

ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO VOL. 4

ORGANIZADORES
BRUNO MATOS DE FARIAS
VANESSA DA SILVA DE AZEVEDO
MISCHELLE PAIVA DOS SANTOS


Editora

Bruno Matos de Farias
Vanessa da Silva de Azevedo
Mischelle Paiva dos Santos
Organizadores

ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E
INOVAÇÃO – VOL. 4

1ª Edição



Rio de Janeiro – RJ
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia na prática [livro eletrônico] : construção e inovação: vol. 4 /
Organizadores Bruno Matos de Farias, Vanessa da Silva de Azevedo,
Mischelle Paiva dos Santos. – Rio de Janeiro, RJ: Epitaya, 2022
308p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87809-39-7

1. Engenharia civil. 2. Construção civil. I. Farias, Bruno Matos. II.
Azevedo, Vanessa da Silva de. III. de Santos, Mischelle Paiva dos.

CDD 624.1

Elaborado por Maurício Amormino Júnior –

Epitaya Propriedade Intelectual Editora Ltda
Rio de Janeiro / RJ
contato@epitaya.com.br
<http://www.epitaya.com.br>


epitaya
Editora

Bruno Matos de Farias
Vanessa da Silva de Azevedo
Mischelle Paiva dos Santos
Organizadores

ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E
INOVAÇÃO – VOL. 4



Rio de Janeiro – RJ
2022

CONSELHO EDITORIAL

EDITOR RESPONSÁVEL	Bruno Matos de Farias
ASSESSORIA EDITORIAL	Helena Portes Sava de Farias
ASSISTENTE EDITORIAL	Milene Cordeiro de Farias
MARKETING / DESIGN	Gercton Bernardo Coitinho
DIAGRAMAÇÃO/ CAPA	Bruno Matos de Farias
REVISÃO	Autores

CIÊNCIAS DA TERRA E ENGENHARIAS	Prof. Adriano Arpad Moreira Gomes
	Profa. Bianca Marinho Quintella Borges Soares
	Prof. Emilio Farjalla Neto
	Prof. Everton Rangel Bispo
	Prof. Gercton Bernardo Coitinho
	Profa. Kátia Eliane Santos Avelar
	Prof. Luiz Felipe Dutra Caldeira
	Prof. Marcio Vieira Costa
	Prof. Marco Eduardo do Nascimento Rocha
	Prof. Paulo Antônio Pereira Igreja
	Profa. Rachel Cristina Santos Pires

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que lhes apresento o e-book intitulado “ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO – VOL. 4”. Nele foi possível reunir oito artigos fruto de Trabalho de Conclusão de Curso dos alunos de Engenharia Civil da Universidade Estácio de Sá, campus Norte Shopping, localizada no Rio de Janeiro-RJ.

O capítulo 1 intitulado “FILOSOFIA LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL” tem como objetivo geral descrever de que forma sistema lean construction pode ser útil e eficaz nas empresas de construção civil, uma vez que a construção civil é responsável pelo uso de 40 a 75% da matéria prima produzida no planeta, e administrar essa matéria prima de forma eficaz e eficiente é dever das construtoras e dos seus responsáveis técnicos, o desperdício de insumos impactam diretamente nos custos do produto e por consequência na natureza.

No capítulo 2 intitulado “MODELAGEM NUMÉRICA DE TRELIÇA PLANA PARA ANÁLISE LINEAR ESTÁTICA POR ELEMENTOS FINITOS” os autores analisam a estática de uma treliça, que é um modelo estrutural simples e de comportamento conhecido, confrontando o método analítico de obtenção da matriz de rigidez, deslocamentos e reações nodais, com os resultados obtidos nas modelagens numéricas no software ANSYS, que tem como base de cálculo o método dos elementos finitos (MEF).

O capítulo 3 intitulado “PROCESSOS DA TECNOLOGIA BIM E SEUS IMPACTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL” tem como objetivo abordar a tecnologia BIM na construção civil, destacando seus principais processos, implementação e impactos.

No capítulo 4 “IMPERMEABILIZAÇÃO EM VIGAS BALDRAME: INFILTRAÇÃO POR CAPILARIDADE” os autores demonstram as vantagens da resistência à água da obra por meio de um estudo de capilaridade em vigas baldrame, utilizando-se de somatória de técnicas distintas para a construção de uma estrutura de concreto.

O capítulo 5 “ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA PARA A CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA” os autores fazem uma análise crítico-reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para a crise energética Brasileira.

No capítulo 6 “CONTAINERS RESIDENCIAIS MODULARES” o artigo visa modelar um container marítimo em um espaço 3D para ser utilizado como padrão em outros projetos. Este container se utilizará de um mínimo de material possível para que possa se adaptar à quase todo tipo de desafios de moradia e terreno.

O capítulo 7 “PROPOSTA DE REUTILIZAÇÃO DE BLOCO DE CONCRETO COMO AGREGADO RECICLADO” recomenda a proposta de reutilização dos blocos de concreto como agregados que antes virariam rejeitos para a construção civil e discutir a importância dessa prática para a construção civil e para a preservação do meio ambiente.

Por fim, no capítulo 8 “PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN) NO RIO DE JANEIRO – RJ” propõe-se a apresentar Viaduto Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ, construído em 1969. Para desenvolvimento do estudo de caso utilizou-se a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), que consiste basicamente em três etapas: levantamento de subsídios, através de vistoria do local, identificando a natureza e origem das patologias; diagnóstico da situação, buscando o entendimento dos fenômenos em termos de interpretação das relações de causas e efeitos que caracterizaram as manifestações patológicas da estrutura de concreto armado.

Boa leitura!

Prof MSc Bruno Matos de Farias

Doutorando e Mestre em Desenvolvimento Local

Organizador do E-book Engenharia na prática: construção e inovação – vol. 4

SUMÁRIO

Capítulo 1.....09

FILOSOFIA LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Felipe Manoel Sampaio da Silva; Blenda Furtado da Costa; Mischelle Paiva dos Santos

Capítulo 2.....44

MODELAGEM NUMÉRICA DE TRELIÇA PLANA PARA ANÁLISE LINEAR ESTÁTICA POR ELEMENTOS FINITOS

Lucia Helena Guimarães Cardoso; Miguel Henrique de Oliveira Costa

Capítulo 3.....82

PROCESSOS DA TECNOLOGIA BIM E SEUS IMPACTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Natália Pinheiro da Conceição; Thiago Variz de Miranda

Capítulo 4.....111

IMPERMEABILIZAÇÃO EM VIGAS BALDRAME: INFILTRAÇÃO POR CAPILARIDADE

Ademir Francisco de Souza; Bruno Matos de Farias

Capítulo 5.....154

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA PARA A CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA

Alexandre Garcia Rodrigues; Fabrício Barbosa Freitas

Capítulo 6..... 198

CONTAINERS RESIDENCIAIS MODULARES

Samuel Augusto Martins Sobrinho; Fabrício Barbosa Freitas

Capítulo 7..... 223

**PROPOSTA DE REUTILIZAÇÃO DE BLOCO DE CONCRETO COMO
AGREGADO RECICLADO**

Ernani Michel Lima Cardoso de Oliveira; Bruno Matos de Farias

Capítulo 8..... 264

**PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN) NO
RIO DE JANEIRO - RJ**

Caroline Camila Rodrigues dos Santos; Bruno Matos de Farias

Felipe Manoel Sampaio da Silva

UNESA

Blenda Furtado da Costa

UNESA

Mischelle Paiva dos Santos

UNESA

RESUMO

A construção civil é responsável pelo uso de 40 a 75% da matéria prima produzida no planeta, e administrar essa matéria prima de forma eficaz e eficiente é dever das construtoras e dos seus responsáveis técnicos, o desperdício de insumos impactam diretamente nos custos do produto e por consequência na natureza, devido a isso as incorporadoras e construtoras principalmente as maiores vem investindo de forma considerável em sistemas que evitem o desperdício de materiais e aumentem a produtividade dos seus colaboradores, entre esses sistemas o *lean construction*(construção enxuta) é o que vem sendo mais aplicado. Com a intenção de aumentara eficiência e a produtividade na construção civil, afim de levar a níveis considerados satisfatório, surge o *lean construction*, uma adaptação do *lean production*. técnica voltada integralmente para produção e controle de estoques de matéria prima, o *lean* visa eliminar o que não acrescenta, cortando o que não agrega valor para a construção e principalmente na otimização do tempo, o *lean* visa absorver o que de melhor os colaboradores têm para oferecer, para isso, utilizam de ferramentas como o *kanban* para estimular a construção puxada e a padronização dos serviços, assim aproveitando ao máximo o tempo e as matérias primas. O objetivo deste trabalho é fazer o estudo de como o sistema *lean construction* pode ser útil e eficaz nas empresas de construção civil.

