

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM  
EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

**MAURÍCIO JOSÉ REAL M. DE L. SOARES**  
**MURILO RISDEN ALVES**

**ORIENTADOR: PROF. DSc. CLAUDIO HENRIQUE DE  
ALMEIDA FEITOSA PEREIRA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM  
EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

**MAURÍCIO JOSÉ REAL M. DE L. SOARES**  
**MURILO RILDEN ALVES**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**CLAUDIO HENRIQUE DE A. FEITOSA PEREIRA, DSc. (ENC-UnB)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**MARCOS HONORATO DE OLIVEIRA, DSc. (ENC-UnB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**HIAGO RIBEIRO ALBUQUERQUE, ENG. CIVIL**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 10 de DEZEMBRO de 2018.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOARES, MAURÍCIO JOSÉ REAL M. DE L.; ALVES, MURILO RISDEN

Avaliação de Sistemas Construtivos em Edificações de Interesse Social

[Distrito Federal] 2018.

ix, 59 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sistemas construtivos

2. Edificações de Interesse Social

3. Lajes

4. *BubbleDeck*

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOARES, M. J. R. M. L.; ALVES, M. R. (2018). Avaliação de Sistemas Construtivos em Edificações de Interesse Social. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 59 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Maurício José Real M. de L. Soares e Murilo Rиден Alves

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de Sistemas Construtivos em Edificações de Interesse Social

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Maurício José Real M. de L. Soares  
SMPW Qd. 17 Cj. 10 Lt. 05 Casa A  
71.741-710 – Brasília/DF - Brasil

---

Murilo Rиден Alves  
SHIS QI 29 Cj. 13 Casa 10  
71.675-330 – Brasília/DF - Brasil

## RESUMO

O estudo de sistemas de lajes em edificações de interesse social vem se tornando tema relevante no atual mercado da construção civil. Segundo Freitas (2010), a quantidade de edificações que possuem um viés voltado a habitações populares vem apresentando um crescimento considerável nos últimos anos, sendo este devido, além de outros motivos, ao aumento de crédito e dos recursos no Programa Minha Casa Minha Vida. No entanto, os profissionais e responsáveis por este tipo de construção muitas vezes não buscam soluções alternativas, apenas repetindo as convencionalmente utilizadas. Devido a esse fato, o presente estudo propõe um modelo de avaliação comparativa entre um sistema convencional de lajes – lajes treliçadas – e outros dois sistemas não-convencionais – lajes alveolares protendidas e lajes *BubbleDeck*. Com a definição de um projeto padrão e a consequente restrição do escopo, foram coletados dados suficientes para que fosse feita uma comparação técnica e econômica entre os 3 sistemas. Tal análise comparativa visou indicar a viabilidade de adoção de um sistema não convencional em substituição do sistema de lajes tradicionalmente utilizado em habitações de interesse social na RIDE do Distrito Federal – apresentando vantagens e desvantagens de cada sistema – e evidenciando o consequente impacto nos custos gerais, além de ter verificado a compatibilidade técnica e operacional do modelo proposto. A avaliação de viabilidade técnica comparou as tipologias nos quesitos projetos, insumos requeridos, mão de obra necessária, tempo de execução e preço do metro quadrado, chegando-se a conclusão que o sistema de lajes tradicional possui ampla vantagem nos quesitos citados e que as tipologias não convencionais não se destacam positivamente em uma possível implementação. Como nenhuma das tipologias não convencionais mostrou-se vantajosa na substituição do sistema tradicional, realizou-se uma análise de mercado com uma empresa que atua no ramo de habitações populares do Distrito Federal, visando verificar seu posicionamento perante o mercado e seus concorrentes. Foram obtidos, então, seus dados e foi feita uma comparação com outra empresa similar e com dados advindos do SINAPI, concluindo-se que a empresa participante da pesquisa está bem posicionada quando em comparação a seus concorrentes, mas pode melhorar seu processo de compra de insumos, visando aproximar seus valores aos do SINAPI. Em geral, constatou-se que as lajes treliçadas ainda são as mais viáveis na execução de empreendimentos com padrão popular na RIDE do DF. Buscou-se, desta maneira, auxiliar principalmente pequenas e médias empresas do ramo a desenvolverem e aperfeiçoarem seus processos construtivos, oferecendo ao consumidor final um produto de melhor qualidade e obtendo um maior retorno financeiro.

**Palavras-chave:** Edificações de interesse social, análise comparativa, avaliação técnica e operacional, viabilidade, lajes, treliçada, alveolar, *BubbleDeck*.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. MOTIVAÇÃO .....	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GERAL .....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. LAJES TRELIÇADAS .....	4
2.1.1. CARACTERÍSTICAS .....	5
2.1.2. MÉTODO CONSTRUTIVO.....	6
2.1.3. DESEMPENHO .....	8
2.1.4. PROJETO.....	9
2.2. LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS .....	10
2.2.1. CARACTERÍSTICAS .....	11
2.2.2. MÉTODO CONSTRUTIVO.....	12
2.2.3. DESEMPENHO .....	15
2.2.4. PROJETO.....	16
2.3. LAJES BUBBLEDECK.....	17
2.3.1. CARACTERÍSTICAS .....	19
2.3.2. MÉTODO CONSTRUTIVO.....	20
2.3.3. DESEMPENHO .....	21
2.3.4. PROJETO.....	24
2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	24
3. METODOLOGIA .....	27
3.1. ESCOLHA DA EMPRESA .....	28
3.2. DETALHAMENTO DO PROJETO BASE.....	28

3.3.	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS NÃO CONVENCIONAIS .....	28
3.4.	ANÁLISE DE MERCADO DOS SISTEMAS .....	29
3.5.	ANÁLISE CRÍTICA.....	29
4.	ANÁLISE E RESULTADOS .....	30
4.1.	ESCOLHA DA EMPRESA .....	30
4.2.	DETALHAMENTO DO PROJETO BASE.....	30
4.3.	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS NÃO CONVENCIONAIS .....	32
4.3.1.	Oferta de mão de obra qualificada .....	32
4.3.2.	Quantidade de fornecedores .....	33
4.3.3.	Necessidade de equipamentos especiais .....	34
4.3.4.	Tempo de execução .....	35
4.3.5.	Preço do metro quadrado.....	38
4.3.6.	Matriz comparativa ponderada.....	39
4.4.	ANÁLISE DE MERCADO DOS SISTEMAS .....	42
4.5.	ANÁLISE CRÍTICA.....	48
5.	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	50
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	51
6.	BIBLIOGRAFIA .....	52
	ANEXO A.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Pré-dimensionamento de laje treliçada (ArcelorMittal adaptado, 2018).....	9
Tabela 2-2: Tipos de lajes BubbleDeck e suas principais características (BubbleDeck adaptado, 2018).....	21
Tabela 2-3: Rw de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes (ABNT NBR 15575-4:2013 adaptado). ....	21
Tabela 2-4: Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (ABNT NBR 15575-3:2013 adaptado).....	22
Tabela 2-5: Isolamento acústico de lajes BubbleDeck (Certificado de Teste Alemão P-SAC 02/IV-065 adaptado, 2001). ....	23
Tabela 2-6: Cobrimento necessário para lajes do tipo BubbleDeck (Certificado de Teste Alemão P-SAC 02/iv-065 adaptado, 2001). ....	23
Tabela 2-7: Vantagens e desvantagens dos sistemas construtivos de lajes (Autoria própria). ....	25
Tabela 4-1: Comprimento dos vãos (7 LM adaptado, 2018). ....	32
Tabela 4-2: Necessidade de mão de obra qualificada para cada tipologia de laje (Autoria própria). ....	33
Tabela 4-3: Quantidade de fornecedores para cada tipologia de lajes (Autoria própria).....	34
Tabela 4-4: Necessidade de equipamentos especiais para cada tipologia de lajes (Autoria própria). ....	35
Tabela 4-5: Cronograma de atividades (Autoria própria). ....	37
Tabela 4-6: Ciclo de execução de cada tipologia de lajes (Autoria própria). ....	38
Tabela 4-7: Tabela resumo de custos aferidos em 09/2018 (Autoria própria). ....	38
Tabela 4-8: Resumo de notas do questionário e fator de ponderação (Autoria própria).....	40
Tabela 4-9: Matriz comparativa entre sistemas (Autoria própria) .....	40
Tabela 4-10: Resultado da soma ponderada dos sistemas (Autoria própria). ....	42
Tabela 4-11: Orçamento analítico dos serviços (7 LM adaptado, 2018). ....	43
Tabela 4-12: Orçamento analítico dos insumos (7 LM adaptado, 2018). ....	43
Tabela 4-13: Orçamento analítico dos serviços (Villa adaptado, 2018). ....	45
Tabela 4-14: Orçamento analítico dos insumos (Villa adaptado, 2018). ....	45
Tabela 4-15: Orçamento analítico dos serviços (SINAPI 09/2018 Não Desonerado adaptado, 2018).....	46
Tabela 4-16: Orçamento analítico dos insumos (SINAPI 09/2018 Não Desonerado adaptado, 2018).....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Sistema Pré-moldado Monier (Segurado, 1967). .....	4
Figura 2-2: Sistema Coignet (Segurado, 1967). .....	5
Figura 2-3: Vigota Trelaçada (Lajes Hertel, 2018). .....	6
Figura 2-4: Corte típico (Vieiras, 2018). .....	6
Figura 2-5: Elementos de enchimento (ArcelorMittal, 2018). .....	7
Figura 2-6: Sequência de desforma (ArcelorMittal, 2018). .....	8
Figura 2-7: Seção transversal típica de laje alveolar (Puma Lajes Alveolares, 2018). .....	12
Figura 2-8: Estruturas alveolares variáveis nos em diversas seções transversais (Tatu, 2018). .....	13
Figura 2-9: Juntas entre placas alveolares (Rettne e Edekling, 2006). .....	14
Figura 2-10: Painéis solidarizados, malha de distribuição e capa de concreto (RBR Pré-Moldados, 2018). .....	14
Figura 2-11: Transmissão térmica e de ruídos entre painéis alveolares (Nordimpianti, 2018). .....	15
Figura 2-12: Distribuição da temperatura em lajes alveolares (Nordimpianti adaptado, 2018). .....	16
Figura 2-13: Millenium Tower Rotterdam (BubbleDeck Overview, 2018). .....	17
Figura 2-14: Concretagem Laje BubbleDeck no Centro Administrativo do DF (CA DF, 2014). .....	18
Figura 2-15: Modelos típicos de laje lisa e laje cogumelo (Camacho, 2004). .....	19
Figura 2-16: Seção transversal de laje nervurada (Téchne, 2010). .....	20
Figura 2-17: Métodos construtivos BubbleDeck (BubbleDeck, 2018). .....	20
Figura 3-1: Fluxograma de atividades (Autoria própria). .....	27
Figura 4-1: Planta humanizada do pavimento tipo, sem escala (7 LM adaptado, 2018). .....	31
Figura 4-2: Prancha do projeto estrutural com a disposição dos vãos e treliças, sem escala (7 LM adaptado, 2018). .....	31
Figura 4-3: Mapa ilustrativo da distância entre Brasília - DF e Goiânia - GO .....	34
Figura 4-4: Trecho do cronograma de obra (7 LM adaptado, 2018). .....	36



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 2-1: Relação Momento x Espessura x As (BubbleDeck, 2018).....	24
---	----

# 1. INTRODUÇÃO

A busca por sistemas construtivos não-convencionais, que tenham vantagens pertinentes quando em comparação com os tradicionais, é um tema que está sendo trazido a muitas pautas na atualidade. Sistemas não-convencionais são aqueles que possuem características diferentes das usualmente encontradas no mercado tradicional. De acordo com Kalil (1983), o uso do termo “tecnologia construtiva não convencional” permite englobar qualquer tecnologia que não a convencionalmente utilizada no meio, independente do seu grau de racionalização, inovação ou industrialização. Segundo Siluk et al. (2015), o cenário da construção civil no Brasil vem se tornando cada vez mais competitivo, evidenciando-se a necessidade de diminuição de custos e aumento da produtividade. Tais aspectos influenciam na tomada de decisão pela utilização ou não de determinado sistema em prol de outro.

Um dos sistemas construtivos mais importantes para edificações é o sistema construtivo de lajes. Conforme Carvalho e Filho (2014), lajes são placas de concreto, ou seja, elementos estruturais de superfície plana em que a dimensão perpendicular à superfície, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena comparada às demais (largura e comprimento). Para efeitos estruturais, as lajes são consideradas estando sujeitas principalmente a ações normais a seu plano. Para lajes, mais especificamente de habitações de interesse social, uma análise que envolva aspectos de viabilidade técnica e econômica é de suma importância, já que se busca cada vez mais aplicar técnicas que visem a diminuição dos gastos e um ganho de produtividade sem negligenciar a qualidade.

De acordo com Rubin e Bolfe (2014), as habitações de interesse social estão presentes no contexto brasileiro desde a década de 1960, quando foi criado o Sistema Financeiro da Habitação (SFH), auxiliado pelo Banco Nacional da Habitação (BNH). No entanto, tal tipo de habitações ganhou uma maior evidência no final da primeira década do ano 2000, quando o governo da época lançou um programa que subsidiava a aquisição da casa própria para famílias com rendas limitadas – Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Desde então o interesse de empresas pela implementação de técnicas que visam cada vez o menor gasto e que dispendam menor quantidade de tempo para serem implementadas vem ganhando espaço.

Atualmente, segundo o que foi observado nas empresas do setor que atuam na Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do DF, um dos sistemas de lajes tradicional mais utilizado na construção de habitações de interesse social nos casos em que o sistema estrutural é de concreto armado ou alvenaria estrutural é o de lajes pré-fabricadas do tipo treliçada. De

acordo com o FLÓRIO (2004), esse tipo de laje é composto basicamente por vigotas de concreto armado que recebem um preenchimento de lajotas cerâmicas, de concreto ou de EPS que servem de forma para a concretagem de uma capa de concreto. A presença do preenchimento, além de dispensar o uso de formas, diminui o consumo de concreto, afetando diretamente no custo de sua aplicação. Em paralelo existem dois sistemas que vêm sendo utilizados com cada vez maior frequência na construção de edificações: lajes alveolares protendidas e lajes do tipo *BubbleDeck*. O princípio de funcionamento de ambas bem similar – diminuição do peso da estrutura com a inserção de vazios no local onde o concreto está tracionado e não exerce função estrutural, sendo o primeiro tipo caracterizado pela presença de alvéolos e o segundo pela presença de esferas plásticas com dimensões características.

O estudo da aplicabilidade de sistemas construtivos não-convencionais em detrimento do tradicional está intimamente ligado às vantagens que aqueles trazem a todo o processo de construção quando em comparação com este. As desvantagens também devem ser analisadas, visto que há casos em que os sistemas não são compatíveis e fazem com que não seja possível sua substituição.

Tendo em mente a procura do mercado pela eliminação de fases de processos, o ganho de produtividade e a diminuição dos custos envolvidos, este trabalho terá grande relevância na apresentação de possibilidades que não são convencionalmente utilizadas no sistema de lajes de habitações de interesse social. O produto final deste estudo será uma análise comparativa e detalhada dos dois sistemas não-convencionais – *BubbleDeck* e lajes alveolares protendidas – com o sistema de lajes treliçadas, apontando sua compatibilidade com os demais sistemas construtivos da edificação e a possível viabilidade técnica operacional de sua implementação.

## **1.1.MOTIVAÇÃO**

Conforme explicitado anteriormente, ressalta-se a relevância da racionalização e seus impactos tanto na produtividade quanto no preço final da construção de edificações, pois a construção civil caracteriza-se por ser um ramo em que preço e prazo estão interligados. Metodologias não-convencionais que sejam capazes de substituir os sistemas tradicionais sem negligenciar a qualidade e buscando uma característica que as diferencie efetivamente das demais vêm ganhando maior relevância. Sendo assim, este estudo foi motivado pela falta de pesquisas científicas no âmbito das habitações populares sobre qual sistema construtivo de lajes seria efetivamente o mais adequado na sua construção, oferecendo às empresas interessadas um modelo viável para a análise comparativa entre sistemas não-convencionais e o convencionalmente utilizado.

## **1.2.OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

O principal objetivo deste estudo é formular uma análise entre sistemas de lajes não-convencionais e um sistema tradicional, em edificações de interesse social de 2 a 4 pavimentos compostas por sistema estrutural de concreto armado ou alvenaria estrutural, buscando apontar as principais características de cada sistema em questão e verificando a viabilidade de aplicação em empresas que desenvolvam esse tipo de empreendimento.

Tal análise será acompanhada de um estudo de caso com um viés tanto técnico quanto econômico, de modo a determinar a compatibilidade na implementação dos sistemas apresentados, estudar os custos envolvidos na sua possível aplicação, atividades operacionais e realizar uma análise crítica do panorama atual do caso a ser estudado.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do presente estudo são:

- Caracterizar tanto o sistema de lajes convencional (lajes treliçadas) quanto os não-convencionais – painel alveolar protendido e *BubbleDeck* – em relação às suas características técnicas e econômicas.
- Avaliar técnica e operacionalmente – por meio de uma comparação entre o sistema tradicional e os dois sistemas não-convencionais – seus projetos, insumos requeridos, mão de obra necessária, tempo de execução e preço do metro quadrado;
- Elaborar uma análise de mercado que possibilite verificar a posição da empresa foco do estudo de caso perante o mercado. Tal análise servirá como guia para ela realizar melhorias e tomar decisões mais assertivas, visando ao aprimoramento de seus processos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com pesquisas realizadas no mercado do Distrito Federal, em edificações de interesse social - foco deste estudo - são utilizados diversos sistemas de lajes que suprem satisfatoriamente as necessidades do mercado e os desempenhos requeridos. Ainda, com base em dados de empresas que atuam no ramo de habitações populares, em obras que adotam o sistema estrutural de parede de concreto, o sistema de laje utilizado é o maciço. Já nas edificações estruturadas em concreto armado convencional ou alvenaria estrutural, as tipologias de laje variam de acordo com a construtora, mas observa-se que o sistema de lajes treliçadas costuma ser o mais empregado.

