

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CAMPUS BACABAL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

HUGO DELEON DA SILVA CUNHA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DO SISTEMA
CONSTRUTIVO DE LAJES *BUBBLEDECK***

Bacabal - MA

2024

HUGO DELEON DA SILVA CUNHA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DO SISTEMA
CONSTRUTIVO DE LAJES *BUBBLEDECK***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Igor Borges
Cipriano Saraiva.

Bacabal - MA

2024

C972e Cunha, Hugo Deleon da Silva.

Estudo da viabilidade econômica e sustentável do sistema construtivo de lajes Bubbledeck / Hugo Deleon da Silva Cunha – Bacabal-MA, 2024.

00 f: il.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil Bacharelado - Universidade Estadual do Maranhão-UEMA/ Campus Bacabal-MA, 2024.

Orientador: Profº Igor Borges Cipriano Saraiva
1. Lajes Bubbledeck 2. Economia 3.Sustentabilidade

CDU: 624.01: 502-33

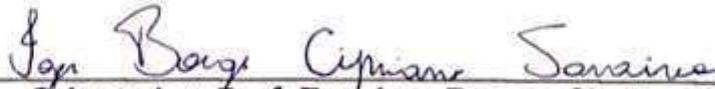
HUGO DELEON DA SILVA CUNHA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DO SISTEMA
CONSTRUTIVO DE LAJES *BUBBLEDECK***

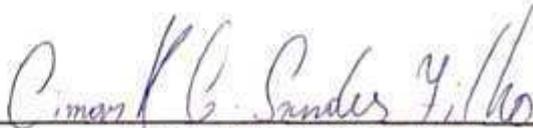
Monografia apresentada junto ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, para obtenção de grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 06 / 08 / 2024

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Esp. Igor Borges Cipriano Saraiva.
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Esp. Cimark Guimarães Sandes Filho
Universidade Estadual do Maranhão



Profª Esp. Nádia Isabelly Mesquita Lobo
Universidade Estadual do Maranhão

Dedico este trabalho aos meus pais, minha irmã, e à minha namorada, pelo apoio incondicional, amor e incentivo ao longo desta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me guiar e sustentar durante toda esta jornada acadêmica.

À minha família, meu porto seguro, agradeço de coração por todo o apoio, amor e compreensão ao longo deste caminho. Em especial, expresso minha profunda gratidão à minha mãe, Maria Tomé, e ao meu pai, Antônio Aragão, cujo incentivo e sacrifício tornaram possível a realização deste trabalho. À minha amada namorada, Micaelly Fernandes, agradeço por sua presença constante, seu carinho e compreensão nos momentos desafiadores. Sua força e apoio foram fundamentais para minha motivação e bem-estar durante esta jornada.

Ao meu orientador, Igor Borges, expresso minha sincera gratidão por sua orientação, paciência e incentivo ao longo deste projeto. Suas orientações foram essenciais para o desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho. Aos meus colegas e professores da Universidade, agradeço pelo compartilhamento de conhecimento, debates enriquecedores e apoio mútuo. Cada interação contribuiu significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho e para minha jornada acadêmica. Este momento de conclusão é fruto de um esforço coletivo e de apoio mútuo, e por isso, expresso minha mais profunda gratidão a todos vocês.

“Não aponte falhas, aponte soluções”

Henry Ford

RESUMO

Este estudo realiza uma análise da viabilidade econômica e sustentável do método construtivo das lajes *Bubbledeck* em comparação com os métodos convencionais. Originário da Dinamarca, o sistema *Bubbledeck* traz uma inovação à indústria da construção ao empregar esferas ocas de plástico para substituir parte do concreto em lajes, resultando em estruturas mais leves e eficientes. O objetivo primordial desta pesquisa é examinar minuciosamente os aspectos econômicos e sustentáveis associados à adoção desse sistema, destacando suas diversas vantagens, como praticidade, eficiência sustentável, segurança, e principalmente, a redução do consumo de concreto, fator esse que implica diretamente na diminuição dos custos construtivos e na redução significativa de CO₂ na atmosfera. Ao comparar o sistema *Bubbledeck* com os métodos tradicionais, busca-se evidenciar as vantagens econômicas e sustentáveis que podem ser obtidas com sua implementação. Os resultados deste estudo visam enriquecer significativamente o conhecimento dos profissionais da construção civil e formuladores de políticas, fornecendo informações cruciais sobre a viabilidade e os inúmeros benefícios da integração das lajes *Bubbledeck* em projetos de construção.

Palavras-chave: lajes *Bubbledeck*; economia; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study conducts a thorough analysis of the economic and sustainable viability of the *Bubbledeck* slab construction method compared to conventional methods. Originating from Denmark, the *Bubbledeck* system brings innovation to the construction industry by utilizing hollow plastic spheres to replace part of the concrete in slabs, resulting in lighter and more efficient structures. The primary objective of this research is to meticulously examine the economic and sustainable aspects associated with the adoption of this system, highlighting its various advantages such as practicality, sustainable efficiency, safety, and most importantly, the reduction of concrete consumption, a factor that directly implies cost reduction and significant CO₂ reduction in the atmosphere. By comparing the *Bubbledeck* system with traditional methods, the aim is to demonstrate the economic and sustainable advantages that can be achieved with its implementation. The results of this study are intended to significantly enhance the knowledge of construction professionals and policy makers, providing crucial information on the feasibility and numerous benefits of integrating *Bubbledeck* slabs into construction projects.

Keywords: *Bubbledeck* slabs; economy; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hospital Sírio-Libanês, em Brasília (DF) – Brasil.....	23
Figura 2 - Torre Regione Piemonte, em Torino – Itália.....	24
Figura 3 - Harpa Auditório, em Reykjavík – Islândia.....	24
Figura 4 - Centro Nacional de Inovação Automotiva, em Coventry – Reino Unido ...	25
Figura 5 - Sede da TransPort/Transavia e Martinair – Holanda.....	25
Figura 6 - Método construtivo em módulo	26
Figura 7 - Método construtivo em Pré-lajes	27
Figura 8 - Método construtivo em Painéis acabados	27
Figura 9 - Fixação das treliças na tela inferior	30
Figura 10 - Distribuição das esferas	30
Figura 11 - Carregamento dos painéis com caminhão	31
Figura 12 - Posicionamento do painel pré-moldado	31
Figura 13 - Lançamento do concreto na fôrma de pré-laje	32
Figura 14 - Introdução do módulo <i>Bubbledeck</i> no concreto	32
Figura 15 - Armação de conexão dos painéis	33
Figura 16 - Armação de capitéis.....	33
Figura 17 - Concretagem final (capeamento)	34
Figura 18 - Millennium Tower, em Rotterdam – Holanda	42
Figura 19 - Centro Administrativo do Distrito Federal, em Brasília – Brasil.....	43
Figura 20 - Edifício de garagem do Aeroporto Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro – Brasil	44
Figura 21 - Le Coie hotel, em Jersey – Grã-Bretanha	45
Figura 22 - Mills Park, em Beckenham – Austrália	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de lajes <i>Bubbledeck</i> comercializadas	28
Tabela 2 - Coeficientes de cálculo para aplicação do <i>Bubbledeck</i>	29
Tabela 3 - Tabela comparativa: laje <i>Bubbledeck</i> x laje Maciça	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora.

CADF - Centro Administrativo do Distrito Federal.

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

ISO - Organização Internacional de Normalização.

UFC - Universidade Federal do Ceará.

UEMA - Universidade Estadual do Maranhão.