Palavras-chave: construção enxuta; sistema Toyota de produção; redução de perdas; produtividade.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de muito impacto social, setor onde abriga aproximadamente 7% de todo o PIB nacional. Outra parte social importante da construção é a questão das habitações, segundo o IBGE (2016-2019) o déficit habitacional no Brasil no ano de 2019 chegou ao número de 5.876.699 milhões de moradias, com isso surge a necessidade da construção

de novas unidades habitacionais. Desta forma a previsão para os próximos anos é de que o Brasil se torne um verdadeiro canteiro de obras, com grande número de construções voltadas para a habitação.

Em paralelo a esse cenário otimista para a construção civil os preços do insumo para a construção aumentaram de forma considerável, e a mão de obra vem ficando cada vez mais escassa, não acompanhando a quantidade de obras do setor, tornando assim a mão de obra mais cara do país. No ano de 2021, alguns materiais como fios e cabos chegaram a subir mais de 80%, o preço das estruturas metálicas chegou a um aumento de 50%, dos pisos, cimentos e tintas houve um aumento de 20%, isso refletiu no aumento de 25% dos custos no final da obra. (G1GLOBO, 2021).

Segundo a *Constructapp (2016)* a construção civil é responsável pelo uso de 40 a 75% da matéria prima produzida no planeta, e administrar essa matéria prima de forma eficaz e eficiente é dever das construtoras e dos seus responsáveis técnicos. O desperdício de insumos impacta diretamente nos custos do produto e por consequência na natureza.

Devido os cenários descritos acima, surge a necessidade de um pensamento mais enxuto, pois a demanda da construção e os preços de insumos serão aumentados de forma significativa, e o profissionalismo e a padronização dos serviços serão cada vez necessários nos canteiros de obra, pensamentos que começaram a ser estudados desde 1992, por Lauri Koskela.

Devido os desperdícios e falta de padronização, Koskela (1992), intensificou seus estudos para a introdução da filosofia *lean* na construção civil. A partir disso, surge o *Lean construction*, uma adaptação do *lean Thinking* (proveniente do sistema Toyota de produção) nas necessidades dos processos construtivos. Esse modelo inicialmente fabril foi estendido as demandas da construção civil, através de ferramentas (principalmente o uso de *kanban*) adaptadas para a construção civil.

JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Devido esse cenário de aumento da demanda de construções e proporcionalmente dos preços de matéria-prima e mão de obra, a filosofia *Lean construction* vem como aliada das construtoras em Geral. Com isso, o processo de otimização de mão de obra e de materiais, será cada vez mais necessário para conseguir manter os preços competitivos e manter as margens de lucro atrativas para investidores e construtores.

Sarcinelli (2008) aponta que a evolução da metodologia rudimentar que as obras são realizadas na maioria das vezes, precisam começar a ser regidos por um pensamento mais enxuto de construção, para diminuir perdas. Acredita-se que esse será o diferencial e credenciará para que o setor imobiliário alcance níveis estáveis.

Sendo assim, o tema abordado é de grande relevância por sua atual aplicação no mercado da construção civil a fim de obter novas oportunidades de crescimento tecnológico aliado ao *Kanban*, no controle de materiais.

A indústria da construção civil, conforme abordado anteriormente é uma das indústrias mais importantes para o país com isso, surge a necessidade de cada vez mais se otimizar e padronizar seus serviços, a fim de diminuir o uso excessivo e desnecessário de insumos para a construção, assim aumentando a margem de lucro e principalmente agredindo menos ao meio ambiente.

Este trabalho através do mapeamento do mercado quanto as necessidades da construção civil e pesquisas bibliográficas de diversos sites e artigos que abordem o tema da construção enxuta, tem como objetivo identificar métodos de melhorias para construção civil através do pensamento enxuto.

Apesar da construção civil abrigar cerca de 7,5 % de toda a mão de obra nacional e ser uma das indústrias mais importantes para o Brasil, a falta de avanços no seu modo de produção ainda é uma problemática (IBGE, 2019). De acordo com Zuffo (2002), o ramo da construção civil é um dos setores menos avançados tecnologicamente e ainda com práticas antigas e tradicionais, com poucos estudos buscando sua melhoria.

Devido a indústria da construção civil ainda não estar acompanhando as outras tecnologicamente, as construtoras em geral, acabam utilizando métodos tradicionais e retrógrados, assim gerando desperdícios e onerando a obra.

Desta forma surge a necessidade de novas práticas na engenharia civil, práticas essas que agreguem valor a obra e evitem desperdícios. Dessa forma surge a inquietação de como os processos referentes as obras podem melhorar e de como diminuir os atrasos neste setor.

Considerando a necessidade de novas práticas na engenharia civil, que agreguem valor a obra e evitem desperdícios, surge a inquietação de como os processos referentes as obras podem melhorados e de como é possível diminuir os atrasos neste setor. Nesse sentido, Koskela no ano de 1992, mapeou os desperdícios do setor e começou o desenvolvimento da filosofia enxuta na construção civil.

Conforme cita Ohno (1997) o Lean Construction é um ajuste do Toyotismo aplicado nas carências da construção civil, o pensamento enxuto nas obras, focadas atividades que agregam valor ao produto e visam zerar os desperdícios. Esta filosofia tem aplicações na gestão de estoque, gestão da produção (Just In Time), layout de canteiro favorável e ergonômico e a sua implantação integral proporciona um nível de excelência e economicidade as empresas.

Este trabalho tem como principal objetivo analisar como a filosofia *lean construction* pode auxiliar no aumento de produtividade e eficiência no uso de insumos e matéria-prima quando aplicadas no setor da construção. Exemplificar e explicar os conceitos da construção enxuta, a fim de tornar mais claro para o público de como esta filosofia pode ser importante na construção civil e ao meio ambiente.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre o tema;
- Observar os impactos da filosofia *lean* na empresa estudada;
- Observar os resultados da aplicação do conceito *lean* na empresa referenciada.

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica dos principais assuntos referentes ao *lean construction*. É realizado uma espécie de linha do tempo que mostra a evolução da produção, passando pela era do artesanato, taylorismo, fordismo e finalmente a aplicação da filosofia *lean* nas necessidades da construção civil.

PRODUÇÃO ARTESANAL

O ser humano, por ter a necessidade de se alimentar e se vestir, vem desde os primórdios criando métodos criativos para a produção, visando a facilitação de sua vida e de sua família. Essas atividades foram evoluindo e logo se tornou um meio de comércio, surgindo assim os denominados artesãos, que tinham habilidade na produção de um produto e trocavam esses produtos por moedas ou algo de valor.

Segundo Albornoz (2000), no modelo artesanal, os artesãos dominavam todo o ciclo da produção de um bem ou serviço, realizando todo o processo de forma solitária ou com o auxílio de ajudantes.

Os artesões acompanham a fabricação de um determinado produto em todos os seus detalhes, desde a aquisição e preparação da matéria-prima até o acabamento e entrega do produto. Sem divisão do trabalho a produção é de caráter familiar sendo o artesão o proprietário da oficina e ferramentas. Os produtos eram feitos sob medida e atendia exatamente a necessidade do cliente (PINHEIRO, 2018).