Dois outros sistemas plausíveis de serem utilizados em substituição ao de lajes treliçadas são as lajes alveolares protendidas e lajes *BubbleDeck*, as quais serão apresentadas ao longo do trabalho.

### 2.1.LAJES TRELIÇADAS

Os primeiros relatos encontrados de estruturas pré-moldadas para lajes datam de 1849 e são de Monier, um dos precursores do que chamamos hoje de concreto armado. Ele fabricava sistemas de lajes com perfis I em aço e posicionava entre eles placas de concreto armado pré-moldados que eram posteriormente capeadas com pasta de cimento e areia como indica a Figura 2-1 abaixo.

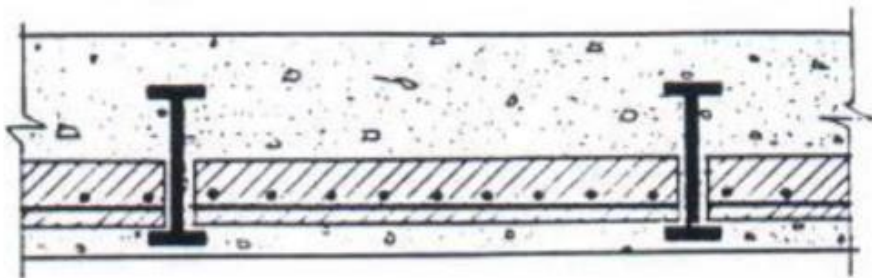


Figura 2-1: Sistema Pré-moldado Monier (Segurado, 1967).

Pouco depois, em 1854, William Boutland Wilkinson patenteou um sistema extremamente similar ao utilizado nos dias de hoje que consistia em vigas regularmente distribuídas e espaçadas por moldes de gesso e com uma fina capa de concreto executada na superfície do sistema.

Em um trabalho publicado por Coignet na França em 1861 foram introduzidos modelos de cálculo para nervuras armadas com ferro redondo que seriam as primeiras hipóteses para o

cálculo de vigas “T”, ver Figura 2-2 abaixo, que são hoje a base para os cálculos das vigotas das lajes treliçadas.

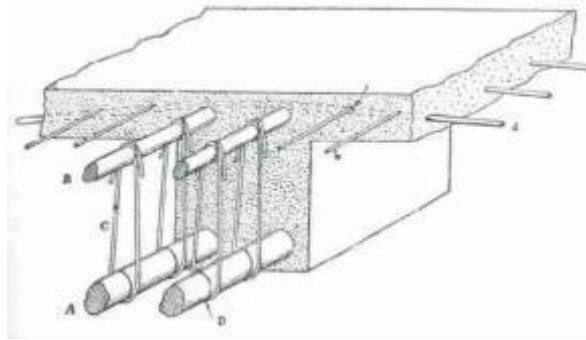


Figura 2-2: Sistema Coignet (Segurado, 1967).

Em tempos mais atuais, a busca pela otimização dos processos é constante. Conforme afirmado pela Engenheira Íria Doniak – Presidente Executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto – em uma entrevista para a AECweb (2011), a construção civil teve no período pós Segunda Guerra um pico em demanda por produtividade para que se reconstruísse tudo que foi destruído pela guerra. Os sistemas convencionais não eram capazes de suprir a demanda e com isso se intensificou o uso de sistemas pré-moldados. No entanto, de acordo com Pinheiro (2007), até os anos 70 não havia uma literatura sólida acerca de lajes nervuradas pré-moldadas, apenas catálogos de fabricantes com pouco conteúdo técnico.

De acordo com Flório (2004), no início do século XXI, já com uma literatura consistente, o uso de lajes pré-moldadas se expandiu no Brasil, movimento esse levado pela grande demanda de habitação no país e devido também a duas grandes siderúrgicas começarem a fabricar treliças metálicas para lajes.

### 2.1.1. CARACTERÍSTICAS

As lajes treliçadas são definidas pela ABNT NBR 14859-1:2001 como laje pré-fabricada unidirecional, a qual é “constituída por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção”.

Lajes pré-moldadas podem ter, ainda, duas classificações segundo Di Pietro (1993) – resistentes ou semi-resistentes. O presente estudo abordará apenas lajes semi-resistentes, nas quais se enquadram as lajes de vigotas treliçadas de uso comercial difundido no país. Essa nomenclatura se dá devido ao fato de esse tipo de laje necessitar da colaboração do capeamento e da armadura de distribuição para ter capacidade portante.

## 2.1.2. MÉTODO CONSTRUTIVO

O sistema de laje treliçada pode ser subdividido nos seguintes elementos: vigota treliçada pré-fabricada, elemento de enchimento, concreto moldado in loco, armadura de distribuição e armaduras adicionais.

As vigotas treliçadas são compostas pela armadura eletro-soldada, base de concreto e armadura adicional quando necessário (ver Figura 2-3).

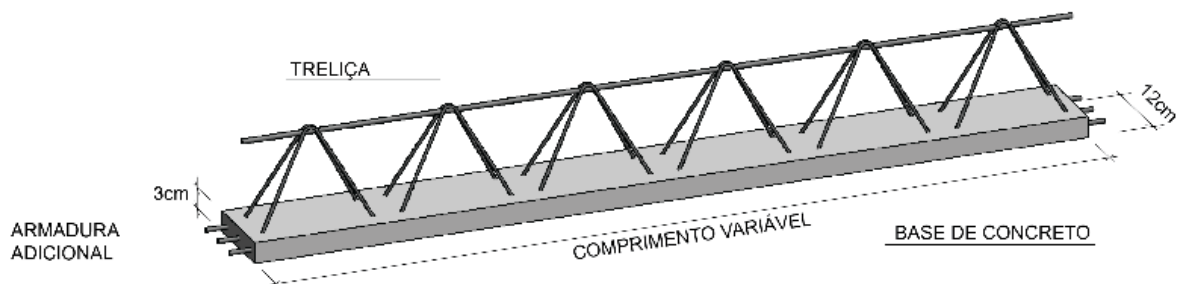


Figura 2-3: Vigota Treliçada (Lajes Hertel, 2018).

Conforme Spohr (2008), as treliças possuem uma armadura superior que resiste ao esforço de compressão submetido à ela durante a montagem e concretagem da laje e pode contribuir contra o momento fletor negativo quando este existir; armadura inferior que resiste à tração proveniente do momento fletor positivo; armadura diagonal que resiste a esforços cortantes e gera a ponte de aderência entre a base de concreto da vigota e o concreto moldado em loco.

A disposição das armaduras pode ser observada na Figura 2-4 a seguir:

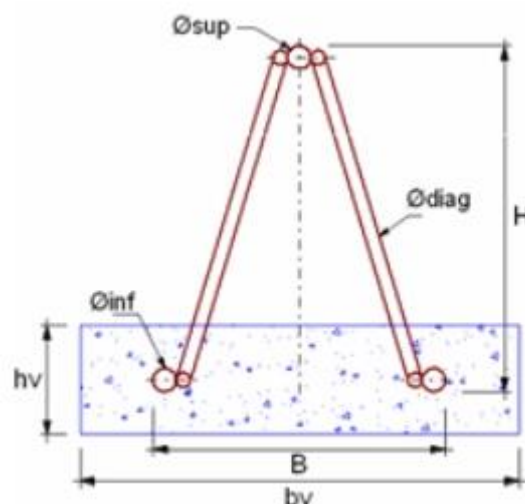


Figura 2-4: Corte típico (Vieiras, 2018).

Os elementos de enchimento são materiais inertes nos quais não são exigidos quaisquer esforços. De acordo com Brumatti (2008), tais elementos podem ser dos seguintes tipos: EPS

(isopor), cerâmico, concreto ou do tipo caixão perdido, que são contraformas de madeira ou peças de material resinado (ver Figura 2-5).

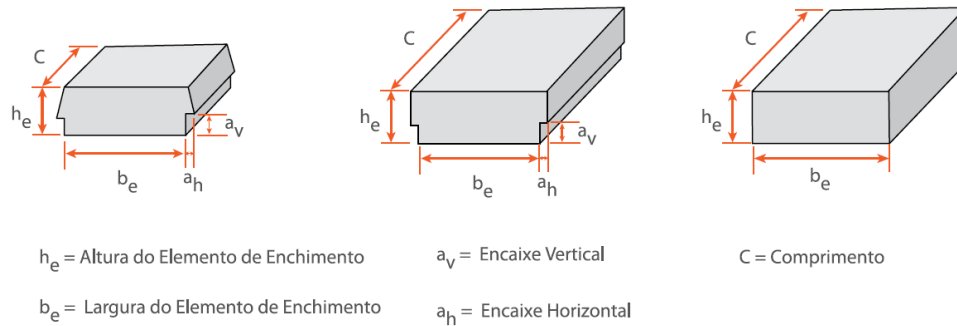


Figura 2-5: Elementos de enchimento (ArcelorMittal, 2018).

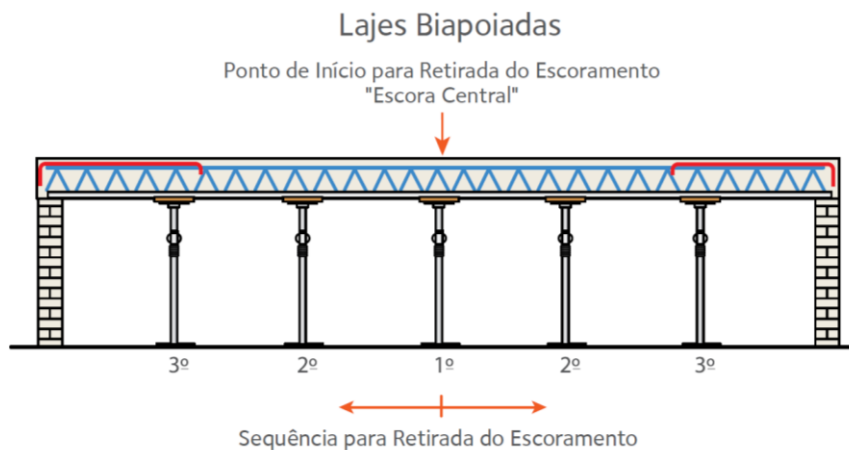
Segundo o Manual Técnico de Lajes Treliçadas da ArcelorMittal (2010), a armadura de distribuição tem apenas uma função estrutural, a de distribuir esforços pontuais. Suas outras funções são construtivas, tais como combater a retração evitando fissuras e agregar a capa de concreto moldado em loco.

Em sua montagem, as vigotas são içadas até o local de montagem da laje e distribuídas de acordo com o projeto de montagem. Os elementos de enchimento são então posicionados entre as vigotas garantindo a estanqueidade para a concretagem da capa. Com as vigotas e elementos de preenchimento locados corretamente é montado o escoramento, que pode ser metálico ou com madeiramento.

Com o escoramento pronto, as equipes de armadores podem executar a armadura de distribuição e então as equipes de instalações prediais finalizam fazendo as instalações elétricas e hidrossanitárias necessárias, liberando a laje para a concretagem.

A concretagem deve atender às especificações mínimas de projeto e, pelo menos durante os três dias subsequentes, a laje deve ser molhada para dar-se a cura do concreto. Por fim, a desforma pode ser iniciada após o décimo oitavo dia tendo sua sequência do centro para as bordas da laje como indicado na Figura 2-6 a seguir.





*Figura 2-6: Sequência de desforma (ArcelorMittal, 2018).*

### 2.1.3. DESEMPENHO

Segundo a ABNT NBR 15.575-1:2013, no seu item 12.1, a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas. A verificação de conformidade com a norma de desempenho se dá através da correlação de valores obtidos por meio de ensaios realizados e os valores de alguns parâmetros constantes na Norma de Desempenho.

A transmissão do som através de elementos depende da massa específica de seus materiais, espessura e homogeneidade do elemento e por isso a avaliação do desempenho acústico das lajes pré-moldadas deve ser feita de acordo com o tipo de elemento de enchimento utilizado e espessura total da laje.

A ABNT NBR 14432:2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento – define “resistência ao fogo” em seu item 3.24 como sendo a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período, mantendo tanto sua segurança estrutural, quanto sua estanqueidade e isolamento, onde aplicável. O período que a estrutura deve resistir ao fogo é definido na mesma Norma em seu item 8 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) – e depende do sistema estrutural utilizado. Quando tratamos de lajes, o Anexo A da ABNT NBR 14432:2001, item “i” determina que o TRRF das lajes da edificação não precisa ser maior que 90 minutos, exceto para edificações com altura superior a 45m.

Conforme Casonato et al. (2004), os elementos em concreto possuem vantagens primordiais quando em comparação ao aço, sendo inclusive utilizado como proteção passiva de estruturas em aço. Em consequência de tal constatação, o elemento da laje mais sensível à ação do fogo é a armadura, sendo que a consequência mais nociva ocorre na armadura positiva, que

em temperaturas elevadas pode chegar ao ponto de escoamento do aço, ocasionando, assim, o colapso da estrutura.

### 2.1.4. PROJETO

O princípio básico do cálculo das lajes treliçadas é o de viga “T” com carregamento distribuído. No entanto, pelo fato de as treliças terem armaduras pré-estabelecidas comercialmente, o dimensionamento consiste em calcular a menor treliça necessária e se será necessário armadura longitudinal adicional.

Para considerações de cálculo, a armadura inferior é responsável por resistir à tração e a capa de concreto à compressão exercida pelos momentos fletores positivos, já a armadura de distribuição tem a função de combater os efeitos de retração da laje, controlando a abertura de fissuras e de distribuir as cargas pontuais ocasionalmente exercidas sobre a laje.

A ArcelorMittal disponibiliza um manual técnico com alguns pré-dimensionamentos levando-se em conta o modelo da treliça, altura da laje, vão livre e armadura adicional quando necessária (ver Tabela 2-1).

Tabela 2-1: Pré-dimensionamento de laje treliçada (ArcelorMittal adaptado, 2018).

Tabela de armaduras adicionais												
Enchimento = Bloco Cerâmico (Altura = 7cm) ; Distância entre linhas de escoras = 1,10m												
Vão livre (m)	Modelo TB 8L		Designação TR08644		Altura da laje 11 cm			Altura capa 4cm		Consumo de 53L/m <sup>2</sup>		Peso próprio 176kg f/m <sup>2</sup>
	Cargas acidentais kgf/m <sup>2</sup>											
	50 kgf/ m <sup>2</sup>	100kg f/m <sup>2</sup>	150 kgf/m <sup>2</sup>	200 kgf/m <sup>2</sup>	250 kgf/m <sup>2</sup>	300 kgf/m <sup>2</sup>	350 kgf/m <sup>2</sup>	400 kgf/m <sup>2</sup>	450 kgf/m <sup>2</sup>	500 kgf/m <sup>2</sup>	550 kgf/m <sup>2</sup>	600 kgf/m <sup>2</sup>
1,20												
1,40												1 φ 4,2
1,60								1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2
1,80					1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 5,0	1 φ 5,0	2 φ 4,2
2,00				1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 5,0	1 φ 5,0	2 φ 4,2	2 φ 4,2	2 φ 5,0	2 φ 5,0
2,20			1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 5,0	2 φ 4,2	2 φ 4,2	2 φ 5,0	2 φ 5,0	2 φ 5,0	4 φ 4,2	4 φ 4,2
2,40		1 φ 4,2	1 φ 4,2	1 φ 5,0	2 φ 4,2	2 φ 5,0	2 φ 5,0	3 φ 4,2	4 φ 4,2	4 φ 4,2	2 φ 6,0	1 φ 10,0

2, 60	1 φ 4,2	1 φ 4,2	2 φ 4,2	2 φ 4,2	2 φ 5,0	2 φ 5,0	4 φ 4,2	4 φ 4,2	3 φ 5,0	1 φ 10,0	4 φ 5,0	4 φ 5,0
2, 80	1 φ 4,2	1 φ 5,0	2 φ 5,0	2 φ 5,0	4 φ 4,2	4 φ 4,2	3 φ 5,0	1 φ 10,0	4 φ 5,0	2 φ 5/16	1 φ 12,5	1 φ 12,5
3, 00	1 φ 4,2	2 φ 4,2	4 φ 4,2	4 φ 4,2	4 φ 4,2	1 φ 10,0	4 φ 5,0	2 φ 5/16	1 φ 12,5	1 φ 12,5	4 φ 6,0	3 φ 5/16
3, 20	1 φ 5,0	2 φ 4,2	4 φ 4,2	4 φ 4,2	1 φ 10,0	4 φ 5,0	3 φ 6,0	1 φ 12,5	4 φ 6,0	3 φ 5/16	3 φ 5/16	4 φ 5/16
3, 40	2 φ 4,2	2 φ 5,0	4 φ 5,0	4 φ 5,0	4 φ 5,0	1 φ 12,5	1 φ 12,5	4 φ 6,0	3 φ 5/16	4 φ 5/16	4 φ 5/16	
3, 60	2 φ 5,0	1 φ 5/16	4 φ 5,0	4 φ 5,0	1 φ 12,5	6 φ 5,0	3 φ 5/16	2 φ 10,0				
3, 80	2 φ 5,0	4 φ 4,2	4 φ 5,0	1 φ 12,5								
4, 00	4 φ 4,2	3 φ 5,0										
Capa	TelaBelgo Q61				Tela Belgo Q75				Tabela Belgo Q69			

Pode-se perceber que, quanto maior o vão a ser vencido e o maior a carga accidental a que está sujeito a estrutura em questão, maiores são as armaduras adicionais necessárias. As correlações possibilitadas pela observação dos parâmetros presentes na Tabela 2-1 acima citada facilitam o cálculo das estruturas de lajes treliçadas, otimizando os cálculos a serem realizados.