LISTA DE ABREVIATURAS

prof. – Professor

esp. - Especialista

ton. - Tonelada

quant. - Quantidade

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂ - Gás carbono

Kg - Quilograma

Kgf/m² - Quilograma força por metro quadrado

M - Metro

M² - Metro quadrado

M³ - Metro cúbico

Mm - Milímetro

KN - Quilonewton

KN/m² - Quilonewton por metro quadrado

Gj - Gigajoules

MJ - Megajoules

Lt - Litro transportado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Delimitação do tema	17
1.2 Justificativa	18
1.3 Estrutura do trabalho.....	19
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4 LAJES <i>BUBBLEDECK</i>	23
4.1 Surgimento	23
4.2 Construções em lajes <i>Bubbledeck</i>	23
4.3 Tipos de lajes <i>Bubbledeck</i>	25
4.3.1 Módulos	26
4.3.2 Pré-lajes.....	26
4.3.3 Painéis acabados.....	27
4.4 Dimensionamento	28
4.5 Execução passo a passo	29
4.6 Benefícios.....	34
4.7 Desafios e limitações.....	36
4.7.1 Falta de normas e regulamentações	37
4.7.2 Custo de instalação.....	37
4.7.3 Falta de experiência em dimensionamento	37
4.7.4 Educação e treinamento	38
5 METODOLOGIA	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6.1 Economia	40
6.1.1 Economias de custos	40
6.1.2 Comparativos de economia de custos em algumas obras que foram utilizadas o sistema de lajes <i>Bubbledeck</i>	41
6.1.2.1 Millennium Tower, em Rotterdam, na Holanda.....	41
6.1.2.2 Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF.....	42

6.1.2.3 Edifício de garagem, no Terminal 2 do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro.	43
6.1.2.4 Le Coie hotel, Jersey, na Grã-Bretanha.	44
6.1.2.5 Mills Park, Beckenham, na Austrália.	45
6.2 Sustentabilidade	46
6.2.1 Construções sustentáveis	46
6.2.2.1 Ecologicamente correto.....	47
6.2.2.2 Economicamente viável	48
6.2.2.3 Socialmente justo.....	48
6.2.2.4 Culturalmente aceito	48
6.2.3 Desenvolvimentos de uma cadeia sustentável.....	49
6.2.3.1 Surgimento de uma nova vertente de mão de obra na construção civil	49
6.2.3.2 Investimento em qualificação profissional	49
6.2.3.3 Nova rede de relacionamento entre consultores, especialistas e acadêmicos	49
6.2.3.4 Geração de emprego indireto na fabricação dos novos insumos da tecnologia <i>Bubbledeck</i>	49
6.2.3.5 Mão de obra especializada na utilização de software, aplicativos e equipamentos ligados ao processo	49
7 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Delimitação do tema

À medida que a indústria da construção civil evolui, a busca por métodos que aperfeiçoem tanto os aspectos técnicos quanto econômicos torna-se fundamental. A viabilidade econômica e sustentável do sistema construtivo de lajes *Bubbledeck* é um tópico fascinante que vem se desenvolvendo e ganhando destaque no cenário da engenharia civil, ao longo das últimas décadas.

O crescimento das atividades na construção civil, juntamente com a preocupação com o uso de recursos naturais e a degradação ambiental, impulsionou a introdução de um novo tipo de laje no país. Essa alternativa recente, conhecida como tecnologia *Bubbledeck*, oferece uma nova solução para lajes maciças (Guedes; Andrade, 2015).

Esse sistema inovador revoluciona a forma como as lajes são projetadas e construídas, prometendo benefícios tanto em relação à eficiência estrutural quanto econômica. Ele desafia a utilização tradicional de grandes quantidades de concreto e outros materiais, ao mesmo tempo em que mantém e até melhora o desempenho estrutural. O sistema utiliza esferas ou bolhas de material leve, como poliestireno expandido, para substituir parte do concreto na laje, resultando em uma estrutura mais leve, porém igualmente resistente, que demanda menos materiais e recursos.

A viabilidade econômica desse sistema surge de sua capacidade de otimizar os custos de construção. A redução no peso da estrutura não apenas diminui os gastos com concreto e aço, mas também possibilita uma fundação mais simplificada. Ademais, o uso de materiais mais leves facilita o transporte e manuseio durante a construção, contribuindo para prazos mais curtos e eficiência geral do projeto (Guedes; Andrade, 2015).

Além das vantagens mencionadas, o sistema *Bubbledeck* também oferece benefícios ambientais significativos. A redução no uso de concreto e aço implica em uma menor pegada de carbono durante a produção desses materiais, contribuindo para a sustentabilidade da obra. Além disso, a redução no peso da estrutura resulta em uma necessidade reduzida de escavação e movimentação de terra durante a fase de preparação do terreno, minimizando o impacto ambiental e os custos associados a essas atividades.

Outro aspecto importante a ser considerado é a flexibilidade de design proporcionada pelo método *Bubbledeck*. Com a capacidade de suportar vãos maiores sem a necessidade de vigas intermediárias, os arquitetos têm mais liberdade para criar espaços internos amplos e versáteis, atendendo às demandas cada vez mais diversificadas dos clientes. Isso não apenas aumenta o valor estético dos projetos, mas também pode resultar em economias adicionais de espaço e custos de construção.

De maneira geral, este estudo busca mostrar que o sistema de lajes *Bubbledeck* representa não apenas um avanço técnico na engenharia civil, mas também uma solução abrangente e sustentável para os desafios enfrentados pela indústria da construção. Sua combinação única de eficiência estrutural e flexibilidade de design, o torna uma escolha atraente para uma variedade de projetos, com ênfase, nesse estudo, a sua viabilidade econômica e sustentabilidade.

1.2 Justificativa

O sistema de lajes *Bubbledeck* surge na construção civil como uma das soluções mais inovadoras em estruturas de concreto armado. Este sistema possui certificação verde, pois as esferas podem ser fabricadas com materiais reciclados, reduzindo significativamente o consumo de concreto e de fôrmas de madeira. Além disso, proporciona maior rapidez na execução das obras e redução dos custos de mão-de-obra, oferecendo uma melhor relação custo-benefício para o empreendimento (Parcianello, 2014).

Uma vez observada a crescente viabilidade de vantagens que esse sistema traz em relação à economia e sustentabilidade na área da construção, é de grande interesse ao meio técnico se aprofundar sobre esse fascinante sistema construtivo que vem ganhando destaque no cenário da engenharia civil. Esse sistema inovador revoluciona a forma como as lajes são projetadas e construídas, prometendo benefícios tanto em relação à eficiência estrutural quanto econômica, além de reduzir significativamente os impactos ambientais.

Além disso, ele desempenha um papel crucial na redução dos impactos ambientais, marcando um importante avanço no setor. Ao reduzir a quantidade de concreto e aço requeridos para a construção de lajes, o método *Bubbledeck* contribui diretamente para a diminuição das emissões de carbono associadas à

produção desses materiais. Isso não apenas alinha a construção civil com os objetivos de sustentabilidade ambiental, mas também ajuda a atenuar os efeitos das mudanças climáticas, tornando-se uma escolha cada vez mais atrativa para projetos que buscam a certificação em práticas sustentáveis.

Este sistema está abrindo novas possibilidades, redefinindo os padrões da indústria e oferecendo uma visão promissora para o futuro da engenharia civil. Sua influência positiva no campo é inegável e está destinada a moldar as práticas da construção. A motivação para este trabalho encontra-se, então, nas vantagens apresentadas pelo fabricante do sistema construtivo de lajes com vazios do modelo *Bubbledeck* e pela sua crescente utilização no cenário nacional e internacional.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 7 capítulos mais a referência bibliográfica, onde o capítulo 1 se trata da Introdução, que está composta por tópicos relacionados a delimitação do tema, a justificativa, e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, é mostrado de maneira sucinta os objetivos do trabalho, que são divididos em: objetivo geral e objetivos específicos.

O Capítulo 3 é composto pela fundamentação teórica, onde será mostrado informações e pensamentos de alguns autores sobre o assunto em questão.

O Capítulo 4 aborda sobre o modelo construtivo de lajes *Bubbledeck*, mostrando informações como: O surgimento do modelo; imagens de algumas obras que utilizaram o sistema; especificações dos três tipos de lajes *Bubbledeck*; como é dimensionado; o processo executivo; benefícios; e alguns desafios e limitações.

No Capítulo 5, é mostrado a metodologia utilizada para se obter os resultados previstos inicialmente pelos objetivos do trabalho.

Já o Capítulo 6, está voltado para os resultados e discussões, onde será dividido em duas partes, sendo a primeira voltada para a área da economia e a segunda relacionada para a sustentabilidade.

No Capítulo 7, o último deste trabalho, traz as conclusões finais sobre o modelo em estudo e sugestões para um possível avanço.

Por fim, são mostradas as referências utilizadas como apoio para a realização deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esse trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo abrangente sobre a viabilidade econômica e sustentável do sistema construtivo de laje *Bubbledeck* em comparação aos métodos tradicionais.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar os principais benefícios do sistema *Bubbledeck*;
- Comparar a economia de custos construtivos em obras que utilizaram o sistema *Bubbledeck* ao invés de métodos de lajes convencionais;
- Mostrar a contribuição do sistema *Bubbledeck* para uma construção sustentável;
- Identificar os possíveis desafios e limitações na adoção do sistema *Bubbledeck*.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As construções em concreto armado, amplamente predominantes tanto no Brasil quanto globalmente, desempenham um papel fundamental na indústria da engenharia civil. De tempos em tempos, observamos avanços e inovações nas técnicas construtivas que envolvem concreto armado. Um exemplo notável é o sistema altamente promissor de lajes *Bubbledeck*.