De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), o grande complicador que a produção artesanal enfrentava era a ausência de confiabilidade nos produtos que eram elaborados, isto é, os produtos fornecidos neste modo de produção não conseguiam atingir a qualidade nos produtos, isto ocorria em função da ineficiência dos testes que comprovassem a qualidade e durabilidade dos meios de produção.

Na figura 1, apresenta uma família exercendo o trabalho de manufatura em sua casa, que demonstra um exemplo de produção artesanal familiar.

Figura 1 - Produção artesanal.



Fonte: Braick, Patrícia Ramos (2011).

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Devido ao rápido crescimento populacional e a migração do homem do campo para a cidade, a revolução industrial começa com a mecanização da indústria têxtil na Inglaterra a partir de 1760 (CAVALCANTE, 2011).

Segundo Silva e Cavalcante (2011), a revolução industrial, foi a grande responsável do sistema capitalista, isto é, passou do sistema de capitalismo comercial para o industrial, reafirmando a relevância deste movimento na sociedade.

De acordo com Cavalcante (2011), devido ao grande êxodo rural que ocorria na Inglaterra, concentrou uma grande população nas cidades, essa grande concentração se aliou ao início do desenvolvimento industrial, o que propiciou o início da integração homem e máquina, aumentando assim a produtividade no chão de fábrica e mudando o comportamento social. A partir da revolução, os artesãos tiveram que se adaptar ao ritmo intenso das fábricas, com isso novos modelos políticos e sociais começaram a surgir.

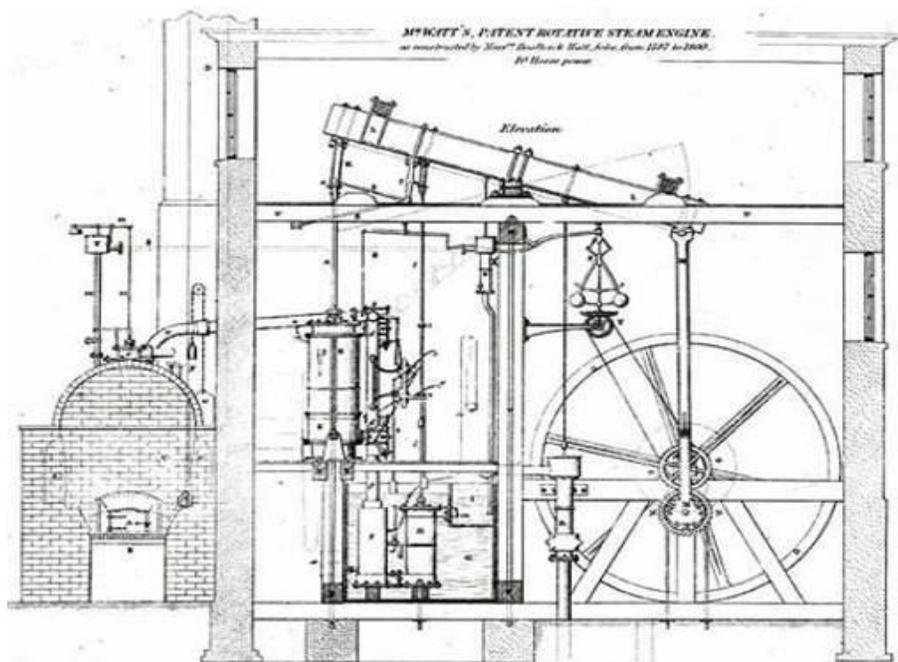
A primeira grande revolução na indústria se deu devido a criação e aprimoramento da máquina a vapor, máquina na qual impulsionou as fábricas de produção de tecido e a urgência da construção da malha ferroviária, tendo como o primeiro país a aderir a Inglaterra e logo após diversos países da Europa seguiram o mesmo caminho (DATHEIN, 2003).

É fascinante, como a revolução industrial mudou a vida das pessoas daquela época e como até hoje seus reflexos continuam transformando o nosso dia a dia com a revolução tecnológica (SILVA E CAVALCANTE, 2011).

Na figura 2, um exemplar de máquina a vapor presente na revolução

industrial.

Figura 2 - Máquina a vapor.



Fonte: Pai da revolução industrial. Historiazine, 2021. Disponível em: <https://www.historiazine.com/2020/03/o-pai-da-revolucao-industrial.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

OS PENSAMENTOS DE TAYLOR (TAYLORISMO)

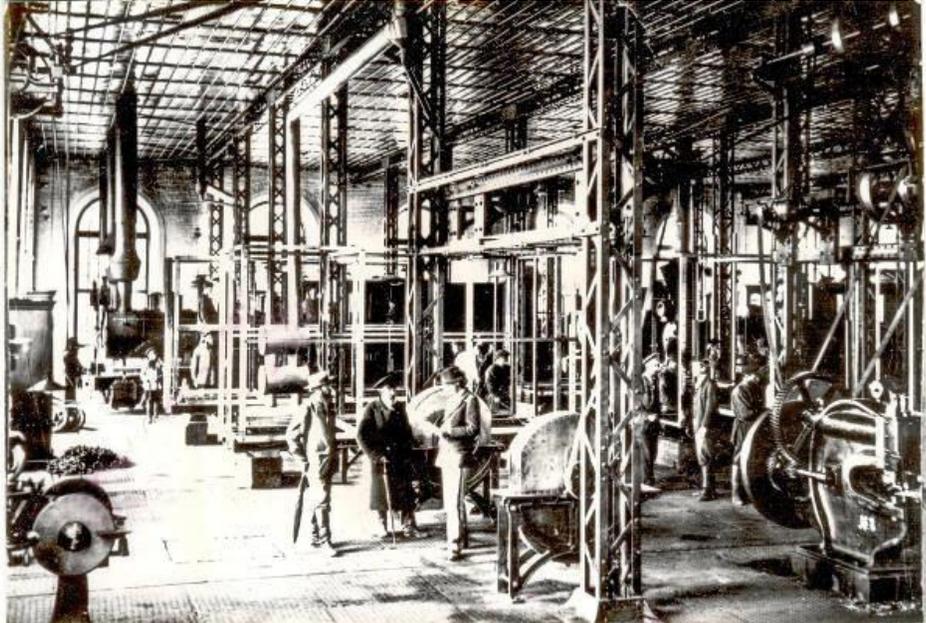
As grandes mudanças provocadas pela revolução industrial fizeram surgir a necessidade da implantação de um novo modelo de produção: Taylor propôs um novo modelo que focava na padronização de serviços e trabalho extremamente setorizado e especializado, cada colaborador tinha uma única função e exercia ela

repetitivamente, assim aumentando de forma considerável o rendimento e por consequência a diminuição do tempo para exercer as tarefas (PEREIRA, 2012).

Segundo Alencar e Ota (2011), a aplicação do Taylorismo teve como motivação a organização do layout dos setores da indústria, seus objetivos eram voltados para uma produção mais enxuta, setorização do trabalho, remuneração por unidade produzida e o foco na especialização do colaborador.

A figura abaixo, demonstra como se deu a setorização referida por Taylor.

Figura 3 - Setorização de Taylor.



Fonte: Sousa, Rafaela (2021).

OS PENSAMENTOS DE HENRY FORD (FORDISMO)

O fordismo, como é costumeiro citar os trabalhos de Henry Ford, foi um movimento que consistiu em inovações tecnológicas e econômicas caracterizada pela produção em massa. Com o fordismo a divisão do trabalho foi ainda mais intensificada, com a criação das esteiras rolantes, a parcialização das tarefas, controle do tempo ocioso através de dispositivos eletrônicos, submetia o operário ao ritmo das máquinas (ALENCAR e OTA, 2011).