## 2.2.LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS

De acordo com Dinges (2009), o conceito de concreto pré-esforçado apareceu em 1888 quando foi dada a P. H. Jackson a primeira patente nos Estados Unidos para projetar estruturas protendidas. Entretanto, a razão pela qual concreto pré-tensionado não podia ser utilizado como material de construção no início era a falta de tecnologia da época para dar suporte à ideia de Jackson. As fábricas metalúrgicas da época não tinham descoberto, ainda, um aço que combinava características de elevada resistência, baixa relaxação e que minimizasse o efeito de fluência e deformações pós-tensionamento. A ideia ficou impossibilitada de ser desenvolvida até que o engenheiro estrutural francês Eugene Freyssinet a reexaminou em 1928 e começou a promover ativamente o uso de estruturas protendidas como método para melhorar a característica de resistência do concreto à tração. O sistema de funcionamento tem base no pré-tensionamento de cordoalhas que induzem, em resposta à solicitação, uma tensão de compressão no concreto. A tensão de compressão gerada fortalece as áreas onde o concreto costuma estar mais tracionado, melhorando, assim sua capacidade de resistência à tração.

Segundo ASSAP (2002), as lajes alveolares foram inventadas já na década de 1930 pelos alemães Wilhelm Schaefer e Otto Kuen. No início, o sistema alveolar era composto por um núcleo alveolar de concreto celular envolto por duas camadas de concreto armado. No final

da década de 1940 e início da década de 1950, as ideias passaram por aprimoramentos e começaram a ter um maior sucesso e reconhecimento.

A primeira fábrica a introduzir o conceito de protensão às lajes alveolares tinha seu sítio na Alemanha Ocidental (Buderrusche Eisenwerke), local este que ainda se encontra em operação, na cidade de Burgsolms. Na década de 1950, a camada de concreto celular foi perdendo espaço e acabou sendo abandonada, melhorando o aspecto delimitação quanto à baixa resistência ao cisalhamento. Na mesma época, uma empresa americana que havia comprado o projeto de Shaefer e Kuen introduziu a protensão e chegou ao desenvolvimento de um produto patenteado chamado Spancrete (PCI, 2005), fazendo o uso de um sistema de formas deslizantes e vibratórias com uma única pista de protensão. Em 1957, a patente de tal sistema de formas deslizantes foi comprada pelas empresas alemãs Max Roth KG e Weiler KG, que começaram uma expansão pela Europa.

Já em 1960, a canadense Spirol deu início à produção de lajes alveolares por meio do processo de extrusão de concreto com baixa relação água/cimento, compactado e vibrado, sendo os alvéolos, em tal processo, circulares. O procedimento de extrusão foi recebido de maneira favorável especialmente pelos países do norte da Europa e pelo bloco soviético, iniciando-se uma competição na corrida pela supremacia entre o sistema de formas deslizantes e a extrusão e gerando, conseqüentemente, grandes benefícios ao desenvolvimento de lajes alveolares em todo o mundo.

A partir de 1974, a companhia italiana Nordimpianti System se especializou na construção de maquinários de formas deslizantes, acontecimento este que impulsionou a visibilidade dada às lajes alveolares e proporcionou em 1977 que a Nordimpianti fosse reconhecida pela sua excelência em produção em série de lajes com alvéolos.

Segundo Catoia (2011), a tecnologia de produção das lajes alveolares chegou ao Brasil por volta da década de 1980, mas teve uma maior consolidação a partir do ano de 2001, acompanhada pelo crescimento das estruturas pré-moldadas no Brasil. Atualmente, a tecnologia de produção das lajes do tipo alveolar vem sendo cada vez mais desenvolvida e consolidada. O ganho de produtividade possibilitado pela produção automatizada faz com que tal sistema construtivo apresente uma competitividade frente aos métodos mais tradicionais.

### **2.2.1. CARACTERÍSTICAS**

Laje alveolar protendida é uma solução de sistema construtivo pré-fabricado que vem sendo tomado como componente eficiente para pavimentos e vedação não apenas em edifícios da indústria como também em empreendimentos comerciais e residenciais. Sua definição,

segundo a ABNT NBR 14861:2013, é: “conjunto formado por painéis alveolares protendidos pré-fabricados, montados por justaposição lateral, eventual capa de concreto estrutural e material de rejuntamento”.

A distinção entre elementos pré-moldados e pré-fabricados é explicitada de uma melhor maneira na Norma ABNT NBR 9062:2017 nos itens 3.10 e 3.11, sendo a definição de elementos pré-moldados com elementos moldados previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura e elementos pré-fabricados como elementos pré-moldado executados industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que atendem a alguns requisitos mínimos especificados em norma. Tais definições corroboram a caracterização das lajes alveolares como elementos pré-fabricados.

De acordo com o Manual Técnico da TATU (2008), sua característica base é a presença de núcleos vazios longitudinais – os alvéolos com dimensões constantes – e as cordoalhas de protensão, que atuam na caracterização autoportante das lajes de tal tipo, conferindo à seção transversal características tais como explicitado na Figura 2-7. Os painéis protendidos fazem uso de concreto de elevada resistência característica à compressão ( $f_{ck} \geq 45\text{Mpa}$ ) e suas dimensões são variadas, tendo a largura com valores próximos a 125cm e a altura variando entre 8 e 70cm. A utilização de concreto de alto desempenho confere aos painéis de laje alveolar maior resistência ao ataque de agentes agressivos (cloretos, sulfatos, dióxido de carbono e maresia) e alta durabilidade, além de proporcionar estruturas mais leves e permitir uma espessura de laje menor.

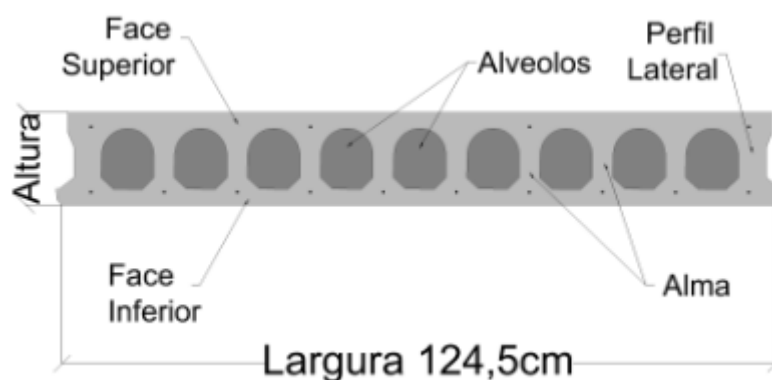


Figura 2-7: Seção transversal típica de laje alveolar (Puma Lajes Alveolares, 2018).

## 2.2.2. MÉTODO CONSTRUTIVO

As lajes alveolares protendidas são resultado da montagem por justaposição lateral de painéis alveolares protendidos pré-fabricados. Segundo a ABNT NBR 14861:2013, o painel alveolar de concreto protendido, denominado PACP, é constituído por peças de concreto

produzidas industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigorosas condições de controle de qualidade, conforme a ABNT NBR 9062:2017.

As lajes alveolares são usualmente encontradas no mercado com os seguintes componentes: painel alveolar, junta entre os painéis, uma capa de compressão e armaduras de distribuição.

Os painéis alveolares são fabricados com largura padrão e alturas variáveis, sendo as seções transversais também variáveis e dependentes de cada fabricante. A Figura 2-8, a seguir, exemplifica as seções transversais típicas de alguns tipos de painéis de lajes alveolares e suas respectivas características.









	SEÇÃO TRANSVERSAL	CARACTERÍSTICAS
PAINEL LEVE		Altura=9cm Peso-Próprio=1,50KN/m <sup>2</sup> I=5432cm <sup>4</sup> /m
		Altura=12cm Peso-Próprio=2,10KN/m <sup>2</sup> I=13247cm <sup>4</sup> /m
		Altura=16cm Peso-Próprio=2,45KN/m <sup>2</sup> I=29178cm <sup>4</sup> /m
		Altura=20cm Peso-Próprio=2,80KN/m <sup>2</sup> I=52948cm <sup>4</sup> /m
		Altura=25cm Peso-Próprio=3,20KN/m <sup>2</sup> I=95152cm <sup>4</sup> /m
PAINEL PESADO		Altura=20,5cm Peso-Próprio=2,90KN/m <sup>2</sup> I=58786cm <sup>4</sup> /m
		Altura=25cm Peso-Próprio=3,45KN/m <sup>2</sup> I=104210cm <sup>4</sup> /m
		Altura=30cm Peso-Próprio=4,00KN/m <sup>2</sup> I=175641cm <sup>4</sup> /m

Figura 2-8: Estruturas alveolares variáveis nos em diversas seções transversais (Tatu, 2018).

Pode-se notar que os alvéolos podem assumir diferentes formas e tamanhos, sendo eles atrelados às características básicas que desejam ser alcançadas em cada caso. As alturas, o peso

e os momentos de inércia de cada tipo são variáveis e adequados para cada típico específico de situação de projeto, dependendo do dimensionamento e do objetivo de cada caso em questão.

De acordo com Catoia (2011), as juntas – também conhecidas como “chavetas” e explicitadas na Figura 2-9 a seguir – visam à garantia de um funcionamento em conjunto e solidário das diversas placas que compõem a laje alveolar, contribuindo para a distribuição de cargas e fornecendo acabamento e estanqueidade. Seu preenchimento é feito com graute ou concreto convencional.

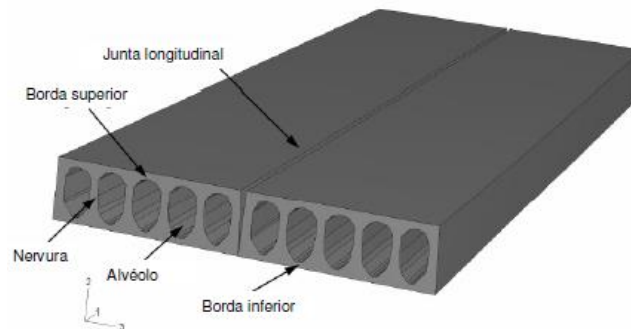


Figura 2-9: Juntas entre placas alveolares (Rettn e Edekling, 2006).

Conforme o Manual Técnico da TATU (2008), a capa de compressão não é um componente obrigatório, mas é recomendado para lajes de piso pela necessidade de maior resistência das mesmas. Tal elemento constituinte permite o armazenamento das armaduras necessárias e confere um cobrimento aos painéis alveolares protendidos.

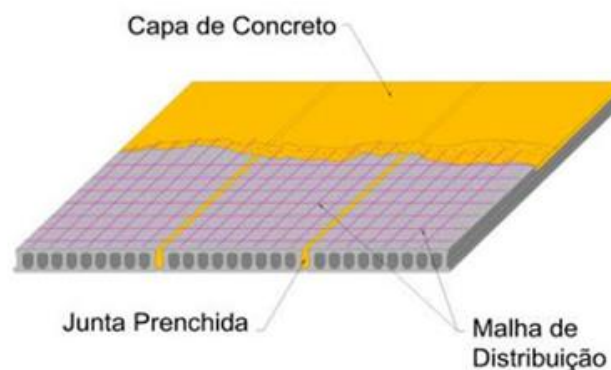


Figura 2-10: Painéis solidarizados, malha de distribuição e capa de concreto (RBR Pré-Moldados, 2018).

As armaduras de distribuição possuem a função de, além de solidarizar os painéis vizinhos, conferir a eles uma maior resistência devido à presença da malha de distribuição. A Figura 2-10 representada anteriormente mostra o conjunto formado pelas armaduras de distribuição e pela capa de compressão.

### 2.2.3. DESEMPENHO

As lajes alveolares devem satisfazer os requisitos presentes na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 tanto no que tange ao conforto acústico e térmico quanto no referente à resistência ao fogo.

Segundo Nordimpianti (2018), as lajes alveolares possuem propriedades de bom isolamento acústico, especialmente contra a transmissão de ruído aéreo, reduzindo o ruído do ambiente exterior e no fornecimento de separação de som entre os quartos abaixo e a cima. Além disso, elas apresentam um ótimo desempenho no tocante à transmissão térmica entre os painéis. A Figura 2-11 a seguir exemplifica a transmissão do ruído e da temperatura entre pavimentos separados por lajes alveolares.



Figura 2-11: Transmissão térmica e de ruídos entre painéis alveolares (Nordimpianti, 2018).

Pode-se perceber, conforme comprovado pela Figura 2-11 acima representada, que há uma considerável diminuição da transmissão térmica e de ruídos entre lajes do tipo alveolar. Tal característica se deve ao fato de as propriedades da laje de tal tipo se assemelharem com as das lajes maciças, fazendo com que o isolamento acústico dependa apenas do tipo de revestimento do pavimento

Segundo Nordimpianti (2018), as lajes do tipo alveolar apresentam excelente resistência ao fogo. Os pavimentos podem ser produzidos com uma elevada resistência ao fogo de mais de 180 minutos, sendo tal valor o dobro do requerido para lajes, conforme a ABNT NBR 14432:2001. A Figura 2-12 a seguir representa a distribuição através da análise por elementos finitos das faixas de temperatura encontradas nos painéis alveolares.



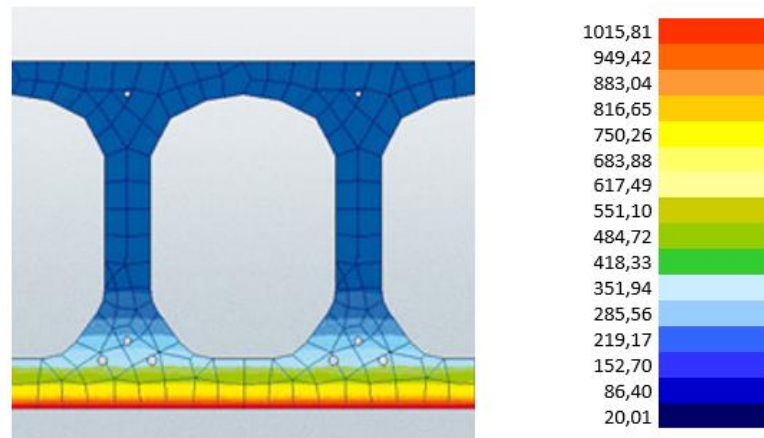


Figura 2-12: Distribuição da temperatura em lajes alveolares (Nordimpianti adaptado, 2018).

Pode-se notar que o vazio proporcionado pelos alvéolos auxilia no isolamento da propagação do calor da parte inferior do painel alveolar para a parte superior.

#### 2.2.4. PROJETO

O projeto de lajes do tipo alveolar atende às normas ABNT NBR 6118:2014, NBR 14861:2013 e NBR 9062:2017, além de outras especificações internacionais como o manual ASSAP (2002).

De acordo com a ABNT NBR 14861:2013, o projeto da laje alveolar é elaborado por profissionais habilitados, sendo composto por três partes distintas: projeto estrutural da laje, projeto de execução da laje e manual de colocação e montagem. No projeto estrutural, o cálculo e dimensionamento das lajes são elaborados de acordo com as normas brasileiras ABNT NBR 6118:2014, NBR 9062:2017 e NBR 7197:1989, além dos projetos da obra. Vale ressaltar que uma atenção especial deve ser dada aos limites prescritos na ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. No projeto de execução há a explicitação dos documentos que devem acompanhar a entrega do produto e quais os elementos que estes devem contemplar, tais como quantidade, especificação e disposição das armaduras, altura total da laje e detalhamento de apoios e ancoragem dos PACP. O manual de colocação e montagem é o documento que deve conter as informações que orientam a execução do projeto da laje na obra.

Segundo El Debs (2000), há de se ter cuidados em apoios na ocorrência fatores como reação causada pelas forças geradas no processo de transferência dos esforços de protensão e reações de apoio. Além disso, uma atenção especial deve ser dada à ancoragem das cordoalhas responsáveis pela protensão e resistência à força cortante.

### 2.3.LAJES BUBBLEDECK

De acordo com informações contidas no site *BubbleDeck* internacional, o sistema *BubbleDeck* tem uma história relativamente recente, com início na década de 1980 na Dinamarca, quando o governo dinamarquês lançou um concurso visando incentivar engenheiros locais a buscar técnicas inovadoras, com soluções ecológicas e econômicas, que pudessem ser aplicáveis em larga escala. O engenheiro estrutural Jorgen Breuning foi o vencedor do concurso promovido pelo governo, apresentando como proposta a ideia de uma laje de concreto com vazios, utilizando-se de esferas plásticas.

O primeiro edifício a ser construído com a tecnologia *BubbleDeck* foi o Millenium Tower Rotterdam (ver Figura 2-13), sendo sua construção realizada entre os anos de 1998 e 2000. A priori seria utilizado o sistema de lajes alveolares, mas decidiu-se utilizar a tecnologia *BubbleDeck* devido às suas vantagens quanto ao custo, tempo de construção, flexibilidade e por ser um sistema ambientalmente correto. Segundo relatório de obra da empresa responsável pela construção da Tower Rotterdam, ao final da implementação de tal sistema construtivo observou-se: redução de 4 dias em cada ciclo de montagem das lajes, diminuição em 50% do número de elevações por guias, redução de um total de 500 viagens de caminhões em Rotterdam, construção de 2 pavimentos a mais mantendo-se a altura final da edificação e finalização antes do prazo estipulado no cronograma programado. O edifício conta com 34 andares e tem um total de 131 metros de altura.



Figura 2-13: Millenium Tower Rotterdam (*BubbleDeck Overview*, 2018).

A partir da primeira década do ano 2000, a tecnologia *BubbleDeck* foi se tornando mais conhecida e teve sua utilização feita em maior escala. No Brasil, a primeira obra a fazer o uso de tal tecnologia foi a da sede da empresa Odebrecht em Salvador, Bahia. Outros exemplos da utilização do sistema *BubbleDeck* no Brasil são: estacionamento do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (Galeão) e mais recentemente o Centro Administrativo do Distrito Federal (ver Figura 2-14) – obra que foi finalizada em 2014 e na qual observou-se, de acordo com informações contidas no Relatório de Implantação do Consórcio Construtor do CADF de 2014, uma redução de 35% na quantidade usada de concreto (2500 viagens de caminhão salvas), redução de 60% na quantidade de suportes temporários e uma proporcionou uma economia de 13% nos custos da construção.