“Atualmente no Brasil, já contamos com mais de 300.000 m² construídos com a tecnologia bubbledeck, incluindo projetos premiados, como a ampliação do estacionamento do Aeroporto Tom Jobim no Rio de Janeiro. Além disso, em âmbito internacional, há mais de 5.000.000 m² construídos com a tecnologia bubbledeck nos mais importantes mercados ao redor do mundo. Com a proposta de ser um método revolucionário de redução de materiais em estruturas de concreto, a tecnologia bubbledeck surge como uma nova vertente para o mercado de construção civil, proporcionando uma nova forma de construir e propiciando a abertura de novas redes de relacionamento, a fabricação de novos insumos e o desenvolvimento de novos softwares, aplicativos e equipamentos capazes de auxiliar o processo construtivo com sustentabilidade e inovação.” (Bubbledeck, 2024).

Conforme relatado pela *Bubbledeck* (2024), o *Bubbledeck* é um sistema construtivo de laje inovador e sustentável de origem dinamarquesa. Ele consiste na inserção de esferas plásticas nas lajes de concreto, que são uniformemente espaçadas entre duas telas metálicas, as quais são aderidas e fixadas em estruturas de suportes.

Ademais, o sistema oferece não apenas uma solução eficaz para a redução do uso de concreto, mas também proporciona uma significativa diminuição do peso total da estrutura, o que pode resultar em benefícios adicionais, como a simplificação das fundações e a redução dos custos de transporte e montagem. Essa combinação de inovação, sustentabilidade e eficiência faz do *Bubbledeck* uma opção atrativa para projetos de construção em busca de soluções modernas e econômicas.

Segundo Parcianello (2014), a solução *Bubbledeck* é versátil e pode ser implementada em qualquer estrutura que normalmente usaria uma laje convencional. Ela oferece uma solução de engenharia que aprimora os projetos de construção e seu desempenho, enquanto reduz os custos gerais da obra, economizando em materiais e mão de obra.

A concepção de minimizar o uso de concreto, aplicando-o apenas onde é estruturalmente necessária, não é nova. No entanto, nos dias de hoje, essa ideia está ganhando destaque tanto internacionalmente quanto nacionalmente, com o surgimento das chamadas "lajes com vazios". Em resposta à demanda do mercado, diversos tipos dessas lajes estão se popularizando, incluindo o inovador sistema *Bubbledeck* (Guedes; Andrade, 2015).

Essa crescente popularização das "lajes com vazios", como destacado por Guedes e Andrade (2015), reflete uma mudança significativa no paradigma da engenharia civil, onde a busca por eficiência e sustentabilidade se tornou uma prioridade. O aparecimento do sistema em estudo é um exemplo claro dessa tendência, oferecendo uma solução inovadora que não apenas reduz a quantidade de concreto, mas também atende às demandas do mercado por estruturas mais leves, econômicas e ambientalmente conscientes. Essa evolução no setor da construção demonstra um compromisso cada vez maior com práticas construtivas mais inteligentes e sustentáveis, impulsionando o desenvolvimento e a adoção de tecnologias inovadoras. Essa abordagem não apenas contribui para a economia de recursos, mas também para a eficiência operacional e a sustentabilidade ambiental dos projetos de construção.

Ressalta-se, portanto, a importância da adoção de sistemas construtivos sustentáveis e economicamente viáveis, que não apenas reduzem o desperdício de materiais, mas também contribuem para a eficiência e a sustentabilidade da engenharia civil, aspectos essenciais para a viabilidade econômica em longo prazo. Essa perspectiva não apenas promove a preservação ambiental, mas também impulsiona a economia ao otimizar recursos e reduzir custos ao longo do tempo útil das construções.

Com a adoção desse sistema de lajes, pode-se gerar redução de custos significativa em diferentes aspectos da construção, desde a redução do material utilizado até a economia de tempo e energia. Esses benefícios tornam o sistema uma opção atraente para projetos de construção que visam eficiência econômica e sustentabilidade.

4 LAJES *BUBBLEDECK*

4.1 Surgimento

Na década de 1980, na Dinamarca, um concurso do governo visava encontrar soluções construtivas sustentáveis e econômicas em larga escala. O engenheiro Jorgen Breuning participou e desenvolveu o conceito das lajes *Bubbledeck*, que combinavam leveza, resistência e materiais eco conscientes. Seu trabalho pioneiro foi reconhecido e inspirou avanços na construção sustentável e econômica (Silva, 2011).

4.2 Construções em lajes *Bubbledeck*

A seguir, apresenta-se uma sequência de imagens de algumas obras arquitetônicas que foram construídas com o uso do sistema construtivo em estudo, cujas obras, estão disponíveis no próprio site oficial da *Bubbledeck*.

Figura 1 - Hospital Sírio-Libanês, em Brasília (DF) – Brasil



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

Figura 2 - Torre Regione Piemonte, em Torino – Itália



Fonte: Archilovers, 2015.

Figura 3 - Harpa Auditório, em Reykjavík – Islândia



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

Figura 4 - Centro Nacional de Inovação Automotiva, em Coventry – Reino Unido



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

Figura 5 - Sede da TransPort/Transavia e Martinair – Holanda



Fonte: Architectenweb, 2013.

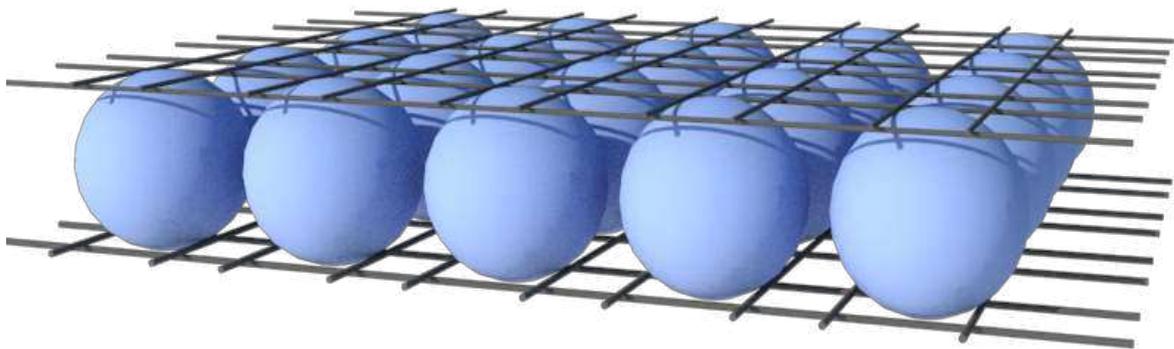
4.3 Tipos de lajes *Bubbledeck*

As lajes *Bubbledeck* podem ser construídas utilizando três diferentes métodos: módulos, pré-lajes e painéis acabados. Cada um desses métodos é adaptável às especificidades e exigências de cada projeto.

4.3.1 Módulos

O primeiro método construtivo envolve a utilização de módulos, onde as esferas são dispostas em estruturas metálicas, constituindo unidades que são então colocadas sobre formas convencionais de madeira, permitindo a concretagem em dois estágios. Esse tipo de sistema é mais indicado para reformas, pisos térreos e situações de acesso complicado, pois os módulos podem ser transportados e posicionados manualmente.

Figura 6 - Método construtivo em módulo

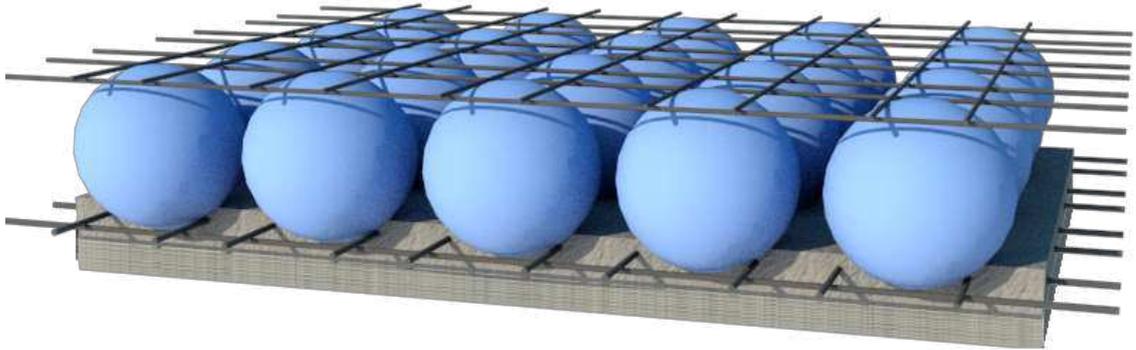


Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

4.3.2 Pré-lajes

O segundo tipo envolve a utilização de lajes pré-moldadas com 60mm de espessura, que incorporam os módulos reforçados juntamente com as esferas plásticas. Com isso, a necessidade de formas inferiores é eliminada. Após a montagem dos painéis, são adicionadas armaduras de reforço e barras de conexão entre as placas para a posterior concretagem e finalização do processo. Esse procedimento é amplamente utilizado devido à sua capacidade de adaptação a diversos tipos de pisos, além de permitir a acomodação de tubulações e parte das redes de instalação. A fabricação e confecção dos painéis tornam esse método o mais comum para a aplicação da laje *Bubbledeck*.