Segundo Capitalresearch (2020), o Fordismo foi utilizado a nível mundial nas indústrias, principalmente entre 1920 e 1970. O Fordismo tinha como principal objetivo a produção em massa, produzir cada vez mais, em menor tempo e com o menor custo, para que isso se tornasse viável, Henry implementou a linha de montagem, padronizou os serviços e automatizou ainda mais a produção através das esteiras, que levavam o material até o colaborador, e lá realizava o seu serviço especializado.

O Fordismo foi responsável por retirar do chão de fábrica toda produção artesanal, assim automatizou todo o processo industrial, estabelecendo padrões nos seus automóveis onde todos tinham o modelo T e introduziu máquinas responsáveis por cortar as ferragens dos veículos, diminuindo assim a chance de erro. Ford também implantou em sua produção uma esteira rolante que levava o material a ser trabalhado até o operário, diminuindo assim o tempo de transporte (MATIAS, 2021).

Na figura 4 expõe uma esteira rolante, uma inovação da produção fordista e aplicada até hoje.

Figura 4 - Esteira de Ford.



Fonte: Matias, Átila (2021)

SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (LEAN MANUFACTURING)

O pensamento enxuto começou a ser implantado pela montadora de carro Toyota no século XX, como uma forma revolucionária na montagem de carros. O sistema Toyota tinha como principal propósito a fabricação de carros com um nível de qualidade satisfatório e redução de custos consideráveis, para alcançar esses objetivos, visavam eliminar os desperdícios (SCHLUNZEN JUNIOR, 2003).

Corrêa (2004), aponta que o fracasso do Japão na Segunda Grande Guerra Mundial em 1945, acarretou o reinício da Toyota. Devido aos atributos internos do mercado japonês, a instituição sentiu como urgência a reestruturação do seu modo de produção.

A Montadora Toyota aproveitou a linha de montagem fordista, e aprimorou com práticas como a produção puxada conforme a necessidade do cliente, fluxo contínuo e fluxo puxado um a um (JUSTA, 2009).

Azevedo et. al. (2008) afirma que o sistema Toyota de Produção tem como principal meta a eliminação total dos desperdícios, tendo como base

o Just-in-Time e a automação dos processos. O Just-in-time significa que a produção de um produto somente sob a demanda e no momento necessário. A automação significa separação do trabalho humano e trabalho da máquina.

IDENTIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS

Taiichi Ohno identificou os sete tipos de desperdícios na produção a serem eliminados: Desperdício por espera - Tempo de espera para recebimento de materiais, mão de obra ou informações; Desperdício por defeito - produto fora das especificações técnicas solicitadas; Desperdício por Transporte - transporte de materiais ou produtos que não agregam valor; Desperdício por Movimentação - movimentação de pessoas que ocorrem de forma desnecessária por falha no layout do local de produção; Desperdício por Excesso de Estoque - grande concentração de matérias primas em estoque; Desperdício por excesso de produção - produção além da demanda necessária pelos clientes; Desperdício por super processamento - ocorre devido a falta de padronização dos serviços, assim alguns serviços que não agregam valor acabam sendo realizados (SARCINELLI, 2008).

ESTRUTURA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Devido a identificação destes desperdícios, foi desenvolvida uma estrutura para que eliminasse de forma total estes desperdícios, esta estrutura desenvolvida tem como seus dois pilares o Jidoka e O *Just in time* (JIT).

Segundo Abdulmouti (2015), Jidoka é a automação das linhas produções das linhas de produção a ponto de que sejam paradas de forma eventual quando surge alterações (defeitos) na linha de produção, defeitos como: mal funcionamento das máquinas, problemas na qualidade ou de trabalho atrasado. Essas paradas podem ser solicitadas pelos funcionários ou pelo sistema da própria máquina. Visa a prevenção de produzir materiais defeituosos e assim somente produtos com a qualidade verificada é passado para a outra fase de produção.

Sarcinelli (2008), afirma que o JIT é resumidamente como o material certo, na hora certa e na quantidade certa, é produzir conforme a demanda do cliente, o JIT inverteu a ordem do processo produtivo, os clientes que passaram a ser a ponta do processo produtivo e a puxar toda a cadeia produtiva. Para a funcionalidade do Just in Time, foi desenvolvido o *Kanban*, que tem como significado quadro de sinalização. O *Kanban* é uma forma de controle e de gestão visual, através de caixas, cartões, pastas, com o intuito de sinalizar o que deve ser realizado e as demais especificidades.

Na Figura 5 é possível observar a estrutura do Sistema Toyota de Produção (STP).

Figura 5 - Estrutura STP.



Fonte: Mota e Alves (2008)

INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sarcinelli (2008) define a Construção civil como um dos principais ramos de influência socioeconômicos do Brasil. Mesmo a construção civil sendo um dos setores mais relevantes socialmente, a construção civil ainda apresenta uma série de problemas que influenciam negativamente os empreendimentos desde a fase projetos até a execução da obra.

A IMPORTÂNCIA SOCIAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo o IBGE (2019), a construção civil concentra 7,30% de todos os empregos no Brasil, empregos gerados de forma direta e indireta.

O setor da construção está em constante crescimento devido à alta demanda de construções de residências, estradas e comércios. Em razão disso ações focadas no setor da construção são essenciais no desenvolvimento econômico nacional (SANTO et al 2014).

A tabela abaixo, demonstra o quantitativo de mão de obra nacional, aplicada na construção civil.

Tabela 1 - Mão de obra empregada na construção civil.

Ano	Pessoas Ocupadas		Participação Relativa da Construção Civil na População Ocupada Total (%)
	Brasil	Construção Civil	
2000	78.744.515	5.579.533	7,09
2001	79.340.589	5.603.994	7,06
2002	82.416.557	5.851.946	7,10
2003	83.770.062	5.652.633	6,75
2004	87.942.470	5.862.069	6,67
2005	90.538.826	6.135.556	6,78
2006	93.049.796	6.201.572	6,66
2007	94.551.694	6.514.359	6,89
2008	95.720.196	6.833.562	7,14
2009	96.559.173	7.229.909	7,49
2010	98.116.218	7.844.451	8,00
2011	99.560.157	8.099.182	8,13
2012	100.960.268	8.578.192	8,50
2013	102.537.398	8.808.155	8,59
2014	105.472.678	9.149.114	8,67
2015	101.955.076	8.639.884	8,47
2016	100.362.394	8.033.881	8,00
2017	101.617.954	7.692.147	7,57
2018	104.340.275	7.617.875	7,30

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais, 2019.

O HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme aborda Lorenzon; devido à baixa produtividade e o alto custo, a construção civil sempre foi alvo de críticas. Estudos relatam que até a década de 1980, havia um grande quantitativo de obras públicas e poucos requisitos referentes qualidade das construções. Neste contexto, os clientes não eram habituados a exigir os padrões de qualidade mínimos e com isso as empresas da construção civil conseguiram altos lucros, pois os custos da obra eram facilmente repassados ao produto. E por isso o setor não sentia a necessidade de incluir novos materiais e métodos construtivos, ficando atrasado em relação aos demais setores (MARTINS, 2006).

Os desperdícios de materiais nas obras não estão concentrados apenas nos insumos e matéria-prima, há também um elevado desperdício de mão de obra e é um desperdício que precisa de atenção, tendo em vista que o custo de mão de obra ocupa entre 30 e 40% na produção.

Em um estudo realizado na Inglaterra, pelo *Building e Research Station*, no levantamento de um total de 172 casas, onde foi implantado princípios de racionalização, obteve-se que cerca de 1/3 do tempo da obra era desperdiçado em tarefas que não agregavam valor a construção (GRAZIA, 1988).

AS DIFERENÇAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM O SETOR DE MANUFATURA

Sarcinelli (2008), configura a indústria construção civil como atrasada em relação as outras indústrias principalmente em relação aos processos produtivos e na gestão.