Ainda segundo o Relatório de Implantação do Consórcio Construtor do CADF de 2014, inicialmente os estudos indicavam um custo 7% maior com a implantação do sistema *BubbleDeck* em relação ao sistema de lajes nervuradas. Contudo, após aferição dos índices pós-implantação, os custos ficaram 12,98% menores. Pelo fato de ser um sistema mais industrializado que o nervurado, permitiu-se o aumento da produtividade com o consumo de 3,20 HH/m<sup>2</sup> em comparação ao sistema nervurado, que possui produtividade de aproximadamente 8,72 HH/m<sup>2</sup>. A economia gerada foi de R\$ 5.909.152,81 em todo o empreendimento.



Figura 2-14: Concretagem Laje *BubbleDeck* no Centro Administrativo do DF (CA DF, 2014).

Atualmente, observa-se um aumento na utilização do sistema *BubbleDeck* nos mais diversos tipos de construção, e a tendência é que, com o passar do tempo, tal sistema torne-se cada vez mais difundido.

### 2.3.1. CARACTERÍSTICAS

O sistema *BubbleDeck* tem seu fundamento em dois tipos de lajes: as lajes do tipo cogumelo – no tocante à não-necessidade da presença de vigas e apoio direto da laje nos pilares – e as lajes nervuradas – no tocante à eliminação de concreto sujeito à tração e consequente diminuição do peso da estrutura.

A ABNT NBR 6118:2014 define o que é uma laje do tipo cogumelo e faz uma diferenciação deste tipo com as lajes lisas em seu item 14.7.8, explicitando que lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto as lajes lisas são aquelas apoiadas nos pilares sem capitéis. A principal vantagem trazida por tal tipo de laje é a eliminação da necessidade de vigas, fato este que facilita a execução da laje e interfere diretamente no pé direito da estrutura. A Figura 2-15 a seguir exemplifica a diferenciação entre os dois tipos de laje: lisa e cogumelo.

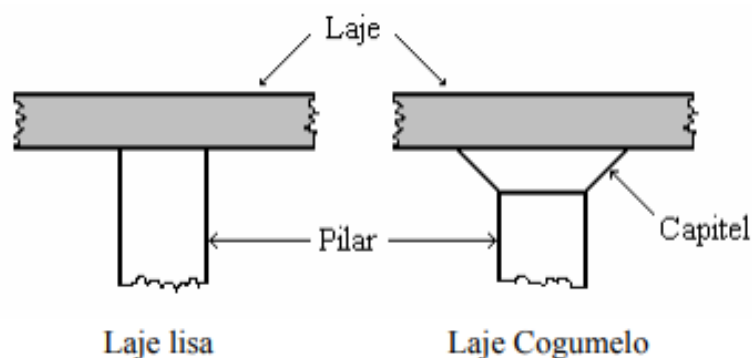


Figura 2-15: Modelos típicos de laje lisa e laje cogumelo (Camacho, 2004).

As lajes nervuradas são um tipo de laje-cogumelo. Segundo a ABNT NBR 6118:2014, item 14.7.7, lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Uma explicação mais técnica pode ser encontrada no livro *Estruturas de Concreto Armado 2*, Carvalho e Pinheiro (2009), que atesta que quando se tem um vão de grande dimensão, as lajes maciças acabam, pelo menos no Estado Limite Último, apresentando pequena região de concreto comprimido e, portanto, há muito concreto abaixo da linha neutra que acaba não ajudando na resistência à flexão. Assim sendo, nas lajes nervuradas há a redução do concreto que está submetido a esforços de tração, ou seja, concreto que não exerce função estrutural, o que traz como principal vantagem a diminuição significativa de seu peso próprio sem perder a resistência requerida e vencendo maiores vãos. A Figura 2-16 a seguir mostra a seção transversal típica de uma laje nervurada.

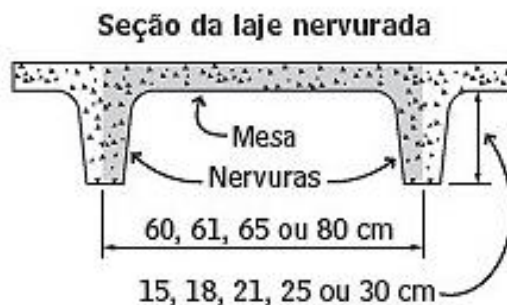


Figura 2-16: Seção transversal de laje nervurada (Téchne, 2010).

### 2.3.2. MÉTODO CONSTRUTIVO

As lajes *BubbleDeck* podem ser encontradas em duas formas básicas: módulos ou pré-lajes. O que as difere são os processos relacionados à sua concretagem. Conforme explicitado no site da fabricante *BubbleDeck* Brasil (2018) nos módulos, as esferas são posicionadas em gaiolas metálicas formando módulos que são posicionados sobre formas convencionais de madeira, armaduras adicionais inseridas e a concretagem é realizada *in loco* e em dois estágios – uma espessura de 60mm para evitar a flutuação das esferas plásticas e então o preenchimento da laje por completo. Nas pré-lajes, já existe a primeira camada que evita a flutuação das esferas, exigindo-se apenas a concretagem posterior para enchimento da laje por completo e não necessitando mais de formas de madeira. A Figura 2-17 a seguir representa os dois métodos anteriormente citados.

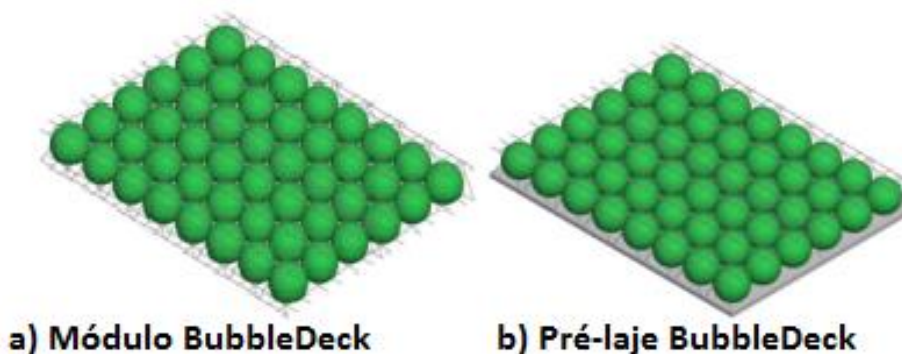


Figura 2-17: Métodos construtivos *BubbleDeck* (*BubbleDeck*, 2018).

As lajes *BubbleDeck* são divididas em 5 diferentes tipos, sendo a nomenclatura deles relacionada com a espessura total da laje acabada. Cada tipo utiliza uma esfera de determinado diâmetro, suporta diferente tamanho de vão e valor de carga e consome um volume de concreto por metro quadrado de área plana diferente. Com relação aos tipos e dimensões encontradas, temos, segundo *BubbleDeck* Brasil (2018), a seguinte Tabela 2-2:

Tabela 2-2: Tipos de lajes *BubbleDeck* e suas principais características (*BubbleDeck adaptado, 2018*).

Tipo	Espessura da laje (mm)	Diâmetro das esferas (mm)	Vão (m)	Carga (kgf/m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
BD230	230	180	7 a 10	370	0,15
BD280	280	225	8 a 12	460	0,19
BD340	340	270	9 a 14	550	0,23
BD390	390	315	10 a 16	640	0,25
BD450	450	360	11 a 18	730	0,31

Nota-se que a espessura das lajes *BubbleDeck* tem seu valor variando de 230mm a 450mm, sendo tal valor a soma do diâmetro das esferas utilizadas com o cobrimento requerido para cada caso. A espessura do cobrimento assume valores totais de 50mm a 90mm. Além disso, pode-se perceber que, conforme evidenciado pela tabela acima, quanto maior é a espessura da laje em questão, maior é o vão e a carga suportados e conseqüentemente maior é o consumo de concreto. Vale ressaltar que cada tipo de laje *BubbleDeck* depende das condições especificadas em projeto.

### 2.3.3. DESEMPENHO

Um parâmetro relacionado com o isolamento acústico é o Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw), o qual é verificado segundo as normas ISO 10140-2 e ISO 717-1, e tem valores de referência no Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2013 que podem ser consultados na Tabela 2-3a seguir:

Tabela 2-3: Rw de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes (ABNT NBR 15575-4:2013 adaptado).

Elemento	Rw [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de germinação), nas situações onde haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de germinação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S

Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Outro parâmetro é o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado  $L'_{nt,w}$ , que mede o nível de ruído aceitável de acordo com o sistema de piso utilizado. Segundo a Tabela 2-4 abaixo, retirada da ABNT NBR 15575-3:2013, temos a seguinte relação:

Tabela 2-4: Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (ABNT NBR 15575-3:2013 adaptado).

Elemento	$L'_{nt,w}$ (dB)
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiro e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Conforme testes de certificação das autoridades para a supervisão de construções P-SAC 02/IV-065, MPFA Leipzig e. V., as lajes *BubbleDeck* possuem desempenho em relação ao isolamento acústico conforme observado na Tabela 2-5 a seguir:

Tabela 2-5: Isolamento acústico de lajes BubbleDeck (Certificado de Teste Alemão P-SAC 02/IV-065 adaptado, 2001).

Índice de redução de com $R_w$ [dB]	Nível acústico equivalente ao passo $L_{n,w,eg,R}$ [dB]	Espessura da Laje (cm)	Diâmetro da Esfera (cm)
55	77	23	18
57	73	34	27

Percebe-se que os parâmetros obtidos de acordo com teste de certificação alemã P-SAC 02/IV-065 corroboram com a qualidade do sistema construtivo *BubbleDeck*. Para efeitos de comparação, o valor do parâmetro  $R_w$  das lajes *BubbleDeck* são maiores que 55dB, o qual é tido como um valor excelente conforme o que consta na Tabela 2-3. Em relação ao parâmetro  $L'_{nt,w}$ , os ensaios alemães acusaram valores menores que 77dB, o que também é menor que 80 (valor que consta na Tabela 2-4) e está dentro dos padrões aceitáveis de isolamento acústico.

Segundo o mesmo teste de certificação alemã citado anteriormente, as esferas plásticas influenciam pouco no padrão de transferência de calor. Este depende do cobrimento e da distância da fonte de calor até a base, fazendo com que a laje do tipo *BubbleDeck* se comporte como uma laje maciça. Além disso, segundo testes de certificação das autoridades para a supervisão de construções P-SAC 02/IV-065, MPFA Leipzig e. V demonstram que o cobrimento mínimo (em cm) de concreto para a armadura inferior – o qual depende da resistência ao fogo e das tensões admissíveis do aço sobre a ação de cargas – pode ser determinado segundo a Tabela 2-6 abaixo:

Tabela 2-6: Cobrimento necessário para lajes do tipo BubbleDeck (Certificado de Teste Alemão P-SAC 02/iv-065 adaptado, 2001).

Tensão Admissível do Aço $\sigma_s$ [MN/m <sup>2</sup> ] ≤	Taxa de Utilização do Aço $\sigma_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]/286 [MN/m <sup>2</sup> ]*100%	Resistência ao fogo (min.)				
		30	60	90	120	180
190	66%	1,7	1,7	1,7	1,7	-
286	100%	1,7	2,9	3,5	4,2	5,5

Pode-se notar que quanto maior é a taxa de utilização do aço, maior será o cobrimento da armadura inferior necessário para resistir a um mesmo tempo que uma estrutura com taxa de utilização de aço menor suporta. Ainda segundo *BubbleDeck* Brasil (2018), as esferas plásticas ocas, constituídas de polietilenos de alta densidade (HDPE) têm de estar de acordo com os materiais de construção da classe B2 da norma alemã DIN 4102-1 no mínimo. Conforme citado anteriormente no penúltimo parágrafo do item 2.1.3 – que o TRRF de lajes não deve ser maior



que 90min, a não ser que a edificação tenha mais de 45m – e tendo como base a tabela representada na Tabela 2-6, vemos que o cobrimento inferior deve ser de 1,7cm. A fabricante ainda limita inferiormente o cobrimento superior de concreto em, no mínimo, 2,5cm.

### 2.3.4. PROJETO

De acordo com a TNO (Organização Holandesa para Pesquisa Científica Aplicada), o sistema se comporta de forma mais semelhante a uma laje maciça do que alveolar, podendo ser analisado tanto no regime elástico quanto plástico. Métodos comuns, tais como o linear elástico e o método das linhas de ruptura (*yield line methods*) são aplicáveis no dimensionamento das lajes tipo *BubbleDeck*.

Em ambos os métodos de cálculo previamente citados, a especificação do tipo de laje se dá a partir do momento máximo que o sistema deve resistir. A relação entre momento resistido, área de aço e espessura da laje pode ser observada no Gráfico 2-1 a seguir:

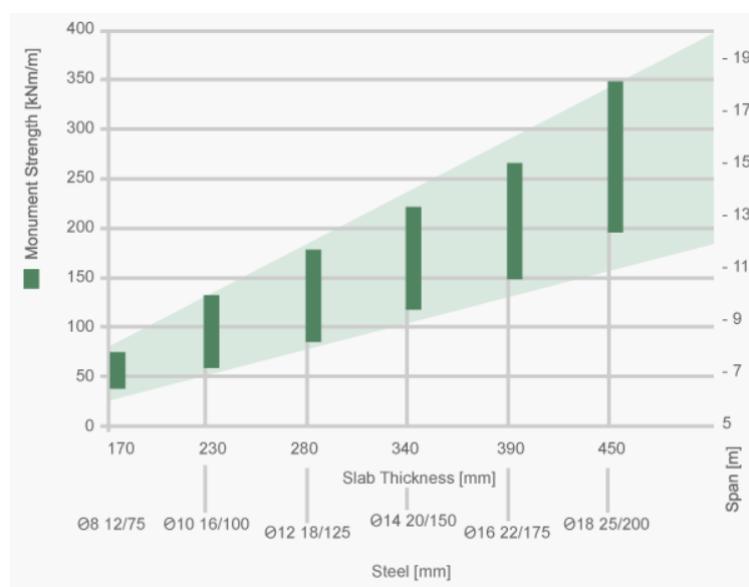


Gráfico 2-1: Relação Momento x Espessura x As (*BubbleDeck*, 2018).

Além disso, devido a sua geometria otimizada, todo o concreto é considerado nos cálculos dos esforços e todos os outros elementos componentes também são considerados ativos. Em relação ao cisalhamento, este é proporcional ao volume de concreto e por isso sua resistência é cerca de 65% a da laje maciça de mesma espessura, sendo por este motivo sugerida a utilização de um fator de segurança de 0,6 nos cálculos.

### 2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

A Tabela 2-7 abaixo apresenta um panorama das vantagens e desvantagens de cada sistema abordado no presente estudo.

Tabela 2-7: Vantagens e desvantagens dos sistemas construtivos de lajes (Autoria própria).

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
TRELIÇADAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor peso próprio (Spohr, 2010);</li> <li>• Possibilidade de vencer vãos maiores (Spohr, 2010);</li> <li>• Flexibilidade no projeto arquitetônico (Spohr, 2010);</li> <li>• Volume de concreto reduzido (Spohr, 2010);</li> <li>• Eliminação de formas (Brumatti, 2008);</li> <li>• Redução do escoramento (Brumatti, 2008);</li> <li>• Incremento na produtividade (Spohr, 2010);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigência de maior cuidado durante a concretagem (Faria, 2010);</li> <li>• Má aderência entre as vigotas e a capa de concreto (Brumatti, 2008).</li> </ul>
ALVEOLARES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso próprio reduzido devido à geometria (Petrucci, 2009);</li> <li>• Bom isolamento térmico e acústico (Petrucci, 2009);</li> <li>• Grande qualidade e confiabilidade devidas às técnicas de produção industrial (Araújo, 2011);</li> <li>• Reduções consideráveis no tempo de construção e nos serviços em obra (Araújo, 2011);</li> <li>• Facilitação do <i>layout</i> e otimização da estrutura por possuir fácil instalação e permitir o alcance de grandes vãos (Melo, 2004);</li> <li>• Redução de entulhos e de estoque de material na obra, por ser um material pré-fabricado (Senden, 2015);</li> <li>• Facilmente adaptado para permitir a montagem de sistemas auxiliares de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de equipamentos especiais de produção e manuseio (Petrucci, 2009);</li> <li>• Inflexibilidade para certos projetos, devido à largura padrão e dificuldade de recortes (Petrucci, 2009);</li> <li>• Preço e menor acessibilidade quando se comparada a métodos convencionais de laje;</li> <li>• Necessidade de mão de obra mais especializada (Dorneles, 2014).</li> </ul>
BUBBLEDECK	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberdade nos projetos – <i>layouts</i> flexíveis que facilmente se adaptam a <i>layouts</i> curvos e irregulares (Relatório Eindhoven University of Technology, 1997);</li> <li>• Redução do peso próprio – 35% menor, permitindo redução nas fundações (Silva, 2011);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença do fenômeno de punção na região dos pilares (Guedes e Andrade, 2015);</li> <li>• Necessita mão de obra especializada (Lima, 2015);</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento dos inter-eixos das colunas – até 40% a mais do que estruturas tradicionais (Relatório AEC Consulting Engineers Ltd., Professor M.P. Nielsen, the Technical University of Denmark, 2007);</li> <li>• Ambientalmente adequado – redução de energia e emissão CO<sub>2</sub>, possuindo Selo Verde (certificação LEED) e se enquadrando nas referências do Tratado de Kyoto e do CO15 (Lima, 2017);</li> <li>• Redução do volume de concreto (Relatório de Implantação do Consórcio Construtor do CADF, 2014).</li> <li>• Eliminação de vigas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade logística relacionada ao transporte dos componentes (pré-lajes ou módulos) e implementação em canteiro (Lima, 2015);</li> <li>• Colapso progressivo ocasionado pelos grandes deslocamentos transversais nas extremidades livres e pequena rigidez às ações laterais (Silva, 2016);</li> <li>• Dependência de único fabricante (Silva, 2016).</li> </ul>
--	--

### 3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa entre um sistema tradicionalmente utilizado – lajes treliçadas – e dois sistemas não-convencionais de lajes para o mercado de habitações sociais – lajes alveolares e *BubbleDeck* – todos com a menor espessura comercial, visando obter dados suficientes do mercado e fornecer às construtoras informações para que possam optar pela adoção da melhor opção de sistema de lajes.