Figura 7 - Método construtivo em Pré-lajes

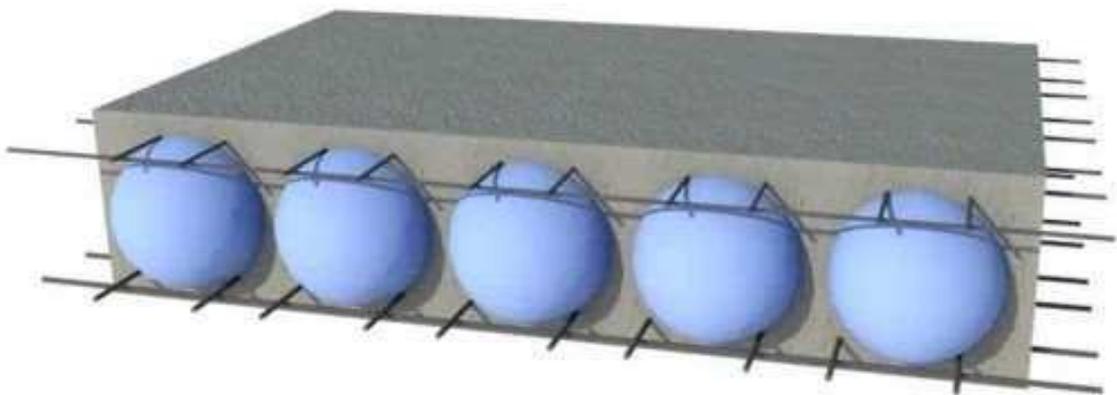


Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

4.3.3 Painéis acabados

Nesse tipo, o método de construção da laje *Bubbledeck* envolve a utilização de painéis pré-fabricados, que consistem em lajes concretadas em fábrica e entregues no local da obra, completamente prontas. A única etapa necessária no canteiro de obra é o içamento e posicionamento dos painéis. Uma vez no local de instalação final, as armaduras de flexão são conectadas e as barras de ligação entre as placas são posicionadas para garantir uma união perfeita entre elas. Esse procedimento é adequado para suportes em uma única direção e requer a inclusão de vigas, apoios ou paredes, pois opera de maneira semelhante a uma laje pré-moldada unidirecional.

Figura 8 - Método construtivo em Painéis acabados



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

4.4 Dimensionamento

As lajes *Bubbledeck* são projetadas utilizando os mesmos princípios de dimensionamento empregados nos métodos convencionais para lajes lisas maciças. No entanto, há uma significativa redução no peso próprio da estrutura. As dimensões das esferas e o espaçamento entre elas são variáveis de acordo com a necessidade do projeto, e são apresentados tipos de lajes com variação na espessura, vãos alcançados, carga, e volume de concreto (Andrade; Guedes, 2015).

Considerando que no Brasil ainda não há normas específicas para esta situação, o fabricante recomenda que o comportamento estrutural das lajes com esferas plásticas seja tratado como equivalente ao das lajes maciças. Assim, as orientações de cálculo da NBR 6118 (ABNT 2023) - Projeto de Estruturas de Concreto Armado, podem ser utilizadas como ponto de referência.

As esferas plásticas são fabricadas em cinco tamanhos diferentes, os quais são selecionados com base no vão livre entre os apoios, nas cargas de trabalho aplicadas e nas restrições relacionadas a deformações. Na Tabela 1, são fornecidas informações sobre os diversos modelos de lajes disponíveis e suas especificações correspondentes.

Tabela 1 - Tipos de lajes *Bubbledeck* comercializadas

Tipo	Diâmetro das Esfera (mm)	Espessura da laje (mm)	Vão (m)	Carga (Kgf/m²)	Concreto (m³/m²)
BD230	180	230	7 a 10	370	0,15
BD280	225	280	8 a 12	460	0,19
BD340	370	340	9 a 14	550	0,23
BD390	315	390	10 a 16	640	0,25
BD450	360	450	11 a 18	730	0,31

Fonte: *Bubbledeck* Brasil, 2024.

Na Tabela 2, os diâmetros fornecidos correspondem aos respectivos fatores de diminuição de peso, rigidez e cortante, os quais definem as propriedades estruturais permitidas, adotadas por metro quadrado, conforme proposto pela *Bubbledeck* internacional (2013).

Tabela 2 - Coeficientes de cálculo para aplicação do *Bubbledeck*.

Diâmetro da esfera (m)	0,18	0,225	0,27	0,315	0,36	0,405	0,450
Mínimo Intereixo das Esferas (m)	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Número de Esferas (m ²)	25,00	16,00	11,00	8,16	6,25	4,94	4,00
Espessura Mínima da Laje (m)	0,23	0,28	0,34	0,40	0,45	0,52	0,58
Redução de Carga por Esfera (KN)	0,08	0,15	0,26	0,41	0,61	0,87	1,19
Redução Máx. de Carga (KN/m ²)	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77
Fator para Rigidez	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,88	0,88
Fator para o Cortante	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Fator para o Peso	0,67	0,66	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67

Fonte: *Bubbledeck*, 2013.

4.5 Execução passo a passo

No Brasil, as lajes *Bubbledeck* são projetadas conforme as diretrizes da NBR 6118 (ABNT 2023) - Projeto de Estruturas de Concreto Armado, utilizando os mesmos princípios das lajes planas maciças devido ao seu comportamento estrutural análogo. Contudo, é importante levar em conta a redução de carga intrínseca, que se refere à diminuição do peso próprio devido ao espaço vazio no interior das esferas.

Segundo Silva (2011) o processo de execução construtiva do painel *Bubbledeck* tem início quando o elemento pré-moldado (conforme descrito no capítulo 3.3) chega ao local da obra. Esses elementos são colocados em suas posições apropriadas por meio de equipamentos mecânicos, guindastes móveis e são suportados por vigas provisórias espaçadas entre 1,8 e 2,5 metros. Após posicionar as pré-lajes ou módulos, são realizados reforços nas juntas por intermédio de armaduras de conexão entre as peças pré-moldadas e entre as malhas superiores. Nas áreas dos pilares, que abrigam os capitéis, é adicionada armadura superior adicional, e se necessário, reforços adicionais. Se for preciso, reforços periféricos podem ser instalados ao redor da laje.

O processo executivo é apresentado na ordem a seguir:

- Fixação das treliças na tela inferior - As treliças metálicas são fixadas na tela inferior do molde de concreto para fornecer suporte estrutural e criar o espaço necessário para a distribuição das esferas plásticas.

Figura 9 - Fixação das treliças na tela inferior



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

- Distribuição das esferas - As esferas plásticas são distribuídas uniformemente sobre a treliça, preenchendo o espaço entre as treliças e formando uma estrutura de suporte para o concreto.

Figura 10 - Distribuição das esferas



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

- Carregamento dos painéis com caminhão – Os painéis, que são conjuntos de treliças, esferas e telas, são carregados em caminhões e transportados para o local da obra. Esse transporte deve ser feito com cuidado para evitar qualquer dano aos componentes pré-fabricados.

Figura 11 - Carregamento dos painéis com caminhão



Fonte: Canteiro da Obra, 2021.

- Içamento por guindaste e posicionamento de painel - O guindaste faz o içamento dos painéis e com a ajuda de no mínimo 2 pessoas, para a conferência de esquadro e a colocação dos painéis em cima do escoramento metálico, encaixados uns nos outros.

Figura 12 - Posicionamento do painel pré-moldado



Fonte: Canteiro da Obra, 2021.

- Lançamento do concreto sobre a fôrma de pré-laje - O concreto é lançado sobre a fôrma de pré-laje, cobrindo completamente os módulos pré-moldados e preenchendo os espaços entre as esferas plásticas.

Figura 13 - Lançamento do concreto na fôrma de pré-laje



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

- Introdução do módulo *Bubbledeck* no concreto - Os módulos *Bubbledeck* são inseridos no concreto fresco, garantindo sua posição correta e integrando-os à estrutura da laje.