O setor construtivo, possui diversas características diferentes do setor demanufaturas. Essas características segundo Meseguer (1991) são:

1. Produção centralizada. Na construção civil os operários que se movem em torno do produto que fica fixo.
2. Grande quantidade de mão de obra não qualificada. Devido ser um setor que produz empregos temporários e com poucas chances de promoção, assim não motivando seus colaboradores.
3. Produção a céu aberto
4. Falta de clareza nas funções de cada colaborador.

O setor de orçamentos e planejamento é menos preciso que em relação as outras indústrias.

O quadro abaixo apresenta as principais diferenças entre o setor demanufatura e o da construção civil

Quadro 1 - Diferença entre a indústria de manufatura e construção civil.

Característica	Manufatura	Construção
Projetos	os projetos resultam na produção de produtos com grandes quantidades e variedade relativamente pequena	Os projetos resultam na produção de um produto singular, geralmente único, com grande variedade e pequena quantidade
Local de produção.	Na fábrica, onde podem ser produzidos múltiplos produtos	No canteiro de obras, onde é produzido somente um produto. A produção de um novo produto exige uma nova "fábrica" (canteiro de obras)
Fluxo de produtos	O produto vai fluindo e tendo seu valor aumentado ao longo da sequência das operações	Os trabalhadores e recursos se movem para agregação de valor, mas o produto permanece estacionado
Processos	Discretos e, em sua maioria automatizados	Prioritariamente manuais. A automação existente visa auxiliar os trabalhos dos colaboradores ao invés de substituí-los
Tempo de produção	Curto prazo (minutos, horas, dias e semanas)	Longo prazo (meses e anos)

Fonte: Guimarães & Guimarães (2016).

PENSAMENTO *LEAN* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A falta de estudos e materiais da área acadêmica em relação a aplicação da filosofia *lean* na construção civil, motivou Koskela (1992) a criar um novo parecer, que aplicava as características da produção enxuta na realidade das construções e reformas. Assim surgiu a filosofia da construção enxuta.

OBJETIVOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Com o passar dos anos e com acesso mais fácil a informação, o padrão de exigência dos clientes evoluiu, e o padrão de construir teve que se adaptar à nova realidade, um dos principais conceitos da construção enxuta é focar no que agrega valor ao cliente, diferentemente dos padrões construtivos anteriores que o foco era apenas o lucro da instituição.

Segundo Koskela (1992) citado por Sarcinelli (2008), os principais princípios e objetivos da construção enxuta são:

- Reduzir a quantidade de atividades que não agregam valor ao cliente;
- Enfoque nas atividades que agregam valor ao produto e ao cliente;
- Padronizar os métodos construtivos;
- Reduzir a quantidade de atividades, a fim de otimizar o tempo;
- Aumentar a transparência dos processos;
- Focar na melhoria contínua;
- Realizar benchmarking.

FERRAMENTAS PARA UMA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Para auxiliar na aplicação da filosofia *lean*, faz-se necessário o uso de ferramentas criadas ou adaptadas para a construção civil, e as mais citadas na literatura são:

- *Kanban*;
- Arranjo físico;
- *Heinjuka*;
- *Kaizen*;
- Mapa fluxo de valor;
- Operador polivalente;
- BIM.

KANBAN

Segundo Costa et al. (2008), a ferramenta *kanban* foi desenvolvida pela empresa Toyota, com o objetivo de simplificar e otimizar as atividades de programação, gestão e controle. Ou seja, dar funcionalidade ao Just in time.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2005), A palavra *kanban* tem como país de origem o Japão, que tem como significado cartão visual, esta ferramenta controla a transferência de material de uma fase para a outra de operação.

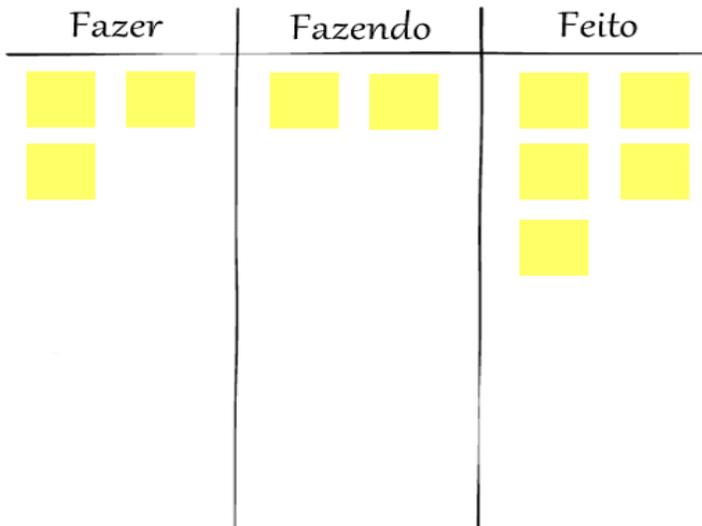
De acordo com Correia (2007), o uso desta ferramenta, ajuda na movimentação de materiais e serviços, evitando que haja pausa na produção, gerando desperdícios de tempo e de custos.

Os *kanbans* mais utilizados na construção civil são: *kanban* de estoque e de produção.

- *Kanban* de produção: Tem como principal objetivo a gestão de atividades, na construção civil esta tipologia facilita a gestão visual do andamento da obra, assim é possível observar onde estão alocados os materiais de obra, recursos humanos e os próximos passos da obra, assim proporcionando uma construção puxada, onde uma atividade puxa a outra.

Na Figura 6, um exemplo de *kanban* de produção que pode ser aplicado na construção civil.

Figura 6 - *Kanban* de produção.

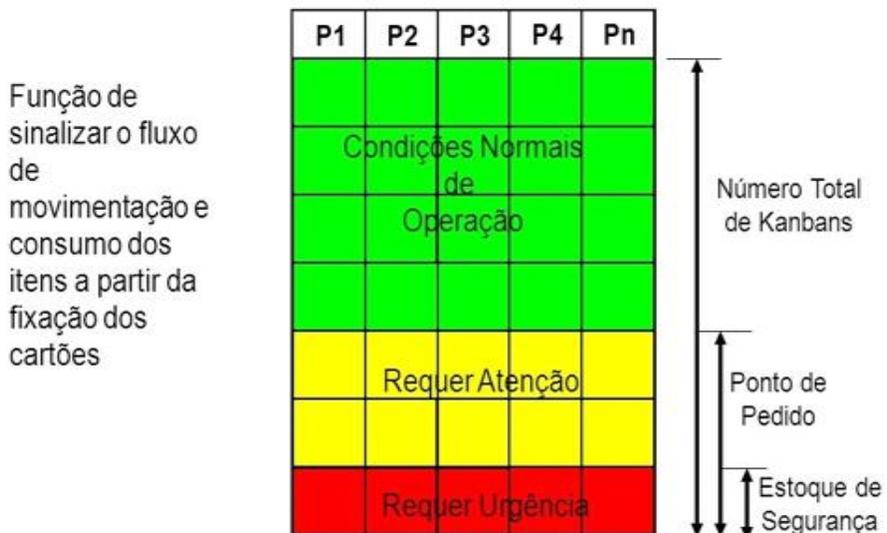


Fonte: Kleber, Bernardo (2014)

- *Kanban* para gestão de estoque: Segundo Giancesi & Biazzini (2002), O *kanban* deve ser uma ferramenta do cotidiano dos gestores de produção, pois facilita a visualização do estoque de forma simplificada e assim evitando desperdícios.

A figura abaixo mostra um exemplo de *kanban* do funcionamento de um *kanban* na gestão de estoque.

Figura 7 - *Kanban* de estoque.



Fonte: Tubino, Dalvio Ferrari (2009)

ARRANJO FÍSICO

Um bom layout de canteiro de obras ajuda a manter a organização, fluidez e a segurança da obra na questão ergonômica. O canteiro de obras é uma das partes da obra mais negligenciada no planejamento de obras, no geral o dimensionamento do canteiro é feito sem estudos e sofrem mudanças de acordo com os problemas que vão surgindo na execução da obra, assim não respeitando questões econômicas e principalmente ergonômicas, gerando retrabalhos e acidentes (MELO, 2008).