Com o intuito de alcançar os objetivos previamente propostos, o estudo foi feito com base em um projeto padrão, o qual possibilitou a restrição das características de projeto, tornando as comparações mais conclusivas. O projeto teve de possuir as seguintes características:

- Ser caracterizado como habitação multifamiliar de interesse social;
- Possuir de 2 a 4 pavimentos (térreo + 1 a 3 pavimentos);
- Ter unidades privativas com área coberta entre 45 a 60m<sup>2</sup> e vãos variando de 1,60m a 5,00m.

A pesquisa teve seu escopo delimitado na Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Distrito Federal e, nos casos que não foram encontradas ofertas nesta região, a área pôde abranger o resto do território nacional ou até empresas estrangeiras.

A aplicação da Metodologia desenvolvida seguiu o seguinte fluxograma descrito na Figura 3-1 a seguir:

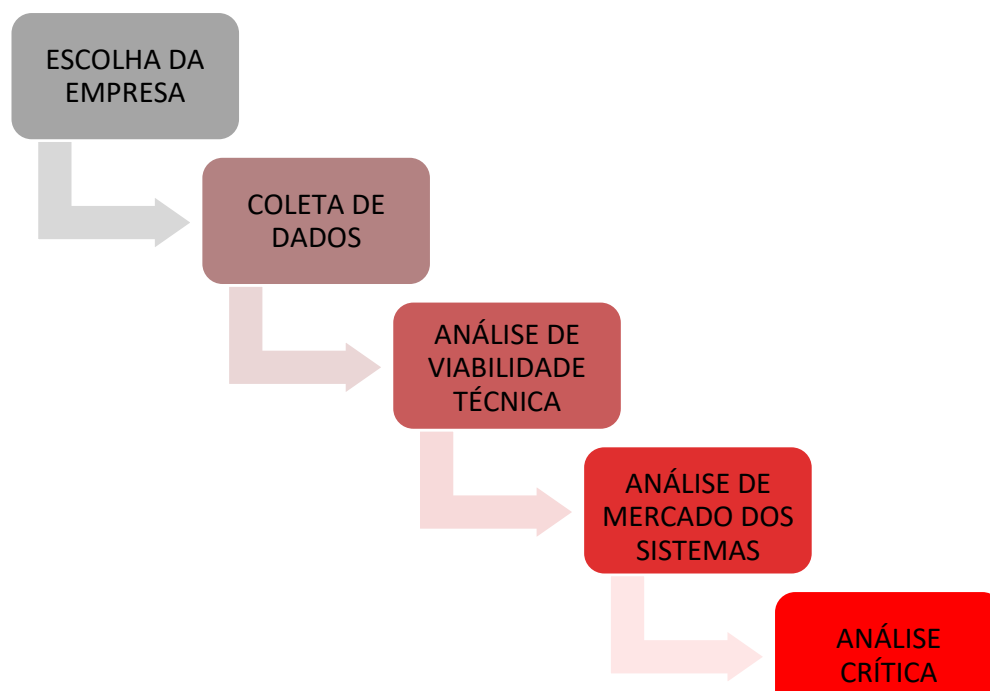


Figura 3-1: Fluxograma de atividades (Autoria própria).

### **3.1. ESCOLHA DA EMPRESA**

A empresa teve que atender aos seguintes requisitos:

- Disponibilizar dados necessários para a elaboração do estudo em questão.
- Ter obras de habitação multifamiliar de interesse social localizadas na RIDE do Distrito Federal que se enquadrem nos requisitos propostos pelo estudo;
- Possuir pelo menos uma obra em andamento e outra já concluída, nas quais foram utilizados o sistema de lajes treliçadas e cujos projetos sejam adequados às características do projeto padrão;

### **3.2. DETALHAMENTO DO PROJETO BASE**

Projeto Base é aquele executado pela Empresa escolhida, tendo suas características provenientes da forma que ele é costumeiramente executado. Visando uma maior adequação à finalidade deste estudo, tal projeto teve que atender a todas as características do Projeto Padrão, o qual foi descrito de forma mais detalhada anteriormente no Item 3.

Foi obtido junto à Empresa escolhida um Projeto Base com dados suficientes para se obter, entre outras, as seguintes informações:

- Metragem total;
- Comprimento dos vãos dos cômodos;
- Projeto estrutural das lajes;
- Projetos arquitetônicos.

Tais informações foram necessárias para a análise de viabilidade técnica e operacional de cada sistema quando implantado para esse Projeto Base.

### **3.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS NÃO CONVENCIONAIS**

A análise de viabilidade técnica foi feita detalhadamente a partir de parâmetros que se mostraram recorrentes nas bibliografias utilizadas neste estudo, os quais foram os seguintes:

- Oferta de mão de obra qualificada;
- Quantidade de fornecedores;
- Necessidade de equipamentos especiais;
- Tempo de execução;
- Preço do metro quadrado.

Tendo fundamentado e analisado minuciosamente cada característica anteriormente pautada, foi obtido um panorama quanto à viabilidade de adoção do método construtivo não convencional em suprimento do tradicional. Um resumo foi apresentado em forma de matriz comparativa ponderada, de forma que ficou claro qual sistema construtivo era mais vantajoso quando em comparação com o habitual.

### **3.4. ANÁLISE DE MERCADO DOS SISTEMAS**

Após a elaboração da matriz comparativa ponderada - produto da análise de viabilidade técnica do item 3.3 - e de posse do panorama de viabilidade de substituição ou não do sistema tradicional pelos não convencionais, foi realizada uma análise de mercado dos sistemas que se caracterizaram por serem viáveis. Tal análise serviu para tomada de decisão da empresa interessada no estudo.

A análise de mercado para os sistemas não convencionais, caso estes fossem viáveis, teria embasamento tanto em referências bibliográficas quanto em dados obtidos de seus fabricantes, visto a limitação da quantidade de dados disponíveis para tais tipos de sistemas construtivos pelo fato de serem soluções ainda pouco disseminadas no mercado brasileiro.

Caso nenhum dos sistemas não convencionais oferecesse vantagem na substituição do sistema tradicional, seria feita uma análise de mercado aprofundada deste, visando coletar dados de mão-de-obra, insumos e serviços da Empresa escolhida para constatar se o que estava sendo atualmente feito na Empresa em questão era feito da maneira mais eficiente possível e proporcionava-lhe competitividade no mercado de empresas que atuam no mesmo ramo. Para tal, seriam coletados, também, dados provenientes de uma empresa que atua no ramo de construção de habitações populares e do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil da Caixa Econômica Federal (SINAPI).

### **3.5. ANÁLISE CRÍTICA**

Por fim, foi elaborada uma análise crítica que evidenciou as diretrizes para a implantação dos sistemas não convencionais, caso fossem viáveis e possibilitassem economias e melhorias de processos para a empresa escolhida; e/ou diretrizes para o aperfeiçoamento do sistema tradicional, possibilitando o uso de melhores práticas observadas no mercado. O objetivo principal desta análise crítica era servir de guia de tomada de decisão para a Empresa que disponibilizou dados para este estudo.

## **4. ANÁLISE E RESULTADOS**

### **4.1. ESCOLHA DA EMPRESA**

Em busca de uma empresa que se enquadrasse aos parâmetros pré-definidos no item 3.1, foi selecionada a construtora 7 LM Empreendimentos Imobiliários. Tal escolha deveu-se à quantidade de obras já entregues e em execução e a facilidade de obtenção dos dados necessários, sendo a empresa denominada apenas como “empresa escolhida” ao longo do estudo.

A 7 LM dedica-se desde 2010 a projetos de interesse social na RIDE do DF, participando no programa Minha Casa Minha Vida e tendo empreendimentos nos municípios de Águas Lindas de Goiás, Cidade Ocidental e Formosa.

O sistema construtivo utilizado na Cidade Ocidental e em Formosa é o de alvenaria estrutural com lajes treliçadas, sendo que as edificações possuem quatro pavimentos com unidade habitacionais com área privativa de cerca de 56m<sup>2</sup>, adequando-se perfeitamente às premissas da Metodologia.

### **4.2. DETALHAMENTO DO PROJETO BASE**

Como base para o estudo, a empresa escolhida disponibilizou os dados e pranchas de um empreendimento o qual já foi executado em Formosa e está sendo replicado em outros terrenos localizados no mesmo Município. Tal projeto será então adotado como Projeto Base, e possui as seguintes características:

- Área privativa coberta de 56,25m<sup>2</sup>;
- Vãos de 1,70m a 4,80m;
- Edificação com 4 pavimentos (térreo + 3 pavimentos tipo);
- Cargas verticais de 2kN/m<sup>2</sup>.

As edificações possuem pavimentos com 4 unidades privativas. A disposição das unidades nos pavimentos pode ser observada na planta humanizada representada na Figura 4-1 abaixo.



Figura 4-1: Planta humanizada do pavimento tipo, sem escala (Empresa escolhida adaptado, 2018).

Para melhor entendimento da disposição dos vãos a serem vencidos pela estrutura da laje, a Figura 4-2 abaixo ilustra uma das pranchas do projeto estrutural que nomeia os vãos e também determina a direção das nervuras das treliças.

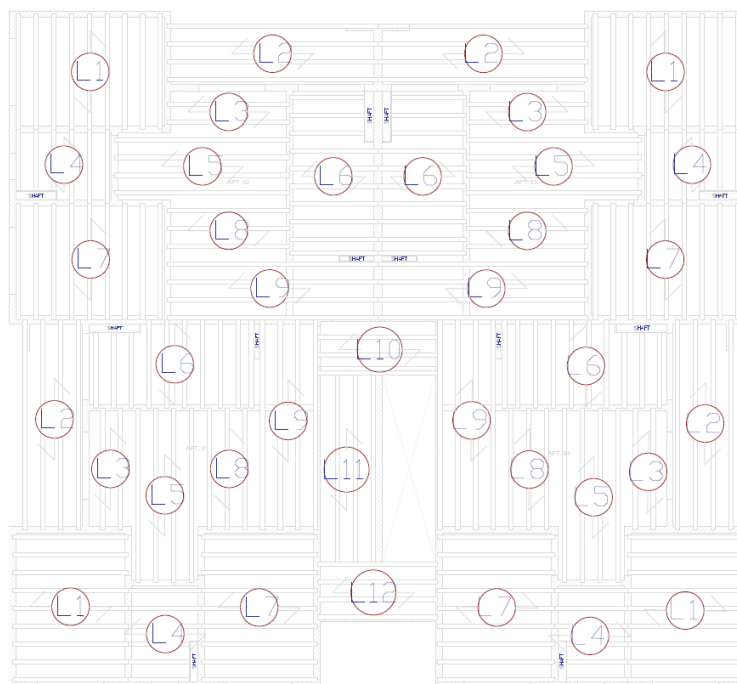


Figura 4-2: Prancha do projeto estrutural com a disposição dos vãos e treliças, sem escala (Empresa escolhida adaptado, 2018).



Pode-se perceber que cada unidade habitacional é composta 9 lajes (L1 a L9) e que a área de circulação possui 3 lajes (L10 a L12). O tamanho de cada vão de laje encontra-se discriminado na Tabela 4-1 a seguir, a qual reitera a compatibilidade do comprimento dos vãos com o intervalo de adequação pré-determinado (1,60m a 5,00m) no item 4.2.

*Tabela 4-1: Comprimento dos vãos (Empresa escolhida adaptado, 2018).*

Vão	Comprimento (m)
L1	2,70
L2	4,80
L3	2,80
L4	1,70
L5	4,00
L6	2,10
L7	2,70
L8	2,80
L9	4,80
L10	2,80
L11	4,80
L12	2,80

### **4.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS NÃO CONVENCIONAIS**

#### **4.3.1. OFERTA DE MÃO DE OBRA QUALIFICADA**

Sendo o escopo deste estudo delimitado à RIDE do Distrito Federal, a busca por empresas que ofertam mão de obra qualificada limitou-se a essa região. A princípio, tentou-se buscar dados de empresas que executam e comprovar a qualificação através da metragem quadrada total executada de cada tipologia. Imaginou-se que tais informações estariam presentes nas notas fiscais de prestação deste serviço e pudessem ser contabilizadas. No entanto, isso se mostrou ser inviável, pois nos registros das notas fiscais não constavam descrição detalhada do tipo de serviço prestado, constando apenas “serviço de execução de estruturas de concreto armado” ou outras descrições genéricas.

Com isso, buscou-se dados bibliográficos que fossem correlatos e relevantes, resultando no panorama de necessidade de mão de obra qualificada que pode ser observado na Tabela 4-2 a seguir.

Tabela 4-2: Necessidade de mão de obra qualificada para cada tipologia de laje (Autoria própria).

Tipologia	Necessidade de mão de obra qualificada
<b>Lajes Treliçadas</b>	Dorneles (2014) explicita que, para a execução do sistema de lajes treliçadas, não há a necessidade de mão de obra com alta qualificação.
<b>Lajes Alveolares</b>	De acordo com Dorneles (2014), a execução de projeto de laje alveolar necessita de mão de obra com alta qualificação, o que restringe a gama de empresas terceirizadas que são capazes de executar tal serviço.
<b>Lajes BubbleDeck</b>	Segundo Lima (2015), as lajes <i>BubbleDeck</i> demandam uma alta qualificação de mão de obra quando comparado a sistemas mais difundidos, como os de lajes maciças e treliçadas.

Levando-se em consideração a menor complexidade para execução do sistema de lajes treliçadas, conforme Dorneles (2014), este não necessita de mão de obra treinada. Sendo assim, a tipologia dita tradicional apresenta vantagem quando em comparação com os sistemas não convencionais.

#### 4.3.2. QUANTIDADE DE FORNECEDORES

A quantidade de fornecedores de cada tipologia de laje foi obtida a partir de buscas, indicações e posterior confirmação telefônica com cada potencial fornecedor, de modo a facilitar a contabilização para futura comparação entre os sistemas.

Em relação às lajes treliçadas e alveolares, consultou-se alguns fornecedores na RIDE do DF para que fosse verificado seu fornecimento, dentre eles Lajes Líder, Lajes Procasa, Lajesplan, Megalajes, Lajes São Francisco, Rede Pré-moldados, Lajes Cristal, Brasillages, Guará Lajes, Concretos e BSB Lajes e outros de menor porte, sendo que foi verificado que em todos eles se trabalhava com lajes treliçadas, mas apenas a Rede Pré-moldados fornecia lajes alveolares. Como a ampla maioria dos potenciais fornecedores anteriormente citados não fabricavam lajes alveolares, ampliou-se o campo de busca para Goiânia, onde também foi encontrada uma oferta limitada de empresas que trabalham com painéis protendidos alveolares, podendo citar a MOLD Estruturas. Vale frisar que a cidade de Goiânia se encontra a aproximadamente 208km de Brasília, conforme representado pelo mapa ilustrativo da Figura 4-3 a seguir.

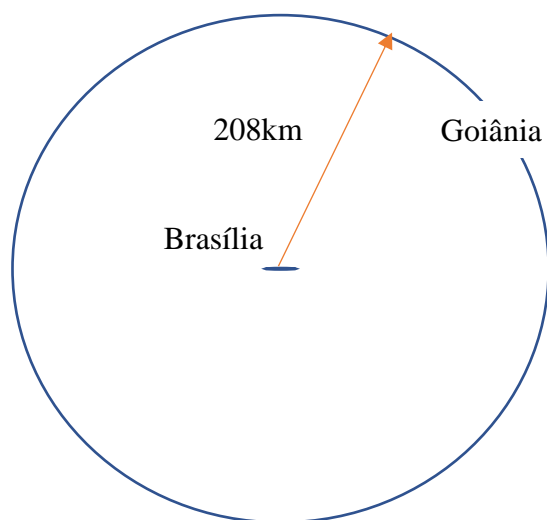


Figura 4-3: Mapa ilustrativo da distância entre Brasília - DF e Goiânia - GO (Autoria própria).

Já as lajes *BubbleDeck*, por ser uma tecnologia ainda com patente vigente (BR 10 2013 030143-4 A2, INPI 2014), houve a restrição de fornecimento dos constituintes pré-fabricados apenas à *BubbleDeck* Brasil.

Dessa forma, infere-se que a laje treliçada possui maior vantagem comercial em relação às demais por ter competitividade no mercado local, possibilitando que as construtoras tenham acesso a produtos com maior qualidade em valor de mercado. A síntese do levantamento de fornecedores pode ser observada na Tabela 4-3 abaixo.

Tabela 4-3: Quantidade de fornecedores para cada tipologia de lajes (Autoria própria).

Tipologia	Quantidade de fornecedores
<b>Lajes Treliçadas</b>	Diversos fornecedores locais (mais de 10).
<b>Lajes Alveolares</b>	Um fornecedor na RIDE do DF e outro em Goiânia – GO.
<b>Lajes <i>BubbleDeck</i></b>	Fornecedor único.

#### 4.3.3. NECESSIDADE DE EQUIPAMENTOS ESPECIAIS

Os dados referentes à necessidade do uso de equipamentos especiais para a execução das tipologias de laje foram obtidos de maneira semelhante à do item 4.3.1 - Oferta de Mão de Obra Qualificada - sendo pesquisadas bibliografias pertinentes e que abordassem o tema em questão. As referências podem ser encontradas na Tabela 4-4 abaixo.

Tabela 4-4: Necessidade de equipamentos especiais para cada tipologia de lajes (Autoria própria).