Figura 14 - Introdução do módulo *Bubbledeck* no concreto

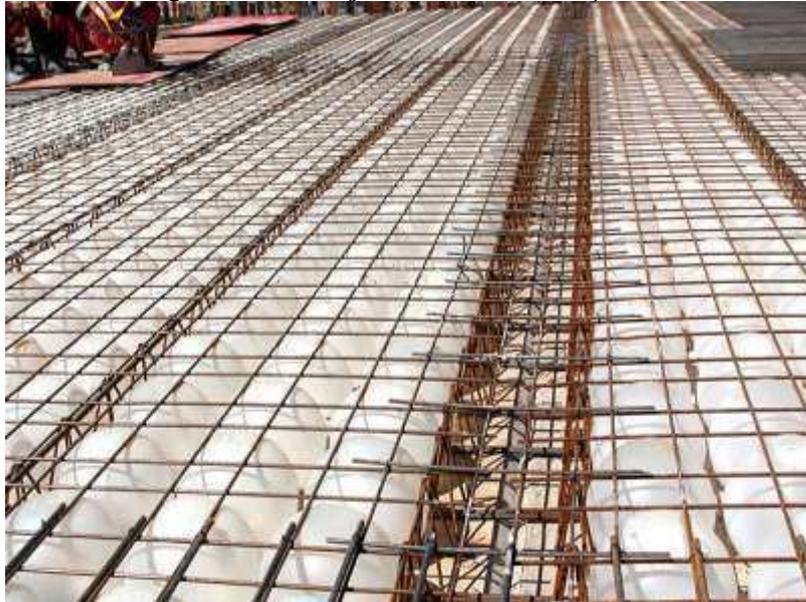


Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

- Armação de conexão dos painéis - Após o concreto ter atingido a resistência adequada, são feitas as armações de conexão entre os painéis de

Bubbledeck e outras estruturas adjacentes, garantindo a integridade e estabilidade da estrutura como um todo.

Figura 15 - Armação de conexão dos painéis



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

- Armação de capitéis - A armação dos capitéis é extremamente importante, porque assim como em uma laje sem a presença de vigas, o esforço de punção (esforços cortantes) é muito elevado, necessitando de um reforço de armação na área dos pilares.

Figura 16 - Armação de capitéis



Fonte: Canteiro da Obra, 2021.

- Concretagem final - Por fim, é feita a concretagem final, também conhecida como capeamento, para cobrir a estrutura *Bubbledeck* e fornecer uma superfície nivelada e acabada para o piso da construção.

Figura 17 - Concretagem final (capeamento)



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

Esses passos representam um resumo geral do processo de utilização do sistema *Bubbledeck*, desde a fabricação até a parte final de sua utilização na obra, garantindo uma estrutura sólida, eficiente e economicamente viável.

4.6 Benefícios

Segundo Duarte Junior (2014), as lajes *Bubbledeck* emergem no mercado como uma alternativa adicional para estruturas de concreto armado, com o objetivo de oferecer rapidez na execução e diminuição dos custos tanto de materiais quanto de trabalho manual.

Além disso, elas também proporcionam uma diminuição substancial no peso da estrutura, o que contribui para uma construção mais sustentável e eficiente em termos de recursos. Sua capacidade de vencer grandes vãos sem a necessidade de vigas intermediárias as torna ainda mais atraentes para projetos arquitetônicos inovadores. Com o aumento da conscientização ambiental e a busca por soluções construtivas mais eficientes, esse sistema está ganhando cada vez mais espaço no setor da construção civil.

As bolhas de ar integradas ao concreto oferecem ótima capacidade de isolamento sonoro e reduzida transmissão de calor, sendo bem recebidas em construções tanto residenciais quanto comerciais. Seu desempenho atende aos padrões estabelecidos pela Norma de Desempenho da ABNT NBR 15.575 para edifícios habitacionais, e foram observados resultados positivos em termos de resistência ao fogo, estabilidade, vedação e isolamento térmico.

Mediante sua eficácia, é viável destacar diversas vantagens da tecnologia, tais como: conveniência, longevidade, economia, tempos reduzidos para implementação e, sobretudo, sua sustentabilidade ao diminuir o uso de concreto e empregar esferas feitas de plástico reciclado (Guedes; Andrade, 2015).

As esferas inseridas nas interseções das armaduras ocupam o espaço que, de outra forma, seria preenchido pelo concreto sem função estrutural. Isso possibilita uma redução de até 35% no peso próprio da laje, resultando em economia no dimensionamento estrutural devido à diminuição das cargas sobre as fundações. O sistema permite ao engenheiro projetar vãos maiores com menor consumo de materiais como concreto e fôrmas sem grandes impedimentos técnicos, (Lai, 2010).

Os profissionais que trabalham na área da construção civil podem realmente colher inúmeros benefícios ao adotar esse método. A seguir, têm-se alguns benefícios que podem ser citados de acordo com os representantes desta tecnologia no Brasil:

- Flexibilidade no design: Refere-se à capacidade do sistema construtivo de se adaptar facilmente a formas curvas e irregulares, permitindo maior versatilidade no design arquitetônico;
- Diminuição do peso estrutural: O sistema oferece uma redução de até 35% no peso total da estrutura, o que permite economia nas fundações, já que estas podem ser dimensionadas para suportar cargas menores;
- Redução da quantidade de concreto: A substituição parcial do concreto por plástico resulta em uma diminuição substancial na quantidade de concreto necessário, tornando a estrutura mais leve e econômica (1 kg de plástico substitui em média 60 kg de concreto);
- Eliminação de paredes de suporte: A metodologia construtiva permite a eliminação de paredes de suporte, o que simplifica o procedimento de construção e possibilita layouts mais abertos e adaptáveis;

- Aumento do espaçamento entre colunas: Comparado às estruturas tradicionais, as colunas podem ser posicionadas com um espaçamento maior, proporcionando maior liberdade de projeto e economia de material (até 50% a mais do que estruturas tradicionais);
- Ausência de vigas: A falta de vigas resulta em maior rapidez na construção e economia de material, além de simplificar o procedimento de instalação e acabamento;
- Adequação ambiental: A utilização de plástico reciclável em substituição ao concreto reduz a demanda por recursos naturais e a emissão de CO₂, tornando o método mais sustentável;
- Redução na logística de transporte de materiais: Possibilita uma menor logística de transporte de materiais, o que conseqüentemente minimiza os riscos operacionais e de segurança de trabalho, já que reduz a força humana;
- Reconhecimento e certificações: O sistema é internacionalmente reconhecido por seu compromisso com a sustentabilidade, não apenas pela diminuição de materiais, mas também pelo uso de plásticos reciclados, demonstrando sua contribuição para a preservação ambiental;
- Vantagens das formas metálicas: Devido ao uso de fôrmas metálicas, a superfície inferior das lajes apresenta alta qualidade, eliminando o retrabalho e dispensando revestimentos;
- Resistência ao fogo: Mostra resultados positivos em relação à exposição ao fogo, em termos de estabilidade, vedação e condução de calor. Em caso de incêndio, as esferas carbonizam sem liberar gases tóxicos. Dependendo da camada de concreto, a resistência ao fogo pode variar de 60 a 180 minutos, conforme verificações realizadas segundo a norma ISSO 834;
- Ganho expressivo de pé direito: O sistema permite que a laje tenha uma espessura menor em comparação com lajes tradicionais, resultando em um ganho significativo de altura entre o piso e o teto, ou seja, um pé direito mais alto. Podendo assim, resultar em espaços mais amplos e arejados, proporcionando maior conforto e flexibilidade de design nas construções.

4.7 Desafios e limitações

O sistema *Bubbledeck*, apesar de ser considerado simples e eficaz, tem seu uso pouco difundido no Brasil. Em todo o mundo, foram utilizados mais de um milhão de metros quadrados do revolucionário método dinamarquês (PARCIANELLO, 2014).

Apesar de suas vantagens, enfrenta diversos desafios e limitações que afetam sua adoção e implementação. Por ser uma tecnologia recente, podemos destacar alguns pontos a serem considerados:

4.7.1 Falta de normas e regulamentações

Atualmente, não existem normas específicas no Brasil para as lajes do tipo *Bubbledeck*, o que pode criar incertezas e dificuldades no processo de projeto e execução, além de afetar a confiança dos clientes e investidores. No entanto, estudos realizados na Alemanha indicam uma grande semelhança entre as lajes *Bubbledeck* e as lajes maciças, o que facilita consideravelmente o procedimento de dimensionamento. Segundo Silva (2011) o sistema *Bubbledeck* é usualmente dimensionado com métodos convencionais para lajes maciças, de acordo com a norma alemã DIN 1045 (2001) - para construções em concreto armado.