Segundo Filho (2011), o projeto e execução de um canteiro de obras de forma assertiva, otimizam a obra, como por exemplo, a diminuição do trajeto entre os postos de trabalho, diminuindo assim o desperdício do tempo

e recursos em decorrência desta movimentação entre atividades. E a elaboração do canteiro deve ser feito através de estudos das várias fases da obra, devido a isso pode ocorrer mudanças no decorrer das atividades. Ele precisa ser realizado de forma que defina as dimensões dos trabalhos que serão realizados nele, e que seja planejado para que haja mudança para toda fase da evolução da obra, assim facilita o desenvolvimento da obra, gerando economia e principalmente segurança para os colaboradores da obra (FERREIRA, 1998).

Os principais pontos para a elaboração do canteiro são: Economia em movimentos que possam ser evitados, disposição corretas de materiais e principalmente a segurança de seus colaboradores.

HEINJUKA

Conforme aborda Sacks e Gehbauer (2010), os sistemas de informação tem como objetivo o melhoramento dos processos produtivos, assim mapeiam os itens que não agregam valor a construção e com isso reduz tempo e o gasto indevido de insumos.

Heinjuka é a produção nivelada de acordo com a sequência de pedidos, assim permitindo que a produção consiga atender as necessidades do cliente de forma eficaz e eficiente. Para realizar esse nivelamento de volume na produção é realizado um cálculo do quanto se precisa para atender as demandas, dividido pelo tempo, alcançando assim uma média diária de produção, e de acordo com Ghinato (2000) esta programação permite a combinação de itens distintos de forma que garanta a continuidade da produção (BORBA, 2002).

FLUXO DE VALOR

O mapeamento do fluxo de valor, é uma ferramenta qualitativa que consistena captação de informações das necessidades do cliente, para assim identificar o que agrega valor ou não ao produto, facilitando a elaboração do plano de ação o foco nas atividades que agregam ao cliente, otimizando tempo e custos. (ROTHERE SHOOK, 2003).

Segundo Tommelein (1998), um dos grandes problemas da construção civil é a falta de comunicação, seja entre contratante colaboradores, ou cliente e construtor, assim acaba não havendo uma organização conjunta e como não há um contato claro, algumas atividades que não agregam valor acabam sendo realizadas.

O uso de ferramentas para o mapeamento do fluxo de valor, pode ser um grande avanço para a construção civil, pois facilita a visualização do fluxo de valor, assim ajudando o mapeamento do que agrega ou não valor para a obra (REIS,2004).

KAIZEN

Kaizen é uma palavra de origem japonesa que significa melhoria contínua, este melhoramento aplicado no trabalho, tem como objetivo provocar uma melhora contínua com o envolvimento global da organização, sejam os colaboradores ou os administradores, ambos em busca da criatividade para melhorar continuamente. (WERKEMA, 2006).

O desenvolvimento de um kaizen, tem como objetivo a estruturação de um projeto de melhoramento contínuo, é realizado pelos colaboradores inclusos no projeto, visando especificamente os trabalhos que estão sendo feitos, a fim de atingir o objetivo do projeto. (DOOLEN e al., 2008)

BUILDING INFORMATION MODELING OU MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

O BIM é um conjunto de softwares que permite o gerenciamento das informações de forma digital, compartilhados e integrados, o Bim confirma melhores resultados e menos erros entre os projetos e a execução, os erros na compatibilização de projetos representam cerca de 3% dos custos de uma obra. (ABAURRE, 2014)

O BIM oferece uma série de vantagens em relação aos métodos antigos de projetos, como por exemplo:

- Redução de custos, os softwares bim, quantificam os materiais, facilitando assim a assertividade no levantamento do orçamento.
- Aumento da produtividade, o uso do BIM permite que tarefas que antes eram realizadas em prazos maiores, em prazos muito inferiores, ocorre em função da eficiência do banco de dados e na fácil usabilidade das ferramentas.
- Compatibilização de projetos, devido as ferramentas bim serem em 3d, facilita a integração entre os diversos projetos envolvidos em um empreendimento.

METODOLOGIA

Este trabalho terá como base uma revisão de literatura e um estudo de caso, com foco de mostrar na prática como funciona a filosofia *lean* e os seus resultados na obra referenciada.

A construção civil historicamente é um setor que os seus índices de produção são baixos e o custo é elevado, baseado neste contexto histórico, Koskela no ano de 1992, começou o desenvolvimento de suas pesquisas, Koskela mapeou os principais problemas do setor da construção civil e elaborou o *lean construction*, baseado nas dificuldades encontradas Koskela demonstrou o que deveria ser eliminado para aumentar a produtividade e diminuir os custos.

DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para alcançar os objetivos foi determinada a sequência metodológica a seguir:

- i. Fase 1 — Revisão de Literatura — Conforme aborda Gil (2002), a revisão de literatura é elaborada com materiais já existentes, principalmente através de livros e artigos que devem ser referenciados no desenvolvimento da argumentação, a vantagem desta abordagem é que propicia ao autor uma ampla investigação do tema estudado. Nesta fase foi realizada um agrupamento de materiais revisados cientificamente como: artigos, dissertações e trabalho de conclusão de curso. O objetivo desta fase foi de apresentar a filosofia *lean* de forma concisa, para que possa atender todos os públicos e não só a comunidade técnica/científica.
- ii. Fase 2 – Elaboração de estudo de caso – Segundo Gil (2002) o estudo de caso é uma investigação que tem como função elaborar uma análise profunda de um ou mais objetos de estudo, de maneira que demonstre detalhadamente os conhecimentos.
Com o objetivo de pôr em prática os ensinamentos de Koskela, foi elaborado um estudo de caso em uma empresa no município do Rio de Janeiro, primeiro os autores mapearam os problemas em uma obra passada, e após este mapeamento foi realizada uma sequência de melhorias baseadas nos objetivos do Koskela.
- iii. Fase 3 — Após estas novas práticas foi realizada uma análise do quanto a filosofia *lean* foi útil para a execução da obra.

DESENVOLVIMENTO

Este estudo foi desenvolvido em uma pequena construtora, situada no município do Rio de Janeiro, empresa que atua no ramo da construção civil desde 2017, focando em reformas de residências e de comércios, as principais obras desta empresa se localizam na zona sul do Rio de Janeiro.

Foi conversado com o gestor da empresa sobre as possíveis melhorias por meio da aplicação do estudo, em uma parte da reforma em geral, caso os resultados sejam positivos, a empresa poderá adotar a melhoria propostas pelos autores.

A obra na qual será estudada está localizada na Zona Sul do Rio, no bairro do Leme, e trata-se do levantamento de paredes de alvenaria com tijolo furado, acabamento e pintura totalizando 80 metros quadrados de parede. Para a realização desse estudo foi selecionada a parte da obra referente ao levantamento do muro de alvenaria.

CORPO ADMINISTRATIVO DA EMPRESA

A empresa referenciada no início da obra contava com um pequeno quantitativo de funcionários, conforme a seguir:

- 2 sócios responsáveis pela captação de clientes e ART'S.

- 2 Estagiários para o acompanhamento e medição das obras.
- 2 Mestres de obras, um ocupado na obra referenciada e outro em outra obra da organização
- 1 Pedreiro
- 1 Servente

DIAGNÓSTICO DA EMPRESA EM OBRAS ANTERIORES

Os dois sócios são responsáveis pelo primeiro contato com os possíveis clientes. Posteriormente é realizada uma estimativa de orçamento e cronograma de forma bem rudimentar com os seus mestres de obra e após a aprovação do cliente, a obra se inicia sob o acompanhamento dos estagiários com o principal objetivo de gerir o andamento da obra.