Tipologia	Necessidade de equipamentos especiais
<b>Lajes Treliçadas</b>	Flório (2004) cita que para a montagem de lajes treliçadas não há necessidade de utilização de equipamentos sofisticados.
<b>Lajes Alveolares</b>	Segundo Petrucelli (2009), tanto a produção quanto o manuseio de painéis alveolares requer o uso de equipamentos especiais. Ao afirmar isso, a autora se refere a equipamentos que garantam a qualidade na produção, tais como macacos de protensão, medidores de pressão e de deformação, central de dosagem e mistura do concreto, de corte, entre outros. No tangente a manuseio, há a necessidade de utilização de equipamento mecanizado para içamento dos painéis pré-fabricados.
<b>Lajes BubbleDeck</b>	Lima (2015) afirma que os módulos ou pré-lajes <i>BubbleDeck</i> também demandam maquinário especial para o deslocamento vertical do solo até o nível da laje a ser construída. Há de se ter um cuidado especial para a elevação com o uso de guias, o que pode se tornar inviável em canteiros que possuam limitação de espaço.

Segundo El Debs (2000), as lajes treliçadas caracterizam-se por possuir elementos pré-moldados leves, não necessitando de equipamentos especiais para transporte e posicionamento. De acordo com Flório (2004), tal vantagem competitiva perante os sistemas não convencionais diminui o risco de imprevistos causados por danos mecânicos e exclui a necessidade de mão de obra treinada para a operação de tais equipamentos.

#### 4.3.4. TEMPO DE EXECUÇÃO

Para mensuração do tempo de execução dos sistemas será considerado como início o momento em que se começam os preparos dos materiais e execução dos serviços para a laje de um pavimento com quatro unidades privativas como especificadas no projeto base.

No caso do sistema tradicional, o tempo inicial é o momento em que as treliças pré-fabricadas, elementos de enchimento, material de escoramento e o aço para a armadura de distribuição encontram-se todos disponíveis para as equipes no canteiro.

Como referência para coleta dos tempos, utilizaram-se dados da empresa escolhida. A obra na qual foram computados os tempos de execução das lajes contava com 5 (cinco) equipes distintas, sendo dispostas da seguinte maneira: a equipe de escoramento possuía 3 (três) carpinteiros e 2 (dois) ajudante; a de montagem da laje possuía 1 (um) carpinteiro e 1 (um) ajudante; a de montagem da armadura de distribuição contava com 2 (dois) armadores; a equipe que executava as instalações elétricas contava com um eletricista e um ajudante, e, por fim, uma equipe com 1 (um) bombeiro e 1 (um) ajudante executava as instalações hidrossanitárias

embutidas nas lajes. A concretagem demandava uma equipe composta por 2 (dois) pedreiros e 2 (dois) ajudantes.

O tempo consumido por cada equipe é resumido na Figura 4-4 abaixo, que ilustra trecho do cronograma de obra do projeto base cedido pela empresa escolhida:

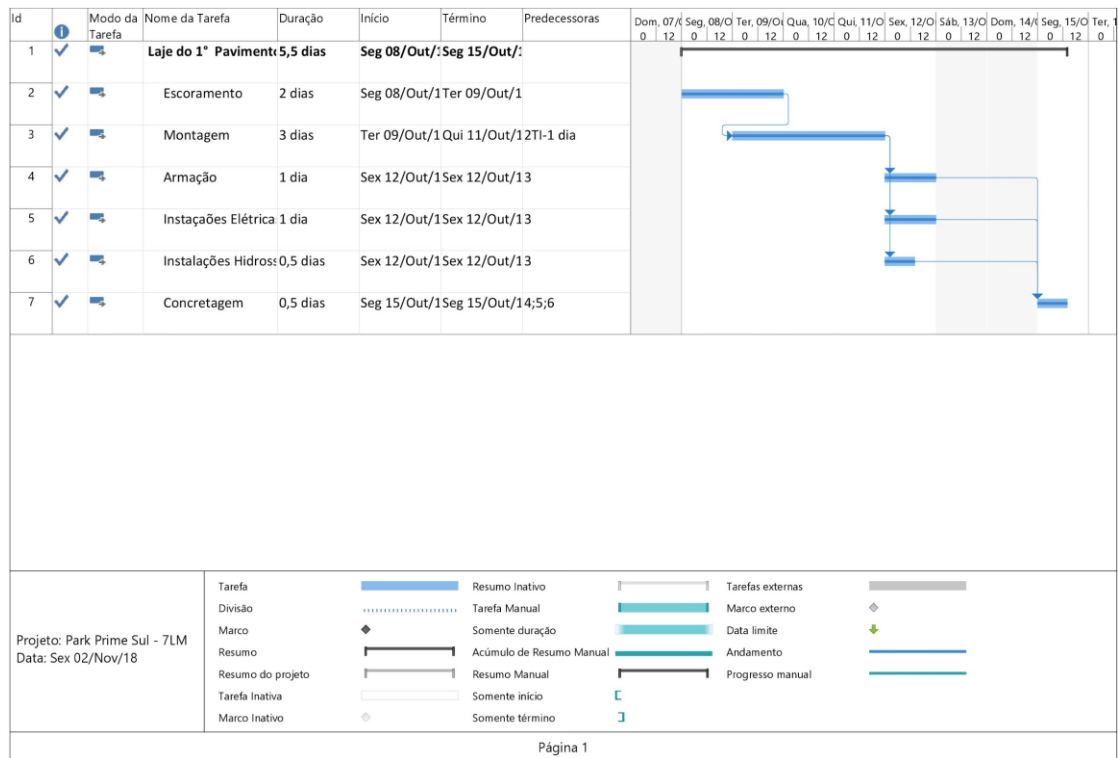


Figura 4-4: Trecho do cronograma de obra (Empresa escolhida adaptado, 2018).

Pelo acompanhamento do cronograma observa-se que a Empresa escolhida necessitou de 6 (seis) dias trabalhados para a finalização do serviço, isso porque o restante do sexto dia é necessário para o processo de pega do concreto e, apenas no sétimo dia, o próximo serviço - marcação da alvenaria - estará liberado para execução.

No caso do sistema de laje alveolar o tempo inicial é o instante em que os painéis e o guincho encontram-se disponíveis no canteiro. Uma vantagem operacional desse sistema é o fato de as instalações embutidas nas lajes já serem feitas pela fabricante dos painéis, eliminando assim serviços na obra.

As fabricantes da região informaram que não há obras com o sistema de lajes alveolares em edifícios residenciais na RIDE do DF no período de elaboração desse estudo e por isso foi utilizada uma obra no mesmo município das obras do projeto base, Formosa, para mensuração do tempo de execução.

A obra em questão é de um novo complexo militar do Exército Brasileiro sendo executado pela empresa Vento Sul Engenharia. A Vento Sul permitiu que os diários de obra fossem consultados, porém não autorizou qualquer tipo de registro dos mesmos. A partir das datas dos diários, constatou-se que do dia em que os painéis e equipamentos estavam disponíveis era necessário um dia de serviço para a montagem de cerca de 350m<sup>2</sup> de lajes alveolares em painéis de 125 cm de largura e 16 cm de espessura. Essa produtividade se dava com o auxílio de um guincho com seu operador e mais dois profissionais especializados na montagem. Levando-se em conta o tempo de execução gasto para essa tipologia o projeto base levaria apenas um dia de trabalho para ser finalizado.

Já em relação às lajes *BubbleDeck*, estas possuem o seguinte método executivo: execução de escoramento, montagem dos painéis, disposição da armação complementar, das formas laterais e concretagem. Segundo *BubbleDeck* Brasil (2018) e com adaptações necessárias para o caso deste estudo (devido às dimensões do Projeto Base), o ciclo de execução das pré-lajes é de aproximadamente 5 dias, sendo suas atividades dispostas da maneira conforme a Tabela 4-5 a seguir:

Tabela 4-5: Cronograma de atividades (Autoria própria).

		Dia				
		1	2	3	4	5
Serviço	Escoramento	x	x			
	Montagem dos painéis		x			
	Formas laterais			x		
	Infraestrutura dos projetos complementares			x	x	
	Aço complementar				x	
	Concretagem					x

De acordo com dados disponibilizados pela *BubbleDeck* Brasil referentes a uma obra já executada pela empresa, a quantidade total de pessoas necessárias para a execução de uma laje é de 23 trabalhadores, sendo eles divididos em 4 (quatro) equipes: equipe A designada para a parte das formas e composta por 2 (dois) carpinteiros e 2 (dois) ajudantes; equipe B responsável pela montagem de escoramento e assoalho, sendo composta por 3 (três) montadores, 3 (três) carpinteiros, 3 (três) ajudantes e 1 (um) encarregado de serviços; uma equipe C com 2 (dois) armadores, 2 (dois) ajudantes e 1 (um) encarregado de serviços sendo responsável pela armação complementar; e uma equipe D designada para a concretagem e composta por 2 (dois) pedreiros e 2 (dois) ajudantes. Apesar de ser uma tecnologia racionalizada, nota-se a necessidade de uma quantidade considerável de mão-de-obra para a execução total de uma laje. Vale ressaltar que

as equipes trabalham de forma dependente e raramente simultânea, possibilitando que um mesmo trabalhador exerça mais de uma função ao longo do ciclo de execução.

De posse de todos os dados previamente citados neste item (4.3.4), pode-se inferir uma maior efetividade no processo executivo das lajes alveolares. Tal efetividade é refletida pelo menor tempo de execução nos parâmetros pré-estabelecidos. Tanto as lajes *BubbleDeck* quanto as treliçadas possuem um ciclo de 5 (cinco) dias até sua finalização, não sendo o parâmetro “tempo de execução” consideravelmente favorável a nenhuma dessas duas tipologias. O ciclo de execução para cada tipologia de laje pode ser observado na Tabela 4-6 a seguir.

*Tabela 4-6: Ciclo de execução de cada tipologia de lajes (Autoria própria).*

Tipologia	Ciclo de execução
<b>Lajes Treliçadas</b>	5 dias
<b>Lajes Alveolares</b>	1 dia
<b>Lajes <i>BubbleDeck</i></b>	5 dias

#### 4.3.5. PREÇO DO METRO QUADRADO

Para a comparação do preço do metro quadrado das 3 tipologias foram realizados alguns orçamentos com fornecedores considerando os itens necessários para a implementação de cada sistema construtivo em uma laje de um pavimento com quatro unidades privativas como especificadas no projeto base. Vale ressaltar que o preço do frete foi considerado juntamente ao preço dos materiais. De posse da soma para cada sistema, dividiu-se o total encontrado pela metragem do projeto, obtendo-se o valor por metro quadrado.

Em relação às lajes alveolares, a Empresa MOLD foi a selecionada para realizar o orçamento (vide item 4.3.2.). Para as lajes *BubbleDeck*, foi realizado orçamento diretamente com a *BubbleDeck* Brasília e, em relação às lajes treliçadas, a empresa 7 LM disponibilizou os dados das 3 fornecedoras que eles mais costumam negociar e optou-se pelo menor preço para efeito comparativo, escolhendo-se a Mega Lajes. A Tabela 4-7 a seguir mostra uma estimativa resumida do valor dos serviços realizado para cada tipologia estudada.

*Tabela 4-7: Tabela resumo de custos aferidos em 09/2018 (Autoria própria).*

Tipologia	Serviços	Materiais	Total
<b>Lajes Treliçadas</b>	R\$ 17,13	R\$ 74,17	R\$ 91,31
<b>Lajes Alveolares</b>	R\$ 28,08	R\$ 145,13	R\$ 173,21
<b>Lajes <i>BubbleDeck</i></b>	R\$ 43,36	R\$ 224,15	R\$ 267,51

Para a composição do preço por metro quadrado da Tabela 4-7 acima citada foram considerados serviços e materiais. Para as lajes treliçadas, serviços englobam: cimbramento, posicionamento das treliças e elementos de enchimento, preparação das instalações elétricas, telefônicas e SPDA, preparação das instalações hidrossanitárias e pluviais e concretagem; para as lajes alveolares, os serviços compreendidos são: posicionamento dos painéis alveolares e uso de guincho para seu içamento; para as lajes *BubbleDeck*: escoramento, montagem dos painéis e das formas laterais, disposição da infraestrutura dos projetos complementares, montagem da armação complementar, uso de guincho ou grua para seu içamento e concretagem.

Segundo *BubbleDeck* Brasil (2018), para cargas de até 370 kgf/m<sup>2</sup>, indica-se o uso das pré-lajes do tipo BD230. Ainda, de acordo com Filho et al. (2017), a espessura das pré-lajes *BubbleDeck* selecionadas - BD230 - é considerada grande para vãos de 1,60m a 5m (vãos do Projeto Base), fazendo com que o consumo de aço e de concreto seja excessivo para as necessidades do projeto, o que gera um grande impacto nos custos de utilização de tal tipologia.

Pode-se notar que, em relação aos serviços, as lajes treliçadas possuem vantagem frente às lajes alveolares e *BubbleDeck*. Apesar de as lajes alveolares necessitarem de um menor número de serviços para sua implementação - dispensam o uso de formas, já vêm preparadas para o recebimento de instalações e não necessitam de concretagem - a mão de obra empregada necessita ser mais qualificada (conforme anteriormente citado no item 4.3.1.), o que gera uma considerável desvantagem. No que tange aos materiais, as lajes treliçadas possuem grande vantagem sobre os sistemas não convencionais, pois a produção das treliças requer menor grau de complexidade e gera, conseqüentemente, um menor valor agregado ao elemento pré-fabricado. Sendo assim, a laje treliçada logra-se vencedora da comparação que envolve preços, possuindo ampla vantagem tanto em relação às lajes alveolares quanto às *BubbleDeck*.

#### **4.3.6. MATRIZ COMPARATIVA PONDERADA**

O primeiro passo para elaboração da matriz comparativa é definir a relevância de cada parâmetro a ser analisado. Para tal, foi elaborada e veiculada uma pesquisa onde era questionado o grau de importância de 1 a 4, sendo 1 - “Não relevante”, 2 - “Indiferente”, 3 - “Relevante”, 4 - “Extremamente relevante”. As respostas foram filtradas para que apenas aquelas de profissionais com cargos estratégicos nas empresas fossem consideradas, chegando-se a um total de 25 respostas válidas. Após o tratamento das respostas, foi calculado seu valor médio ponderado, multiplicando o número de respostas pelo respectivo grau de relevância e dividindo-se pelo número de respostas (25), que será utilizado como fator de ponderação na matriz comparativa e pode ser observado na Tabela 4-8 abaixo:



Tabela 4-8: Resumo de notas do questionário e fator de ponderação (Autoria própria).

	Oferta de mão de obra qualificada	Quantidade de fornecedores	Necessidade de equipamentos especiais	Tempo de execução	Preço do metro quadrado
Número absoluto de respostas 1	1	0	1	0	0
Número absoluto de respostas 2	2	2	4	0	0
Número absoluto de respostas 3	15	12	10	10	3
Número absoluto de respostas 4	7	11	10	15	22
Fator de ponderação	3,12	3,36	3,16	3,60	3,88

A matriz comparativa terá suas colunas compostas pelas 5 características citadas no item 3.3 - quantidade de fornecedores, oferta de mão-de-obra qualificada, necessidade de equipamentos especiais, tempo de execução e preço do metro quadrado. Já as linhas conterão as tipologias de lajes objeto deste estudo (Alveolar, *BubbleDeck* e Treliçadas). Cada célula da matriz receberá um valor de 1 a 3, sendo 1 a nota da tipologia que se mostrou mais desfavorável a determinado parâmetro, 2 uma nota intermediária e 3 a nota do sistema de lajes mais vantajoso para cada característica em questão, de acordo com o que foi observado nos itens de 4.3.1 a 4.3.5. Tabela 4-9 a seguir contém as notas discriminadas das três tipologias em questão.

Tabela 4-9: Matriz comparativa entre sistemas (Autoria própria)

	Oferta de mão de obra qualificada	Quantidade de fornecedores	Necessidade de equipamentos especiais	Tempo de execução	Preço do metro quadrado
<b>Alveolar</b>	2	2	2	3	2
<b><i>BubbleDeck</i></b>	1	2	2	2	1
<b>Treliçada</b>	3	3	3	1	3

Percebe-se que no quesito “oferta de mão de obra qualificada” a tipologia treliçada é a mais vantajosa por ser mais conhecida no mercado e os executores estarem mais acostumados a executá-la. As lajes alveolares possuem nota ligeiramente superior às *BubbleDeck* por não necessitarem de concretagem, fato este que diminui a probabilidade de ocorrerem erros em seu processo de execução.

No que tange à quantidade de fornecedores, tanto as lajes alveolares quanto as *BubbleDeck* foram as que receberam piores notas – nota 2 – visto que para as alveolares, na RIDE do Distrito Federal foi encontrada apenas 1 fornecedora, além de ter sido encontrada uma empresa que trabalha com painéis alveolares protendidos na cidade de Goiânia-GO; já as lajes *BubbleDeck* possuem apenas uma fornecedora pelo fato de ser uma tipologia com patente ainda vigente, conforme foi explicado no item 4.3.2. A laje treliçada recebeu nota 3 por ser difundida no mercado brasileiro e ter sido encontrada em todas as empresas pesquisadas.

Quando comparamos a necessidade de uso de equipamentos especiais para cada tipologia, a que se apresenta de forma mais favorável é a treliçada, por não necessitar de guincho para seu içamento. Por ser utilizado o mesmo equipamento para realizar o içamento dos componentes das tipologias não convencionais, foi atribuída a mesma nota para ambas, fazendo com que este quesito não fosse mais ou menos vantajoso para elas e caracterizando um empate - nota 2.

O fato de as tipologias Alveolar e *BubbleDeck* serem mais racionalizadas e possuírem maior produtividade - conforme visto no item 4.3.4 - afeta diretamente no tempo de execução, refletindo nas notas da quarta coluna da matriz: os sistemas *BubbleDeck* e Alveolar requerem menor tempo para sua execução. Já o sistema tradicional necessita de um tempo maior para sua conclusão.

