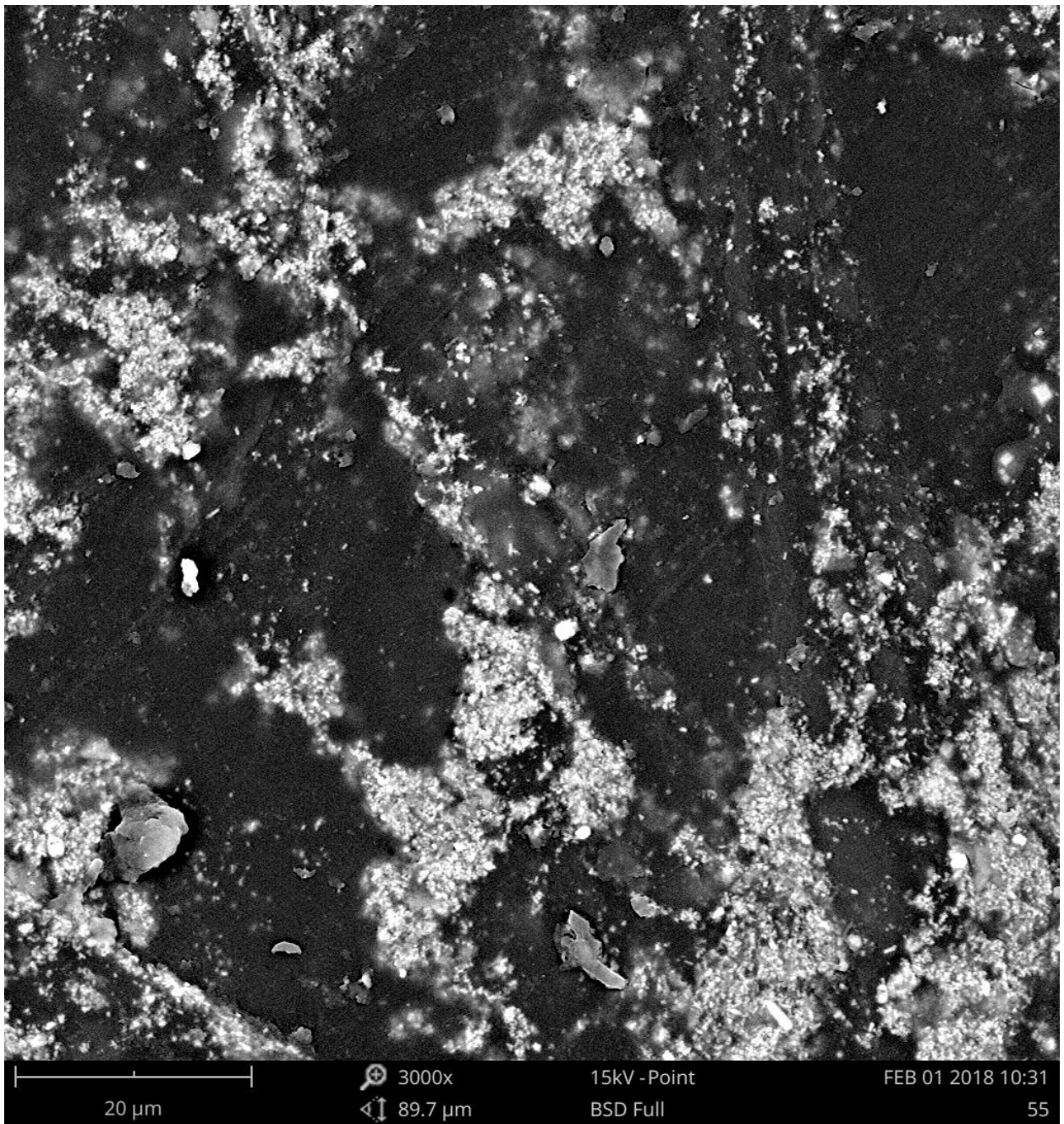


Figura 40 - Resultado do teste de SEM realizado a um provete produzido a 5.5 MPa (aproximação de 3000x).