4.7.2 Custo de instalação

A necessidade de guindastes ou gruas para a montagem das lajes pré-fabricadas pode encarecer o sistema, especialmente em projetos de menor porte. Um exemplo disso são os painéis pré-lajes, que devido à sua natureza pré-fabricada, eles exigem a utilização de guindastes ou gruas para a montagem, uma vez que o peso aumenta significativamente devido à base de concreto. No entanto, a própria fábrica oferece uma solução alternativa, conhecida como módulos, que consiste apenas nas esferas plásticas encaixadas nas armações, formando uma estrutura metálica. Esses módulos são muito mais leves e fáceis de transportar, sendo especialmente indicados para obras de pequeno e médio porte.

4.7.3 Falta de experiência em dimensionamento

Além disso, outro desafio que o método *Bubbledeck* enfrenta é a necessidade de conscientização e educação dos profissionais da área de construção sobre as vantagens e aplicações desse método inovador, causado principalmente devido à falta de experiência e familiaridade com essa tecnologia.

Essa falta de conhecimento e experiência dos engenheiros estruturais no que diz respeito ao dimensionamento de estruturas com lajes *Bubbledeck* pode gerar resistência inicial à sua adoção em projetos, mesmo quando as vantagens são claras.

4.7.4 Educação e treinamento

A falta de programas de educação e treinamento específicos sobre a tecnologia pode limitar sua adoção. A capacitação dos profissionais da construção é fundamental para garantir o uso correto e eficiente do sistema.

Visando diminuir esses desafios e limitações, medidas estão sendo tomadas para superar essas barreiras, incluindo programas de capacitação e treinamento oferecidos pela *Bubbledeck* Brasil. A própria fábrica conta com uma equipe de engenheiros especializados que podem auxiliar na simulação e na compatibilização do sistema, garantindo a confiabilidade e a segurança de uma tecnologia que já foi implementada com sucesso em projetos de grande importância tanto no Brasil quanto no resto do mundo.

5 METODOLOGIA

Este trabalho é fundamentado em uma revisão de literatura que se apoia em outros trabalhos de conclusão de curso, livros, artigos e revistas, uma vez que o tema é relativamente novo no contexto brasileiro e há poucas obras publicadas até o momento.

O objetivo principal é analisar e contrastar o sistema *Bubbledeck* com os métodos construtivos tradicionais, através de uma coleta de dados abrangente baseada em informações de algumas construções renomadas tanto em âmbito nacional como internacional, que aplicaram esse sistema inovador. Para alcançar esse propósito, será realizada uma pesquisa bibliográfica minuciosa, buscando dados sobre os aspectos técnicos e práticos de ambos os métodos.

Os resultados encontrados nesse estudo serão divididos em duas partes. Na primeira parte, serão coletados dados relacionados aos custos envolvidos em obras renomadas que optaram pelo modelo construtivo *Bubbledeck* e obtiveram resultados satisfatórios na comparação de custos construtivos, considerando uma variedade de fatores, como despesas com materiais, custos de trabalho e tempo necessário para a conclusão das construções.

A segunda parte será voltada para a questão da sustentabilidade na construção civil, onde serão coletadas informações através de uma comparação feita pela principal fornecedora do produto no país, cujas informações mostrarão a redução significativa que o modelo *Bubbledeck* proporciona para uma diminuição na geração de processos que impactam o meio ambiente.

Esperasse que esse processo forneça conhecimentos valiosos sobre a eficiência econômica, sustentável e prática do método *Bubbledeck* em comparação com as abordagens convencionais de construção. Esses conhecimentos são essenciais para avaliar as vantagens e desvantagens de cada método, contribuindo assim para o avanço e aprimoramento das práticas construtivas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através de uma pesquisa bibliográfica, que teve como finalidade buscar informações relevantes sobre o sistema construtivo de lajes *Bubbledeck*.

Essa seção foi dividida em duas partes, onde a primeira aborda a economia na utilização desse sistema construtivo em algumas obras que optaram pela utilização do sistema *Bubbledeck* ao invés de lajes tradicionais, onde obtiveram resultados econômicos significativos.

A segunda parte está relacionada com a questão da sustentabilidade que esse sistema possui, onde foi analisado alguns fatores que contribuem para um modelo construtivo eficaz e sustentável.

6.1 Economia

6.1.1 Economias de custos

O sistema de laje *Bubbledeck* apresenta uma solução de engenharia que melhora radicalmente projetos de construção e performance com redução de custos, da obra e de materiais, além de assegurar agilidade na construção diminuindo de forma significativa os custos com mão de obra.

Conforme mencionado por Rozadas (2023), o tipo de laje em análise tem a capacidade de suportar grandes cargas com maior eficiência, tornando-a também mais rentável. Em outras palavras, seu custo é consideravelmente inferior em comparação com outros métodos construtivos disponíveis no Brasil.

A utilização do sistema é creditada por trazer uma significativa economia nos custos totais da estrutura. Isso ocorre devido ao fato de que, conforme indicado por Carvalho (2013), as lajes representam a maior parte do consumo de materiais estruturais durante todo o processo de construção.

A redução de custos com a implantação desse sistema é significativa devido à sua tecnologia inovadora. As lajes consistem em uma estrutura de concreto reforçado com esferas de plástico ou esferas ocas que substituem o concreto convencional. Essas esferas reduzem o peso da laje, permitindo vãos maiores entre

as colunas de suporte e diminuindo a quantidade de material utilizado, resultando em uma boa economia financeira em várias frentes como:

- Menor tempo de construção: A instalação das lajes *Bubbledeck* é mais rápida do que a construção de lajes convencionais, pois são mais leves e de mais fácil manuseio. Isso reduz os custos com mão de obra e tempo de construção, o que pode resultar em economia significativa;
- Diminuição do peso e material: As esferas ocas reduzem o peso da laje, o que significa menos concreto e aço sendo utilizados. Isso resulta em custos menores de material de construção;
- Redução da necessidade de suportes adicionais: Devido à capacidade de carga das esferas de plástico, vãos maiores podem ser alcançados entre as colunas de suporte, eliminando a necessidade de suportes adicionais. Isso reduz os custos associados à construção de suportes extras.

6.1.2 Comparativos de economia de custos em algumas obras que foram utilizadas o sistema de lajes *Bubbledeck*

6.1.2.1 Millennium Tower, em Rotterdam, na Holanda

O Millennium Tower foi pioneiro na adoção do sistema de lajes *Bubbledeck*. Inicialmente planejado com o uso de lajes alveolares, houve uma mudança de abordagem antes do início da execução. Esta alteração foi motivada por diversos fatores, incluindo a restrição de espaço para armazenamento de materiais na obra, que estava localizada em vias arteriais e rodovias (Rodrigues, 2014).

Figura 18 - Millennium Tower, em Rotterdam – Holanda



Fonte: Arquitetura na prática, 2015.

Segundo informações fornecidas pela *Bubbledeck* Brasil, o tempo de construção por andar foi reduzido de 10 para 4 dias. Além disso, foram economizadas cerca de 500 viagens de caminhão com concreto devido à eficiência do sistema. Houve também uma significativa diminuição no uso de maquinário durante a obra. Observou-se uma redução de tempo e custos, além de uma diminuição do pé direito pela falta de vigas, permitindo a adição de dois andares adicionais, algo que não estava previsto no projeto inicial, demonstrando as vantagens proporcionadas pela utilização das lajes *Bubbledeck*.

6.1.2.2 Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF

No Brasil uma obra de grande porte que teve uma grande economia de custos com a implantação do sistema de lajes *Bubbledeck*, foi a do Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF, onde obteve redução de 35% no volume de concreto em comparação com o requerido por uma laje convencional (resultando em economia de 2.500 viagens de caminhão), diminuição de 60% na necessidade de escoramento em relação ao plano original, e uma preservação de aproximadamente 2.800 árvores através da utilização da pré-laje (Universidade Federal do Ceará - UFC, 2017).

Figura 19 - Centro Administrativo do Distrito Federal, em Brasília – Brasil



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

Ainda sobre a obra do CADF, foi apresentada algumas informações pelo até então engenheiro da *Bubbledeck*, Leonardo Bernardi, em uma entrevista concedida no canal de youtube Calculistas Club, onde foi realizada uma comparação entre o sistema *Bubbledeck* e as lajes convencionais. Foi constatado que houve uma redução em 95% do uso de formas, o que representa uma grande vantagem em termos de eficiência. Também conseguiram reduzir em 41% os gastos com armações. Em resumo, o sistema *Bubbledeck* se revelou muito eficaz em todas as áreas avaliadas, proporcionando resultados positivos em todos os aspectos do projeto.