Sendo o custo um dos parâmetros mais decisivos no ramo da Engenharia, a quinta característica foi mais favorável ao sistema de lajes treliçadas. Os produtos dos sistemas não tradicionais possuem elevado valor agregado - como visto no item 4.3.5 - o que reflete em grande desvantagem para eles.

Pode-se observar na Tabela 4-10 as somas ponderadas das notas de cada tipologia, as quais dirão qual o mais favorável entre os sistemas estudados após a análise de todos os parâmetros. O valor de cada célula é obtido através da multiplicação da célula correspondente da Tabela 4-9 com o fato de ponderação da Tabela 4-8.

Tabela 4-10: Resultado da soma ponderada dos sistemas (Autoria própria).

	Oferta de mão de obra qualificada	Quantidade de fornecedores	Necessidade de equipamentos especiais	Tempo de execução	Preço do m <sup>2</sup>	SOMA PONDERADA
<b>Alveolar</b>	6,24	6,72	6,32	10,80	7,76	37,84
<b>BubbleDeck</b>	3,12	6,72	6,32	7,20	3,88	27,24
<b>Treliçada</b>	9,36	10,08	9,48	3,60	11,64	44,19

Em resumo, percebe-se que a tipologia tradicional possui vantagem de 6,35 pontos frente ao sistema alveolar e de 16,95 pontos ao *BubbleDeck*, sendo vencedora em 4 das 5 características pertinentes escolhidas para serem comparadas. Dessa maneira, os dados sugerem que empresas que executam projetos com as mesmas características do Projeto Padrão devem optar por executar lajes treliçadas em seus empreendimentos, não sendo viável para a empresa escolhida a substituição do seu sistema tradicional. Vale ressaltar também que a comparação com as lajes *BubbleDeck* teve cunho apenas comercial, uma vez que suas características impedem uma comparação técnica com os outros dois sistemas. A capacidade portante da modulação comercial com menor espessura da laje *BubbleDeck* é muito superior que a das outras.

#### 4.4. ANÁLISE DE MERCADO DOS SISTEMAS

Como nenhum dos sistemas não convencionais oferece vantagem na substituição do sistema tradicional, será realizada uma análise de mercado do sistema de lajes treliçadas, conforme observado no item 3.4, focando em identificar possíveis disparidades entre o que é realizado na empresa escolhida e em outra empresa que atua mesmo ramo, com embasamento em dados obtidos no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil).

Conforme visto anteriormente na Tabela 4-7 do item 4.3.5, observaram-se os custos na forma sintética, discriminando apenas os valores globais de mão de obra e materiais. Como base para futuras comparações, a Empresa escolhida forneceu suas tabelas analíticas de custos, as quais encontram-se representadas a seguir.

Tabela 4-11: Orçamento analítico dos serviços (Empresa escolhida adaptado, 2018).

Serviço	Unidade	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
Cimbramento	m <sup>2</sup>	R\$ 3,56	R\$ 3,56
Montagem da laje	m <sup>2</sup>	R\$ 3,56	R\$ 3,56
Instalações Elétricas, Telefônicas, Antena e SPDA	unidade habitacional	R\$ 100,00	R\$ 1,78
Instalações Hidrossanitárias e Pluviais	unidade habitacional	R\$ 70,00	R\$ 1,24
Concretagem	m <sup>2</sup>	R\$ 7,00	R\$ 7,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 17,13</b>

A Tabela 4-11 acima discrimina a divisão de etapas de serviços contratadas pela empresa escolhida e seus respectivos preços. Vale ressaltar que o termo “unidade habitacional” se refere à toda região de uma unidade tipo de 56,25m<sup>2</sup>.

Tabela 4-12: Orçamento analítico dos insumos (Empresa escolhida adaptado, 2018).

Insumo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
Treliças H-8 c/ ferro adicional	m	574,5	R\$ 6,50	R\$ 15,20
Lajota Cerâmica H-8	unidade	2000	R\$ 1,00	R\$ 8,14
Vergalhão CA 50 Ø 5 mm NBR 7480	barra	128	R\$ 7,50	R\$ 3,91
Arame Recozido nº 18	kg	8	R\$ 6,90	R\$ 0,22
Pau de Escora c/ 3m	unidade	192	R\$ 3,50	R\$ 2,73
Tábua 30cm c/ 3m	unidade	60	R\$ 15,00	R\$ 3,66
Tábua 20cm c/ 3m	unidade	120	R\$ 11,01	R\$ 5,38

Tábua 10cm c/ 3m	unidade	240	R\$ 5,55	R\$ 5,42
Prego de Aço 17x21	kg	4	R\$ 21,16	R\$ 0,34
Prego 17x27	kg	8	R\$ 5,70	R\$ 0,19
Prego 17x21	kg	8	R\$ 5,70	R\$ 0,19
Disco de serra p/ madeira 110mm	unidade	4	R\$ 10,50	R\$ 0,17
Caixa de Luz FMD 10cm	unidade	20	R\$ 2,30	R\$ 0,19
Fita Isolante c/ 20m	rolo	8	R\$ 3,20	R\$ 0,10
Luva de eletroduto corrugado 25mm	unidade	100	R\$ 0,28	R\$ 0,11
Eletroduto Corrugado Amarelo 25mm c/ 50m	rolo	12	R\$ 38,00	R\$ 1,86
Concreto Fck 25MPa - Slump 10cm - Brita ≤ 12,5mm	m <sup>3</sup>	24	R\$ 270,00	R\$ 26,37
<b>Total</b>				<b>R\$ 74,17</b>

Já a Tabela 4-12 anteriormente citada mostra a composição dos insumos de forma bastante detalhada, discriminando todos os materiais utilizados para a execução do sistema de lajes treliçadas, com a unidade e preço unitário de cada item listados e o somatório final.

De maneira a possibilitar a análise comparativa, buscou-se contato com as principais empresas que atuam no ramo de habitações populares na RIDE do Distrito Federal, dentre as quais podem ser citadas: Abreu & Ramos, Bela Mares, Direcional, FOCO Engenharia, Gois Engenharia, MRV e Villa Empreendimentos Imobiliários. A partir de contato telefônico, buscou-se entender qual tipologia de lajes era utilizada em cada uma das empresas, de modo que a comparação fosse a mais adequada e aplicável possível. Das construtoras pesquisadas, as únicas que fazem o uso do sistema treliçado são a Abreu & Ramos, Bela Mares e Villa Empreendimentos, sendo que todas as outras utilizam o sistema de lajes maciças. Elegeu-se, então, a empresa Villa Empreendimentos Imobiliários para ser também alvo da análise deste estudo, a qual será denominada “empresa concorrente” ao longo deste. A empresa em questão

também é uma construtora que atua no ramo das habitações populares e que possui empreendimentos em localidade similar à da 7 LM, atuando neste ramo desde 2015. Os dados disponibilizados pela empresa concorrente servem como referência de valor de mercado para fins comparativos.

Foram disponibilizados pela Villa os seguintes dados de serviços contemplados pela Tabela 4-13 a seguir:

*Tabela 4-13: Orçamento analítico dos serviços (Empresa concorrente adaptado, 2018).*

Serviço	Unidade	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
Serviço global	verba	R\$ 5.000,00	R\$ 29,91
<b>Total</b>			<b>R\$ 29,91</b>

Nota-se que a empresa concorrente contabiliza o serviço como sendo global, resultando no valor do metro quadrado de R\$29,91. Por “serviços globais” entende-se todo o processo de execução da laje treliçada, compreendendo serviços de cimbramento, montagem das treliças, preparação para os projetos complementares e concretagem.

De uma maneira geral, percebe-se que a empresa escolhida contrata serviços de maneira mais segmentada do que sua concorrente, possibilitando um maior poder de negociação com os prestadores de serviço, o que resulta em um valor final menor que o desta, demonstrando competitividade no mercado.

Em relação aos insumos, observa-se o seguinte detalhamento de custos representado na Tabela 4-14 a seguir:

*Tabela 4-14: Orçamento analítico dos insumos (Empresa concorrente adaptado, 2018).*

Insumo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
Treliças H-8 c/ ferro adicional	m	286,6	R\$ 6,51	R\$ 16,74
EPS 7,5x33x100 cm	vb	1	R\$1.031,38	R\$ 9,26
Vergalhão CA 50 Ø 5 mm NBR 7480	barra	64	R\$ 7,50	R\$ 4,31
Arame Recozido nº 18	kg	6	R\$ 6,90	R\$ 0,37

Pau de Escora c/ 3m	unidade	96	R\$ 3,50	R\$ 3,02
Tábua 20cm	m	252	R\$ 3,67	R\$ 8,30
Tábua 10cm	m	330	R\$ 1,85	R\$ 5,48
Prego 17x27	kg	4	R\$ 5,70	R\$ 0,20
Prego 17x21	kg	4	R\$ 5,70	R\$ 0,20
Caixa de Luz FMD 10cm	unidade	10	R\$ 2,30	R\$ 0,21
Fita Isolante c/ 20m	rolo	4	R\$ 3,20	R\$ 0,11
Luva de eletroduto corrugado 25mm	unidade	50	R\$ 0,28	R\$ 0,13
Eletroduto Corrugado Amarelo 25mm	m	200	R\$ 0,76	R\$ 1,36
Concreto Fck 25MPa - Slump 10cm - Brita ≤ 12,5mm	m <sup>3</sup>	12	R\$ 250,00	R\$ 26,92
<b>Total</b>				<b>R\$ 76,62</b>

Percebe-se que, apesar de terem sido feitas adaptações de maneira a facilitar a comparação entre as empresas, há discrepância natural de alguns serviços e insumos por serem empresas diferentes. A empresa concorrente costuma utilizar em suas obras o enchimento de EPS, e possui menor grau de detalhamento dos insumos; já a empresa escolhida trabalha com enchimento cerâmico. O valor total final dos insumos das duas empresas é similar, sendo maior para a Villa e divergindo em apenas R\$2,44/m<sup>2</sup>.

Em relação aos serviços e insumos necessários para a execução do serviço de lajes treliçadas, o SINAPI disponibiliza os dados da seguinte Tabela 4-15:

Tabela 4-15: Orçamento analítico dos serviços (SINAPI 09/2018 Não Desonerado adaptado, 2018).

Código do Item	Serviço	Unidade	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	R\$ 16,72	R\$ 2,67

88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	R\$ 19,99	R\$ 3,19
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	R\$ 20,11	R\$ 8,04
88316	Servente com encargos complementares	h	R\$ 14,61	R\$ 6,42
	<b>Total</b>			<b>R\$ 20,32</b>

Pode-se notar que os valores dos serviços encontrados no SINAPI mostram-se pouco superiores àqueles encontrados na Tabela 4-11. Uma possível causa para tal seria a maneira de precificação do SINAPI, vinculada à origem do preço de cada serviço, que se dá por meio do coeficiente de representatividade - metodologia de família homogênea adotada no SINAPI.

A Tabela 4-16 a seguir contém os insumos de maneira discriminada.

*Tabela 4-16: Orçamento analítico dos insumos (SINAPI 09/2018 Não Desonerado adaptado, 2018).*

Código do Item	Insumos	Unidade	Coeficiente	Valor Unitário	Preço por m <sup>2</sup>
39	Aço ca-60, 5,0 mm, vergalhão	kg	0,471	R\$ 5,19	R\$ 2,44
3743	Laje pré-moldada convencional (lajotas + vigotas) para piso, unidirecional, sobrecarga de 200 kg/m <sup>2</sup> , vão até 3,50m (sem colocação)	m <sup>2</sup>	1	R\$ 29,55	R\$ 29,55
4491	Pontalete de madeira não aparelhada *7,5 x 7,5* cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,29	R\$ 3,51	R\$ 1,01
5061	Prego de aço polido com cabeça 18 x 27 (2 1/2 x 10)	kg	0,03	R\$ 10,13	R\$ 0,30
6189	Tábua de madeira não aparelhada *2,5 x 30* cm, cedrinho ou equivalente da região	m	0,17	R\$ 13,89	R\$ 2,36
94970	Concreto fck = 20MPa, traço 1:2,7:3 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 600 l. Af_07/2016	m <sup>3</sup>	0,043	R\$ 25,50	R\$ 1,09



92874	Lançamento com uso de bomba, adensamento e acabamento de concreto em estruturas. Af_12/2015	m <sup>3</sup>	0,043	R\$ 302,27	R\$ 12,99
	<b>Total</b>				<b>R\$ 49,74</b>

Já em relação ao preço total dos insumos presentes no SINAPI, nota-se uma divergência maior quando este é comparado ao valor total da empresa escolhida. A discrepância chega a R\$ 24,43 e pode ser explicada pelo coeficiente adotado pelo SINAPI, representando um consumo de 0,043m<sup>3</sup> de concreto por m<sup>2</sup> de laje, o que não considera perdas durante a execução ou transporte. No caso da empresa escolhida, o consumo considerado é de 0,098m<sup>3</sup> de concreto por m<sup>2</sup> de laje. Levando-se em consideração que o preço do metro cúbico do concreto causa um grande impacto no valor total dos insumos, uma diferença de 127,91% a mais de consumo pela empresa escolhida acarreta em aumento de R\$ 14,85/m<sup>2</sup>, explicando em parte a discrepância de valor.

Tendo em vista as informações apresentadas anteriormente neste tópico, percebe-se que a empresa escolhida se encontra bem posicionada no mercado quanto às contratações de serviços, uma vez que o valor praticado por ela está inferior ao de uma de suas concorrentes e ligeiramente menor do que é referenciado no SINAPI. Entretanto, no quesito aquisição de insumos para execução dos serviços, ela possui ligeira desvantagem de mercado quando em comparação com o SINAPI, mesmo seu valor total ainda sendo inferior ao observado na empresa Villa. Pode-se inferir isto pois seu valor total dos insumos é superior ao observado nas planilhas do SINAPI, o qual espelha um valor médio praticado no Brasil.

#### **4.5. ANÁLISE CRÍTICA**

Conforme mencionado anteriormente no item 3.5 e tendo em vista que nenhuma das tipologias não convencionais mostrou-se vantajosa o suficiente para substituir a utilização do sistema tradicional, o foco da análise será evidenciar diretrizes para melhorar o que vem sendo feito na empresa escolhida, visando a busca de uma maior eficiência na execução das lajes treliçadas. Além disso, serão propostas alternativas que possam beneficiar a construtora e possibilitar uma maior competitividade a ela no mercado de habitações populares.

Foi observado no item 4.4 que há uma divergência considerável entre o valor total dos insumos da empresa escolhida e o que é disponibilizado na tabela de insumos do SINAPI. Tal diferença totaliza R\$ 24,43/m<sup>2</sup>, sendo que, deste valor, aproximadamente R\$ 14,85/m<sup>2</sup> se devem

à discrepância do consumo de concreto levantado na etapa de planejamento e orçamento. O montante restante (R\$ 9,58/m<sup>2</sup>) tem grande relevância quando se contabiliza a área total dos empreendimentos, refletindo em um gasto a mais de aproximadamente R\$ 540,00 por unidade habitacional construída. Levando-se em conta que os edifícios de habitações populares da empresa escolhida são compostos por 16 unidades habitacionais, o valor gasto a mais por empreendimento é de R\$ 8.640,00.

Para eliminação dessa margem a fim de reduzir custos, a empresa deve desenvolver melhor seus processos de compra, que pode ser feito através do aumentando da quantidade de fornecedores para tomada de preço ou negociação de maiores volumes de compras, pois a mesma adquire os insumos a preços superiores à média dita pelo SINAPI. Essa economia, de acordo com Pólito (2015), pode e deve ser usada seguindo os princípios de *Lean Construction* – Produção Enxuta – o qual busca a geração de valor para o cliente final, reduzindo gastos nas cadeias de menor valor agregado. Compreendendo isso, a empresa pode gerar mais valor ao seu produto, destinando o montante dessa economia a processos de maior valor agregado ao cliente.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo analisou a viabilidade de adoção de um sistema dito não convencional em substituição do sistema de lajes tradicionalmente utilizado em habitações de interesse social. Foram estudadas duas alternativas, visando oferecer vantagens que consistem principalmente no aprimoramento do processo executivo, ganho de eficiência e diminuição de custos do que é executado atualmente em diversas empresas do ramo. Concluiu-se que, em grande parte, os objetivos específicos foram alcançados.

Primeiramente foram caracterizados tanto o sistema de lajes convencional - lajes treliçadas - quanto os não-convencionais – painel alveolar protendido e *BubbleDeck*. Realizou-se um breve histórico de cada tipologia, foram abordadas suas características técnicas com embasamento em bibliografias de assuntos correlatos, especificou-se seus métodos construtivos - contemplando seus elementos e maneiras de execução; além de ter sido falado sobre o desempenho esperado de cada sistema, compreendendo a ABNT NBR 15.575, e sobre as diretrizes para elaboração de seus respectivos projetos. Com isso, foi possível caracterizar tecnicamente as lajes tradicional e as não-convencionais, o que serviu de dado para as análises comparativas foco deste estudo.

Em relação à avaliação técnica e operacional, uma comparação abrangendo os quesitos projetos, insumos requeridos, mão de obra necessária, tempo de execução e preço do metro quadrado foi realizada. As lajes treliçadas mostraram possuir vantagem em relação a 4 das 5 características, possuindo desvantagem apenas no tempo de execução. As lajes alveolares se sobressaíram neste quesito devido ao fato de necessitar de apenas 1 dia para a sua execução frente aos 5 dias das duas outras tipologias. Já as lajes *BubbleDeck* não se mostraram vantajosas em uma possível implementação, possuindo desvantagem tanto em relação às treliçadas quanto às alveolares. O preço foi, como esperado, o parâmetro com maior fator de ponderação (fator este oriundo da pesquisa realizada), tendo influenciado negativamente a nota final das lajes não convencionais.