A fase de diagnóstico foi realizada no período de outubro de 2020 até março de 2021, através da coleta de dados com os sócios da empresa e da observação de um dos autores na execução obras similares a deste estudo. A coleta de dados foi realizada sem dar intervenção no funcionamento da obra, apenas executando a obra conforme os padrões estabelecidos pela empresa.

ORÇAMENTO DE OBRAS E CRONOGRAMA

O orçamento é realizado de forma primitiva, sem bases de composições de custos, baseado apenas na experiência dos engenheiros e mestres de obra. Foi observado que devido a estimativa de custos dos serviços e de materiais serem feitas desta forma, a empresa passa por constantes pausas em suas obras pela ausência de insumos ou superdimensionamento do quantitativo assim gerando desperdício de mão de obra e de materiais.

Devido à ausência de referências confiáveis de composições de custos e produtividade, a organização acaba por atrasar algumas vezes o prazo de suas obras, tendo que negociar com os clientes novos prazos ou realizando o pagamento de multas, onerando assim seu capital de giro.

LAYOUT DO CANTEIRO DE OBRA

Observou-se que os colaboradores não dão a devida atenção no layout do canteiro de obras, as ferramentas ficam espalhadas e não há uma organização lógica da disposição de materiais.

ANDAMENTO DA OBRA

A obra segue de acordo com o conhecimento tácito dos mestres de obra, na maioria das vezes sem planejamento e padronização na obra, causando assim retrabalhos e por consequência prejuízo para a empresa.

APLICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Abaixo um quadro criado pelos autores, adaptando os desperdícios citados por Taiichi Ohno, aplicados no diagnóstico de obras anteriores da empresa;

Quadro 2 - Adaptação dos Desperdícios citados por Taiichi Ohno, em obras passadas.

Tipo de desperdício	Conceito	Exemplo em obras passadas.
Espera	Tempo de espera para recebimento de materiais, mão de obra ou informações.	falta de estoque ou material, gerando pausa na construção, devido a ausência desse material.
Defeito	Produto fora das especificações técnicas solicitadas	Alvenaria fora do prumo, devido a falta de acompanhamento
Transporte	Excesso de manuseio no transporte de materiais ou produtos.	Estoque de cimento, longe do local que será usado.
Movimentação	Movimentação de pessoas que ocorrem de forma desnecessária por falha no layout do local de produção	Canteiro de obra mal elaborado, gerando maior esforço de produção e aumentando o risco de acidentes
excesso de estoque	Grande concentração de matérias primas em estoque.	Armazenamento de cimento acimado que será usado, gerando desperdício de material pela deterioração do tempo
excesso de produção	Produção além da demanda necessária pelos clientes.	Produzir mais argamassa do que o necessário para o levantamento da alvenaria
super processamento	Ocorre devido a falta de padronização dos serviços, assim alguns serviços que não agregam valor acabam sendo realizados	Compra de materiais não necessários devido a não padronização das compras.

Fonte: Dados compilados pelos autores (2021).

PRÁTICAS QUE LEVARAM AO DESPERDÍCIO

Como é possível observar, os desperdícios citados na tabela 2, são decorrentes das más práticas da empresa, ou seja, essa empresa tem pouco ou quase nenhum pensamento enxuto.

O quadro 3 identifica quais atividades eram ou não realizadas pela construtora de forma enxuta.

☒ Quadro 3 - Causas da empresa não alcançar uma construção enxuta.

Atividades	Realização		
	Parcialmente realizada	Não realizada	Totalmente realizada
Orçamento realizado baseado em composições referenciadas.		X	
Cronograma referenciado em composições de custos.		X	
Quantitativo de materiais - referenciado.		X	
Utilização de <i>kanban</i> para controle de estoque.		X	
Controle do andamento da obra	X		
Utilização de <i>kanban</i> para acompanhamento da obra.		X	
Layout do canteiro favorável para o serviço.		X	
Padronização para a compra de materiais.		X	

Fonte: Dados compilados pelos autores (2021).

APLICAÇÃO DA FILOSOFIA *LEAN*

Conforme abordado pelos autores referenciados neste trabalho, a indústria da construção civil não acompanhou o desenvolvimento das outras áreas. Recordando o conteúdo citado na seção 2.7.1 o *Lean construction* tem como principais objetivos produzir mais, usando menos, e para isso é necessário otimizar e organizar os insumos e a mão de obra necessária para a execução da obra.

Para alcançar esses objetivos foram realizadas as seguintes operações:

- Orçamento e cronograma assertivos;
- Diário de obras para o acompanhamento da evolução da obra;
- Layout adaptado as necessidades da obra;
- *Kanban* para controle de estoque;
- *Kanban* de produção;
- Trabalho padronizado (compra de materiais);

ORÇAMENTO E CRONOGRAMA

O orçamento e o cronograma é uma das partes mais importantes para o sucesso da obra. Através do orçamento e do cronograma de obras é possível identificar a quantidade de insumos e a produtividade para tal serviço, evitando assim o excesso ou a escassez de estoque, que afetam diretamente o lucro da empresa. Uma correta execução deve sempre se basear em cadernos de custos consolidados no mercado.

Para a realização deste serviço (levantamento de parede em alvenaria), foi usado como referência de insumos e quantitativo de mão de obra o item do caderno de custos SBC (90991), o informativo de custos SBC é utilizado como referência por diversas empresas como: Petrobras, Correios e Itaipu nacional; tornando assim uma composição de fonte confiável.

A figura abaixo, demonstra uma composição de custos para o metro quadrado de alvenaria (serviço que será realizado na obra estudada).

Figura 8 - Composição SBC

 Composições

Selecione a região e data de atualização.
A pesquisa se dará em ordem alfabética, respeitando-se a palavra chave.
Clique na composição para visualizar de forma analítica.

Filtro	Palavra Chave	Região	Data de Atualização
CONTÉM	alvenaria tijolo furado 10x20x20cm 0,20m	RJO - Rio de Janeiro - RJ	01/07/2021
Item Orçamentário			
TODOS			
		OK	

Código	Descrição	Unidade	Preço Unit.		
90991	ALVENARIA TIJOLO FURADO 10x20x20cm 0,20m,CIMENTO/AREIA 1:6	M2	73,43		
Código	Descrição	Unidade	Índice	Preço Unit.	Preço Total
50	CIMENTO PORTLAND CP III 32RS NBR 11578 (quilo)	KG	7,2800	0,58	4,22
100	AREIA GROSSA LAVADA	M3	0,0470	77,50	3,64
1950	TIJOLO FURADO DE BARRO (LAJOTA) 9 x 19 x 19cm	UN	25,0000	1,07	26,75
99050	PEDREIRO	H	1,0000	9,81	9,81
99900	SERVENTE	H	1,2000	6,83	8,20
--	LEIS SOCIAIS (115,54%)	--	--	--	20,81
Total					73,43

1 itens em 1 composições

Fonte: Caderno de Custos SBC, 2021

QUANTITATIVO DE MATERIAS E CUSTOS

Baseado no item SBC foi realizado o levantamento do quantitativo demateriais e custos para a metragem necessária (80m²).

Observações: A empresa forneceu os valores do BDI (Balanço e despesas indiretas) e da mão de obra, conforme informado na composição abaixo.

O quadro abaixo, demonstra a adaptação realizada pelos autores.

Quadro 4 - Composição de custos, adaptada a obra em questão.