6.1.2.3 Edifício de garagem, no Terminal 2 do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro

Segundo os dados de Rozadas (2017), a ampliação do edifício de garagem do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, trouxe vários resultados positivos quanto ao custo benefício, como: redução de 3.857 m³ de concreto; diminuição de 391 toneladas de aço; minimização de 5.071 m³ de madeira (evitando o corte de 667 árvores); diminuição de 14.328 litros de óleo diesel, por realizar menos transporte de materiais; todos esses pontos levaram a uma economia de

R\$5.271.549,94 para essa obra de expansão do aeroporto. Além disso, obteve alguns benefícios relevantes como o da velocidade na execução e o ganho do pé-direito devido a não necessidade de vigas, aumentando a iluminação natural.

Figura 20 - Edifício de garagem do Aeroporto Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro – Brasil



Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

6.1.2.4 Le Coie hotel, Jersey, na Grã-Bretanha

Conforme os dados de Téchne (2008), o condomínio Moradia Le Coie, Grã-Bretanha, uma das maiores estruturas utilizando sistema *Bubbledeck* no mundo, obteve uma redução de 400 mil libras esterlinas (aproximadamente 2,5 milhões de reais) ao optar pela laje tipo *Bubbledeck* ao invés do uso de lajes tradicionais. Durante a etapa de construção, a empresa contratada também observou outros ganhos, tais como: maior rapidez na construção de paredes internas e externas, bem como uma instalação mais simples.

Figura 21 - *Le Coie hotel*, em Jersey – Grã-Bretanha



Fonte: Revista Química e derivados, 2015.

6.1.2.5 Mills Park, Beckenham, na Austrália

Outra construção que se destaca como uma das principais iniciativas de sustentabilidade no projeto de construção é o do Centro Comunitário de Mills Park, na Austrália, onde foi adotado o sistema de lajes *Bubbledeck* para as lajes suspensas. Estima-se que essa escolha tenha permitido economizar aproximadamente 250 m³ de concreto e 20% de massa em comparação com a abordagem de lajes tradicionais (Medeiros, 2019).

Figura 22 - *Mills Park*, em Beckenham – Austrália



Fonte: Centigrade group, 2024.

Em resumo, a laje *Bubbledeck* não apenas representa uma inovação tecnológica no campo da construção civil, mas também oferece uma solução prática e econômica para construtores e engenheiros, garantindo obras mais sustentáveis e financeiramente viáveis.

6.2 Sustentabilidade

6.2.1 Construções sustentáveis

Conforme Mendonça (2015) destaca, uma construção sustentável parte do princípio da consciência ecológica, sendo um sistema construtivo que realiza mudanças conscientes em seu entorno para atender às exigências da edificação, habitação e utilização pelo ser humano moderno, ao mesmo tempo em que preserva o meio ambiente e os recursos naturais.

Segundo Leonardo Bernardi (2013), as esferas são inseridas nas interseções das telas soldadas, ocupando regiões de concreto que não têm função estrutural. Essa técnica diminui significativamente o consumo de materiais, tornando o processo mais eficiente e gerando um menor impacto ambiental.

Utilizando menos matérias-primas, é possível reduzir centenas de viagens de caminhões, dependendo do tamanho da obra. Isso também resulta em uma redução considerável na produção de resíduos durante a fase de construção, diminuindo a necessidade de caçambas para remoção de entulho. O material usado apresenta uma notável diminuição no uso de concreto, onde apenas 1 kg de plástico pode substituir em média 60 kg de concreto convencional.

Além de ser ambientalmente responsável ao reduzir o consumo energético e as emissões de CO₂, possui uma série de benefícios, como a redução do ruído entre os andares, conformidade com a Norma de Desempenho da ABNT NBR 15.575 no que tange a desempenho acústico e uma baixa condutividade térmica. Adicionalmente, o sistema possui o título de 'Selo Verde', não apenas por reduzir o uso de materiais na mesma área construída, mas também por substituir o concreto por plástico reciclável, ajudando assim a reduzir as emissões de CO₂ na atmosfera (Blog Civilização Engenharia, 2017).

A seguir, apresenta-se uma tabela representativa que ilustra a quantidade de redução para uma laje *Bubbledeck* do tipo BD280 de 10.000 m², em comparação com uma laje Maciça de mesma espessura (28 cm).

Tabela 3 - Tabela comparativa: laje *Bubbledeck* x laje Maciça

ECONOMIA	TOTAL	POR M ²
Emissões de CO2	Ton. 423	Kg 42
Árvores cortadas	Quant. 150	Quant. 0,015
Diesel para transporte	Lt. 2999	Lt. 0,30
Concreto	M ³ 810	M ³ 0,081
Aço	Ton. 81	Kg 8,1
Plástico recolhido	Ton. 23	Kg 2,25
Energia embutida nos materiais	GJ 3943	MJ 394

Fonte: *Bubbledeck*, 2024.

O sistema *Bubbledeck* oferece um modelo de construção que atende às demandas do mercado enquanto também promove a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais. Esse sistema propõe um empreendimento sustentável que se baseia em quatro requisitos fundamentais:

Ecologicamente correto; economicamente viável; socialmente justo; e culturalmente aceito.

6.2.2.1 Ecologicamente correto

O método do sistema *Bubbledeck* vai além da mera conformidade com normas ambientais; ele se compromete com a preservação do meio ambiente. Isso é alcançado através da escolha criteriosa de materiais e técnicas de construção que não apenas diminuem o uso de recursos naturais, mas também minimizam a emissão de poluentes e o desperdício de energia durante todo o ciclo de vida da construção. Essa abordagem pode incluir a aplicação de materiais reciclados e de baixo impacto ambiental, a implementação de práticas construtivas sustentáveis, como a reciclagem de resíduos de construção e a captura de água da chuva, e a aplicação dos princípios da ecoeficiência para maximizar os benefícios ambientais com o menor custo possível.

6.2.2.2 Economicamente viável

A sustentabilidade econômica do sistema *Bubbledeck* não se limita apenas aos custos iniciais de construção, mas se estende por toda a duração do projeto. Isso significa que, além de buscar a eficiência no uso de recursos durante a construção, o sistema também visa a minimização dos custos de manutenção e operação ao longo do tempo. Isso pode ser alcançado por meio da seleção de materiais duráveis e de baixa manutenção, da adoção de tecnologias eficientes em termos energéticos e da consideração dos custos totais ao longo da vida útil do projeto, incluindo aqueles relacionados à energia, manutenção e eventual substituição de componentes.

6.2.2.3 Socialmente justo

O sistema *Bubbledeck* reconhece a importância de criar empreendimentos que beneficiem não apenas os investidores e proprietários, mas também a comunidade em que estão inseridos. Isso implica em promover a equidade social através da geração de empregos locais durante a construção, da promoção da inclusão e diversidade no local de trabalho, e da oferta de espaços e serviços que atendam às necessidades da comunidade. Além disso, o sistema busca fomentar o desenvolvimento socioeconômico local, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e o fortalecimento das relações comunitárias.

6.2.2.4 Culturalmente aceito

Para o sistema *Bubbledeck*, ser culturalmente aceito vai além da mera adaptação visual ao ambiente local; trata-se de respeitar e valorizar as tradições, valores e identidade cultural da comunidade em que o empreendimento está inserido. Isso pode envolver a incorporação de elementos arquitetônicos e de design que se harmonizem com a paisagem e arquitetura local, o respeito às práticas e crenças culturais da comunidade, e o envolvimento ativo das partes interessadas locais desde as fases iniciais do projeto até a sua conclusão, garantindo que suas preocupações e perspectivas sejam consideradas e respeitadas ao longo de todo o processo de desenvolvimento.

6.2.3 Desenvolvimentos de uma cadeia sustentável

6.2.3.1 Surgimento de uma nova vertente de mão de obra na construção civil

Com a introdução do sistema, uma nova abordagem na construção civil surge, exigindo habilidades específicas e conhecimento técnico para sua implantação. Isso pode levar ao surgimento de uma nova vertente de mão de obra especializada na instalação e manutenção desse sistema.

6.2.3.2 Investimento em qualificação profissional

A introdução dessa nova tecnologia demanda um investimento significativo em qualificação profissional. Os profissionais da construção civil precisarão adquirir novas habilidades e conhecimentos para lidar com essa tecnologia de maneira eficaz e segura.

6.2.3.3 Nova rede de relacionamento entre consultores, especialistas e acadêmicos

A implementação do sistema pode promover uma colaboração mais estreita entre consultores, especialistas da indústria da construção civil e acadêmicos. Isso pode resultar em uma troca de conhecimentos e experiências, contribuindo para o aprimoramento contínuo da tecnologia e sua aplicação prática.