A análise de mercado verificou a posição da empresa participante da pesquisa perante o mercado. Foi constatado, a partir dos dados fornecidos pela empresa, que, regionalmente, ela encontra-se bem posicionada, tendo melhor condições comerciais e operacionais que seus concorrentes. Porém, quando analisada junto ao SINAPI, observou-se que tal empresa pode melhorar, ainda, seu processo de compras de insumos, de modo a alcançar valores mais próximos aos aferidos pelo sistema da Caixa. Constatou-se que a economia gerada por tal

melhoria pode refletir em uma maior margem de lucro para a construtora, mantendo o mesmo valor agregado ao produto.

Em geral, a análise entre os 3 sistemas de lajes propostos demonstrou que as lajes treliçadas ainda são as mais viáveis na execução de empreendimentos com padrão popular na RIDE do Distrito Federal e de empresas que se enquadram nos requisitos deste estudo. As tipologias não convencionais, apesar de serem compatíveis com os demais sistemas construtivos, não se apresentam como viáveis na substituição do modelo tradicional. No entanto, o estudo de caso apontou uma possível melhoria no tangente a economia no processo executivo da empresa selecionada, evidenciando que a construtora pode obter ainda mais vantagens se melhorar o processo de aquisição dos insumos das lajes treliçadas que pode ser feito através da cotação em uma variedade maior de fornecedores e de compras com maior volume aumentando assim seu poder de barganha.

## **5.1.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Trabalhos futuros que sejam correlatos ao tema do presente estudo podem ser desenvolvidos com foco nos seguintes assuntos:

- Recorrência de patologias e o impacto dos custos de reparo para cada tipologia apresentada;
- Adaptações mínimas necessárias no projeto base de maneira a viabilizar a implementação das tipologias não convencionais.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, C. A. M. Contribuições para Projeto de Lajes Alveolares Protendidas. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011;
- ARCELORMITTAL. “Manual Técnico de Lajes Treliçadas.” Julho de 2010;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014;
- \_\_\_\_\_. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017;
- \_\_\_\_\_. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001;
- \_\_\_\_\_. NBR 14861: Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013;
- \_\_\_\_\_. NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2001;
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013;
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013;
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013;
- \_\_\_\_\_. NBR 7197: Projeto de estruturas de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1989;
- ASSOCIAZIONE PRODUTTORI DI SOLAI ALVEOLARI PRECOMPRESSI. Manual: “The Hollow Core Floor Design and Applications”. Verona: ASSAP, 2002;
- BRUMATTI, D. O. Uso de Pré-Moldados – Estudo de Viabilidade. Monografia de Especialista na Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- Bubbledeck Brasil LTDA. Sistema e Método para Produção de uma Laje de Concreto Biaxial, Homogênea e Auto-sustentável. INPI Brasil Patente BR 10 2013 030143-4 A2, 14/10/2014.
- BubbleDeck UK. Two-Way Hollow Deck. Disponível em: <http://bubbledeck-uk.com/pdf/BDOverview9-03.pdf>. Acesso em 08 de novembro de 2018;
- BubbleDeck Internacional. BubbleDeck Design Guide. Disponível em: [http://bubbledeck.com/download/BD\\_INT\\_DesignGuide.pdf](http://bubbledeck.com/download/BD_INT_DesignGuide.pdf). Acesso em 15 de maio de 2018;

- BubbleDeck Internacional. BubbleDeck Presentation. Disponível em: [http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck\\_Presentation.pdf](http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck_Presentation.pdf). Acesso em 15 de maio de 2018;
- CAIO, F. Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas treliçadas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, 2014;
- CAMACHO, J. S. Curso de Concreto Armado segundo a NBR 6118:2003: Estudo das lajes. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Engenharia Civil, 2004;
- CARVALHO, R. C. E FILHO, J. R. F. Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado: Volume 1. São Carlos: EDUSCar, 2014;
- CARVALHO, R. C. E PINHEIRO, L. M. Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado: Volume 2. São Paulo: Pini, 2009;
- CASONATO, C. A. et al. Efeito de altas temperaturas no concreto. Seminário de Patologias das Edificações. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2004.
- CATOIA, B. Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em região fissurada por flexão. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011;
- CICHINELLI, G. C. Lajes ampliadas. Revista Técnica, São Paulo: Pini, ano 16, n. 132, p.32-36, mar. 2008.
- Clube do Concreto. História da Protensão. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/09/historia-da-protensao.html>. Acesso em 18 de abril de 2018;
- Clube do Concreto. Produção de laje alveolar. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/09/producao-de-laje-alveolar-1.html>. Acesso em 18 de abril 2018;
- Concreta Engenharia. Principais Características e Vantagens das Lajes Alveolares. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/laje-alveolar-conheca-as-principais-caracteristicas-e-vantagens/>. Acesso em 21 de maio de 2018;
- DINGES, T. The History of Prestressed Concrete: 1888 to 1963. Master of Science, Kansas State University, Department of Architectural Engineering and Construction Science, Manhattan, 2009;
- DI PIETRO, J. E. Projeto, execução e produção de lajes com vigotes pré-moldados de concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993;
- DORNELES, D. M. Lajes na construção civil brasileira: estudo de caso em edifício residencial em Santa Maria -RS. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2014.

- EL DEBS, M. K. Concreto Pré-Moldado: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC- USP, 2000.
- FARIA, M. P. Estruturas para Edifícios em Concreto Armado: Análise Comparativa de Soluções com Lajes Convencionais, Lisas e Nervuradas. Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- FLÓRIO, M. C. Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2004;
- FREIRE, T. C. Estudo Comparativo Para Lajes Cogumelo Utilizando As Tecnologias “BubbleDeck” E Atex. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009;
- FREITAS, C. A. C. de. Sistemas Construtivos para Habitações Populares. Monografia de especialização da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010;
- GUEDES, N. D. E ANDRADE, R. L. Avaliação de Desempenho de Estruturas Utilizando Lajes do Tipo BubbleDeck. Monografia de Projeto Final – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2015.
- KALIL, R. M. L. Tecnologias Construtivas não-convencionais: Incidência na Atuação dos Agentes Intervenientes nos Processos de Edificação. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1983;
- LIMA, H. J. N. de. Análise Experimental da Punção de Lajes Lisas Tipo BubbleDeck. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2015.
- LIMA, M. P. de S. Tecnologia Bubbledeck: Uma abordagem de sua execução e aplicabilidade quando comparada a laje Steel Deck. Projeto de Graduação – Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017;
- MPFA Leipzig e. V. German Test Certificate No. P-SAC 02/IV-065 “Fire Resistance Rating and Sound Proofing Test”. Alemanha, 2001.
- NIELSEN, M. P. Technical Report AEC Consulting Engineers Ltd. Technical University of Denmark, 2004
- Nordimpianti Concrete Experience. Lajes Alveolares. Disponível em: <https://www.nordimpianti.com/Elementos-de-Concreto/Lajes-Alveolares>. Acesso em 22 de maio de 2018;
- ODEBRECHT INFRAESTRUTURA E VIA ENGENHARIA. “Relatório de Implantação do Sistema Estrutural Bubbledeck na Obra do CADF”, 2014.
- PETRUCCELLI, N. S. Considerações sobre Projeto e Fabricação de Lajes Alveolares Protendidas. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2009;

- POLITO, G.. Gerenciamento de obras: Boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade. São Paulo: Pini, 2015;
- RUBIN, G. R. E BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. Artigo da Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Salta Maria, 2014;
- SEGURADO, J. E. DOS S. Cimento Armado. Biblioteca de Instrução Profissional, Livrarias Aillaud e Bertrand, Lisboa, 1947;
- SENDEN, H. O. T. Sistemas Construtivos em Concreto Pré-Moldado. Projeto de Graduação – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015;
- SILUK, A. R. et al. Experiências sobre a implementação da filosofia lean em uma obra de condomínio horizontal de interesse social em Santa Maria – RS. Revista ESPACIOS, v. 36, n. 16, junho, 2015.
- SILVA, W. V. da. Análise Experimental do Comportamento à Flexão e Ligação entre Painéis de Lajes Tipo BubbleDeck. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2016.
- SILVA, Y. M. DE O. Estudo Comparativo Entre Lajes “Bubbledeck” e Lajes Lisas. Projeto de Graduação – Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011;
- SPOHR, V. H. Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.



## ANEXO A

### PESQUISA PARA PONDERAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DAS LAJES

#### Empresa

25 respostas

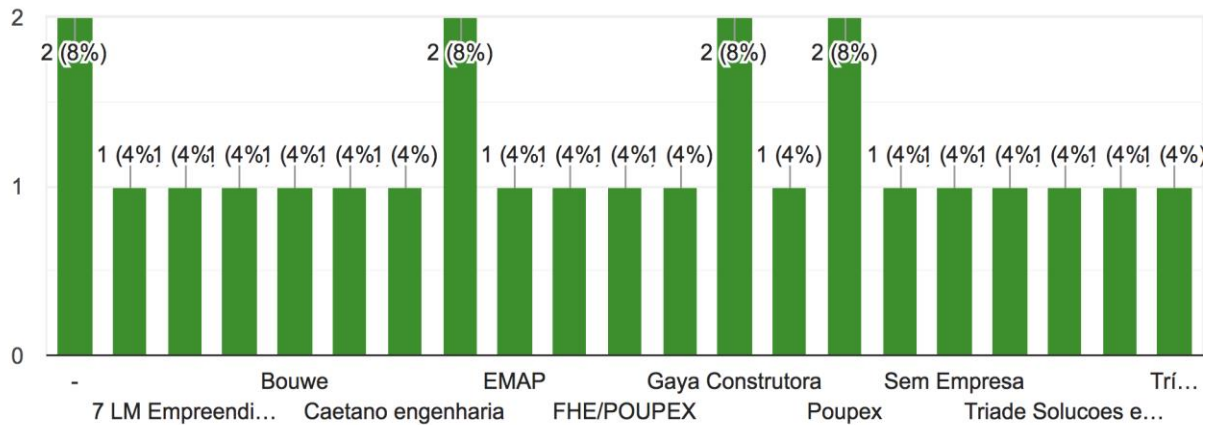


Gráfico em barras da distribuição do local de trabalho dos entrevistados

#### Cargo

25 respostas

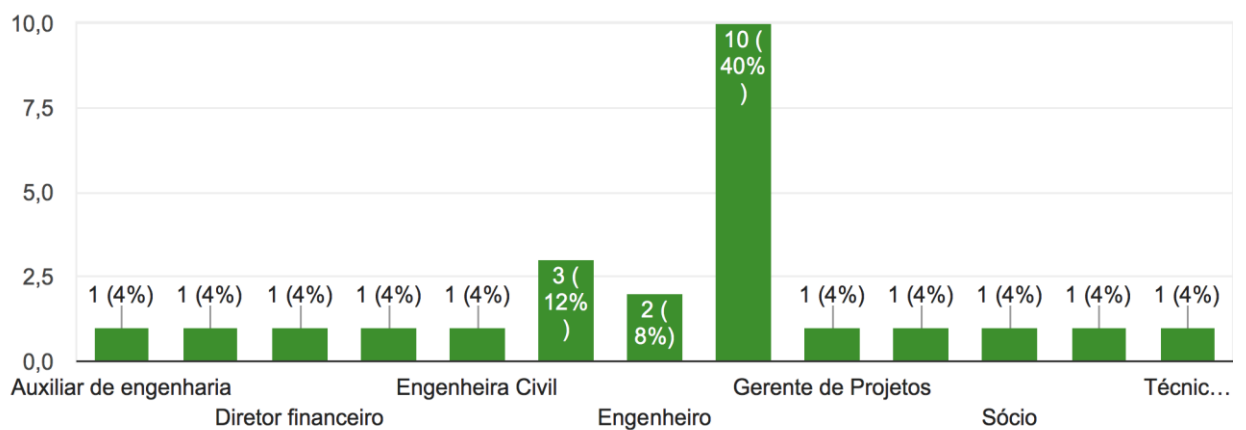
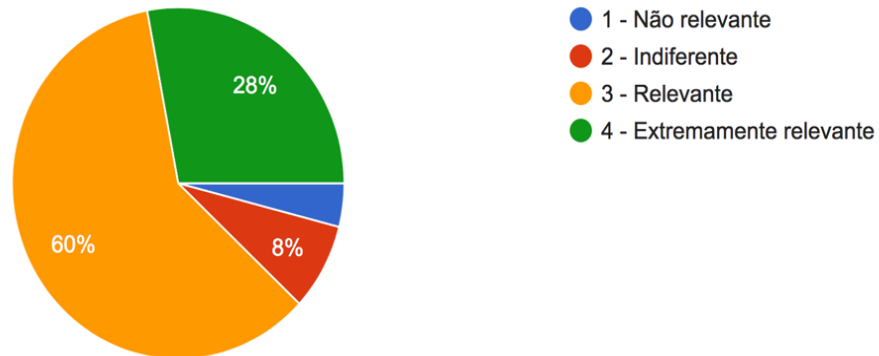


Gráfico em barras da distribuição dos cargos dos entrevistados

Na sua percepção, qual o grau de relevância da "quantidade de fornecedores" na escolha da tipologia da laje?

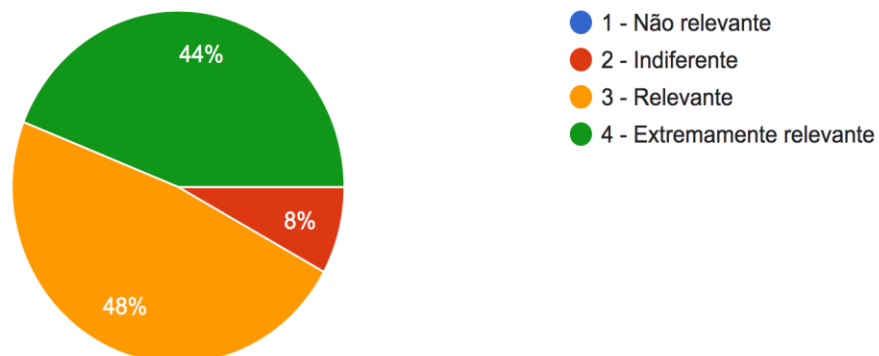
25 respostas



Distribuição do grau de relevância do parâmetro "quantidade de fornecedores"

Na sua percepção, qual o grau de relevância da "oferta de mão de obra qualificada" na escolha da tipologia da laje?

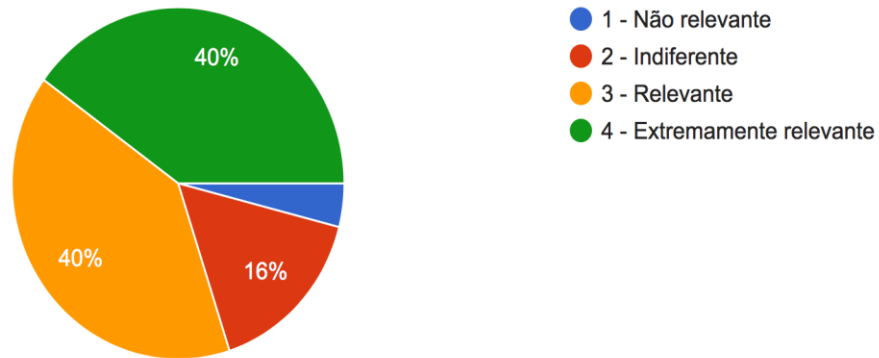
25 respostas



Distribuição do grau de relevância do parâmetro "oferta de mão de obra qualificada"

Na sua percepção, qual o grau de relevância da "necessidade de equipamentos especiais" na escolha da tipologia da laje?

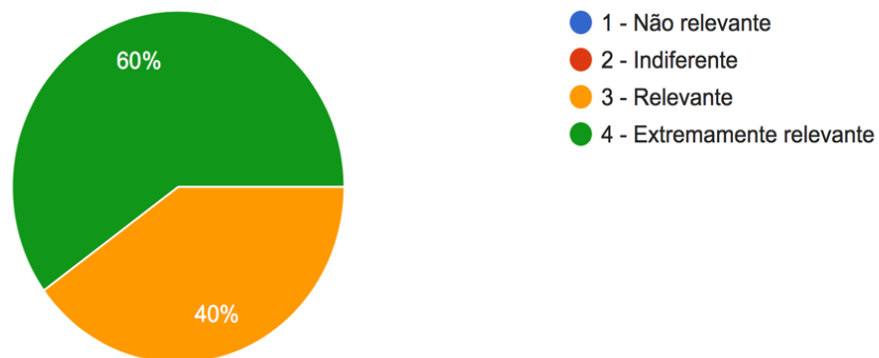
25 respostas



Distribuição do grau de relevância do parâmetro "necessidade de equipamentos especiais"

Na sua percepção, qual o grau de relevância do "tempo de execução" na escolha da tipologia da laje?

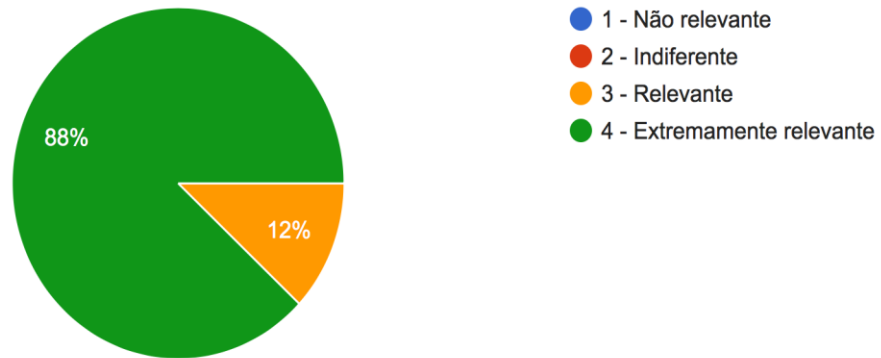
25 respostas



Distribuição do grau de relevância do parâmetro "tempo de execução"

Na sua percepção, qual o grau de relevância do "preço por metro quadrado" na escolha da tipologia da laje?

25 respostas



Distribuição do grau de relevância do parâmetro "preço por metro quadrado"