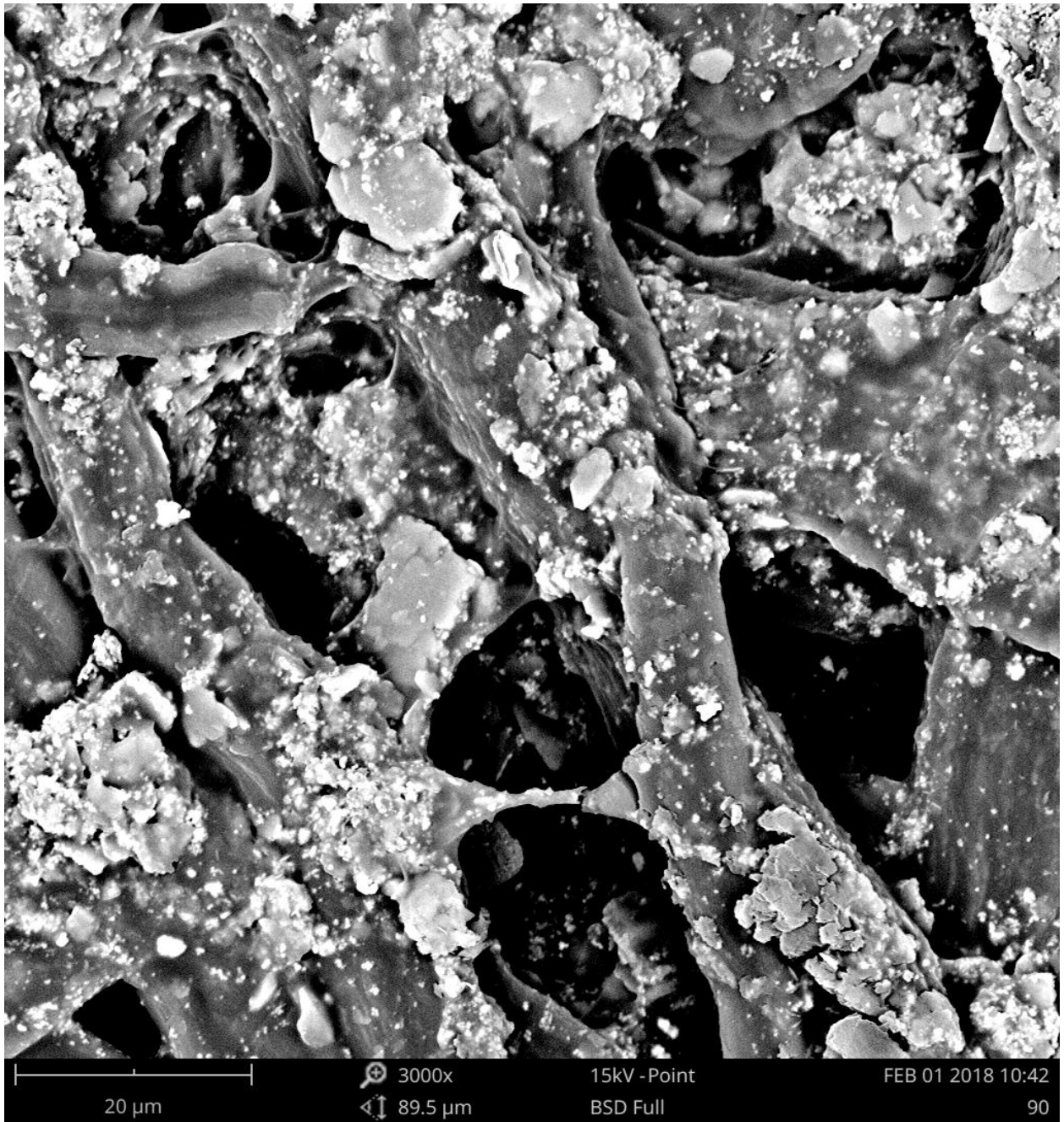


Figura 41 - Resultado do teste de SEM realizado a um provete produzido a 9 MPa (aproximação de 3000x).