6.2.3.4 Geração de emprego indireto na fabricação dos novos insumos da tecnologia *Bubbledeck*

A adoção do sistema implica na fabricação de novos insumos e componentes específicos para sua implementação. Isso pode resultar na criação de empregos indiretos em indústrias relacionadas à produção desses materiais, como empresas de concreto pré-fabricado e fabricantes de componentes estruturais.

6.2.3.5 Mão de obra especializada na utilização de software, aplicativos e equipamentos ligados ao processo

A utilização desse sistema de laje pode exigir o uso de software, aplicativos e equipamentos específicos para o projeto, planejamento e execução das estruturas. Isso demandará mão de obra especializada na operação dessas ferramentas tecnológicas, incluindo o treinamento e a capacitação de profissionais para utilizá-las de maneira eficiente e eficaz.

7 CONCLUSÃO

Este estudo bibliográfico mostrou que a tecnologia de lajes *Bubbledeck* emerge como uma alternativa promissora e inovadora no setor da construção civil, oferecendo uma combinação única de viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Através da redução significativa do consumo de materiais e da diminuição do peso estrutural, não apenas otimiza os custos de construção, mas também minimiza o impacto ambiental associado à produção e transporte de materiais.

Os benefícios econômicos são notáveis, destacando-se a redução de gastos com concreto e aço, além da diminuição do tempo de construção, o que resulta em economias adicionais em mão de obra e custos indiretos. Além disso, a durabilidade e a resistência estrutural do sistema contribuem para a longevidade das construções, gerando economias significativas ao longo do ciclo de vida do edifício.

A inovação não se limita apenas aos aspectos financeiros e ambientais, mas também à flexibilidade arquitetônica, permitindo a criação de espaços mais amplos e abertos, sem a necessidade de colunas intermediárias. Isso é particularmente benéfico em projetos de grandes dimensões, onde a liberdade de design é um fator crucial.

No entanto, apesar de suas vantagens claras, a implementação do sistema não está isenta de desafios e limitações. A necessidade de adaptação por parte dos profissionais da construção, bem como a disponibilidade de materiais e tecnologias específicas, pode representar barreiras significativas para sua adoção em larga escala. Além disso, questões relacionadas à resistência ao fogo e certificações de segurança podem exigir investimentos adicionais em pesquisa e desenvolvimento para garantir a conformidade com as normas e regulamentações vigentes.

Apesar desses desafios, conclui-se que a relevância do sistema construtivo de lajes *Bubbledeck* não pode ser subestimada, pois sua capacidade de aliar eficiência econômica e sustentabilidade ambiental, o posiciona como uma solução viável e atrativa para o setor da construção civil. Com o apoio contínuo de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e capacitação profissional, o *Bubbledeck* possui o potencial de se tornar uma parte fundamental do futuro da construção, oferecendo construções mais eficientes, duráveis e ecologicamente conscientes. Assim, é imperativo que sejam incentivados esforços nesse sentido,

visando uma indústria da construção mais sustentável e resiliente às demandas do século XXI.

Ademais, é importante mencionar que o sucesso da implementação do sistema também depende de políticas públicas que incentivem a adoção de práticas construtivas sustentáveis, através de subsídios, incentivos fiscais e campanhas de conscientização sobre os benefícios de tais tecnologias. A colaboração entre universidades, institutos de pesquisa, empresas de construção e governo é essencial para superar as barreiras existentes e maximizar o potencial dessa tecnologia.

Por fim, a tecnologia de lajes *Bubbledeck* representa um avanço significativo no campo da construção civil. Seus benefícios econômicos, ambientais e arquitetônicos o tornam uma opção altamente atrativa. Com esforços coordenados e contínuos em pesquisa, desenvolvimento, capacitação e políticas públicas, o *Bubbledeck* pode transformar o futuro da construção civil, promovendo um ambiente construído mais sustentável, eficiente e inovador.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: **Desempenho de edificações habitacionais.** Rio de Janeiro, 2023.

BUBBLEDECK BRASIL. **Bubbledeck: Inovação + sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.bubbledeck.com>. Acesso em: 23 fev. 2024.

BUBBLEDECK BRASIL. **Inovação + sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.bubbledeck.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CALCULISTASCLUB. **Inovação + sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yeOq7913YWk>. Acesso em: 25 fev. 2024.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: volume 2.** São Paulo: Pini, 2013.

CANTEIRO DE OBRA. **BubbleDeck, O Futuro da Construção Civil.** Disponível em: <https://www.nossocanteirodeobra.com.br/bubbledeck-o-futuro-da-construcao-civil/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CREA-AM. **Tecnologia com esferas plásticas reduz peso da laje.** Disponível em: https://crea-am.org.br/creaam_site/tecnologia-com-esferas-plasticas-reduz-peso-da-laje-32801/. Acesso em: 27 fev. 2024.

DUARTE, Junior. **Laje BubbleDeck®: Características gerais e viabilidade executiva.** *Revista Especialize On-Line*, Edição nº 8/2014. Disponível em: <https://ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n8-2014/laje-BubbleDeck-caracteristicas-gerais-e-viabilidade-executiva>. Acesso em: 2 mar. 2024.

ARQUITETURA NA PRÁTICA. **Tecnologia BubbleDeck.** Disponível em: <https://arquitetura-na-pratica.blogspot.com/2015/04/tecnologia-bubbledeck.html>. Acesso em: 27 fev. 2024.

INOVA CIVIL. **Lajes BubbleDeck: Entenda como economizar concreto com bolhas.** Disponível em: <https://inovacivil.com.br/lajes-bubbledeck-entenda-como-economizar-concreto-com-bolhas/>. Acesso em: 5 mar. 2024.

BUBBLEDECK BRASIL. **Informações Técnicas.** Disponível em: <https://www.bubbledeck.com.br/informacoes-tecnicas/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

TECHNE. Nº 138. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/51989735/techne-138>. Acesso em: 8 mar. 2024.

PASSAGEIRO DE PRIMEIRA. RioGaleão inaugura edifício garagem. Disponível em: <https://passageirodeprimeira.com/riogaleao-inaugura-edificio-garagem/>. Acesso em: 11 mar. 2024.

BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/26035/20650/66864>. Acesso em: 18 mar. 2024.

GUEDES, D. N.; ANDRADE, L. R. Avaliação de desempenho de estruturas utilizando lajes do tipo Bubbledeck. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024.

LAI, T. Structural behavior of BubbleDeck slabs and their application to lightweight bridge decks. MSc-Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2010. 41 p.

MEDEIROS, R. L. Proposta de Substituição das Esferas Plásticas do Sistema de Lajes BubbleDeck – Estudo de Cenário. 101 f. Monografia, Universidade Estácio de Sá, 2019.

MENDONÇA, Batalha. Avaliação da sustentabilidade nas lajes do tipo BubbleDeck. *Revista do Instituto Politécnico da Bahia*, Ano 8, Edição Trimestral, março de 2015.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. O sistema construtivo BubbleDeck. 2013. Disponível em: <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/03/24/bubbledeck-as-esferas-plasticas-como-sustentabilidade-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 14 mar. 2024.

PARCIANELLO, A. T. Planejamento e execução de lajes BubbleDeck na obra. Monografia, UNICEUB - Centro Universitário de Brasília, 2014.

ROZADAS, Dione Oliveira. Laje BubbleDeck: uma relação de eficiência estrutural x custo benefício em obras. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 1, 2023, e443133-e443133.

SOUZA, Eduardo. Lajes com bolhas de ar? Como o sistema BubbleDeck funciona. *ArchDaily Brasil*, 23 ago. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/945876/lajes-com-bolhas-de-ar-como-o-sistema-bubbledeck-funciona>. Acesso em: 24 mar. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Março 24, 2017 por Construção Civil PE T. Disponível em: <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/03/24/bubbledeck-as-esferas-plasticas-como-sustentabilidade-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 12 mar. 2024.

Arquitetos P de R. **TransPort/ Sede da Transavia e Martinair.** arquitectonweb.nl. Disponível em: <https://architectenweb.nl/projecten/project.aspx?id=23508>. Acesso em: 19 jul 2024.

Torre Regione Piemonte | BubbleDeck Italia. **Archilovers**. 2013 Disponível em:<https://www.archilovers.com/projects/84863/torre-regione-piemonte.html>. Acesso em: 19 jul 2024.

SILVA, Yuri Mariano de Oliveira. Estudo comparativo entre lajes Bubbledeck e lajes lisas. 2011. 62f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

DIN 1045, 2001, **Concrete – German code for the design of concrete structures**. Disponível em:http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/durabilidade.pdf Acesso em: 02 Ago 2024.