DATA	AUTORES		UNIDADE			
11/07/2021	FELIPE SAMPAIO	BLENDIA FURTADO	METRO QUADRADOS			
PAREDE EM ALVENARIA DE TUOLO FURADO 10X20X20CM, 0,20 m, CIMENTO/AREIA TRAÇO 1:6, PARA 80 METROS QUADRADOS						
lo = 07/21						
OBRA: MURO DE ALVENARIA - LEME						
INSUMOS	CÓDIGO	UNID.	QUANTIDADE (80M2)	CUSTO UNITÁRIO	07/21	VALOR TOTAL
CIMENTO PORTLAND CP III 32RS NBR 11578 (quilo)	00050	KG	582,400	R\$	0,58	R\$ 337,79
AREIA GROSSA LAVADA	00100	M3	0,376	R\$	77,50	R\$ 29,14
TUOLO FURADO DE BARRO (LAJOTA) 9 x 19 x 19cm	01950	UNID.	2.000,000	R\$	1,07	R\$ 2.140,00
M.O DE PEDREIRO		HR	80,000	R\$	12,00	R\$ 960,00
M.O DE SERVENTE		HR	96,000	R\$	10,00	R\$ 960,00
ENCARGOS SOCIAIS (115,54)		%				R\$ 2.218,37
OBSERVAÇÕES: O VALOR DO BDI E DO VALOR DA HORA DOS FUNCIONÁRIOS FORAM FORNECIDOS PELA EMPRESA					TOTAL	R\$ 6.645,30
					TOTAL COM BDI (12,50%)	R\$ 7.475,96

Fonte: Adaptado pelos autores, SBC (2021)

CRONOGRAMA DE OBRAS

Conforme informado na tabela 4, serão necessários para finalizar esta etapa da obra 80 horas de pedreiro e 96 de servente. Considerando que

a empresatrabalha apenas 5 dias na semana e 8 horas diárias, e possui apenas 1 servente e 1 pedreiro este serviço terá duração de 10 dias úteis de pedreiro e 12 dias uteis de servente, ou seja, até o serviço ser finalizado por completo, demandará 12 dias uteis de trabalho, ou 16 dias corridos.

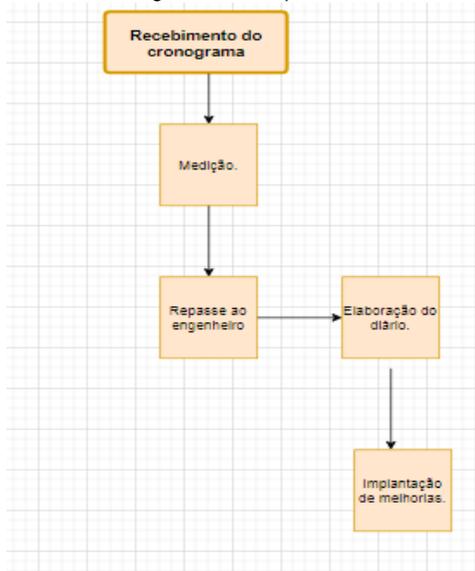
ACOMPANHAMENTO DA OBRA

Para o acompanhamento da obra, foi proposta a utilização de um diário de obra. A partir da aplicação desta ferramenta, todos os dias os estagiários realizavam a medição do que foi realizado e passavam essas informações para o engenheiro que elaborava o diário. Esse diário continha o registro de tudo o que havia sido realizado no dia, os problemas que ocorreram, lições aprendidas e se a obra estava dentro ou não do cronograma realizado.

Através deste caderno, foi possível acompanhar e analisar o andamento da obra e assim realizar as melhorias necessárias para o sequenciamento da atividade.

Após a proposta do novo padrão de acompanhamento de obra, esta atividade ficou definida como representa o fluxograma da figura 9.

Figura 9 - Acompanhamento de obra.



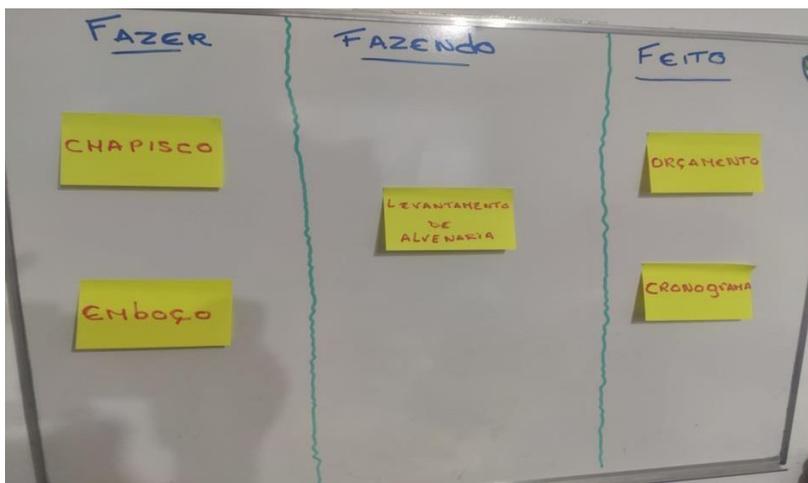
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

KANBAN DE PRODUÇÃO

Para auxiliar no andamento da obra, foi elaborado o *Kanban* de produção, que mostra as fases da obra.

Após a elaboração deste *kanban*, essas fases ficaram divididas entre: feito (aonde mostra o que já foi realizado e aprovado), fazendo (serviço que está sendo realizado no momento) e fazer (os próximos passos da obra), conforme demonstra a figura abaixo.

Figura 10 - *Kanban* de produção aplicada a engenharia civil.



Fonte: Acervo dos autores (2021)

KANBAN PARA ESTOQUE (CIMENTO)

O *kanban* de estoque mínimo tem como objetivo ajudar na visualização em tempo real da utilização do insumo em questão, com a finalidade de evitar pausas indesejadas por ausência de material ou superdimensionamento de estoque.

Segundo a tabela 4, elaborada pelos autores, a quantidade de cimento para a execução deste serviço é de 582,4 kg, totalizando 11,64 sacos de cimentos de 50kg, (12 sacos), ou seja, é utilizado 1 saco de cimento por dia útil de obra.

Para a elaboração do *kanban*, foi levado em consideração que o estoque é repostado a cada 3 dias de trabalho.

Para determinar os valores de estoque foram utilizadas as fórmulas:

Estoque mínimo (Emn) = consumo médio diário x tempo de reposição, logo o estoque mínimo de cimento foi: $Emn = 1 \text{ saco de cimento} \times 3 \text{ dias}$, estoque mínimo = até 3 sacos.

Ponto de pedido = C (média de consumo de mercadorias por dia) x TR (tempo de reposição) + Estoque mínimo, logo o ponto de pedido foi: $PP = 1 \text{ saco de cimento} \times 3 \text{ dias} + 3 \text{ sacos}$, ponto de pedido= até 6 sacos.

Estoque máximo = Emn + reposição, logo o estoque máximo será de: 3 sacos + 6 sacos, estoque máximo de 9 sacos de cimento.

A Figura 11 apresenta na prática, os cálculos realizados em questão.

Figura 11 - *Kanban* para gestão de estoque de cimento.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Legenda do *kanban*:

- Altura verde: Indica que há cimento suficiente, isto é o andamento da obra não será prejudicado pela falta de estoque.
- Altura amarela: O estoque de cimento entrou em fase de atenção, ou seja, há necessidade da reposição de material para que não chegue no estoque estágio crítico e se pare a obra por falta de material.
- Altura vermelha: O estoque de cimento chegou no estágio crítico, e a obra pode ser parada a qualquer momento pela falta de estoque do material.
- Através deste *kanban*, a obra não foi pausada em nenhum momento devido a falta de cimento, outro resultado obtido por este *kanban*, foi o controle total do estoque de cimento, isto é, o quantitativo orçado no início do projeto foi o mesmo quantitativo utilizado no decorrer da obra, sendo assim, não houve desperdícios de tempo devido a pausas e nem superdimensionamento deste mesmo insumo, consolidando assim o orçamento inicial.

CANTEIRO DE OBRAS

As ferramentas usuais para a obra em questão foram dispostas de modo que otimizasse o processo construtivo. A fim de facilitar sua localização, foram acomodados no centro do canteiro de obras, conforme figura a seguir. Dessa forma, todos os colaboradores alocados nesta fase da obra, tiveram fácil ao se locomover nas dependências do processo.

A figura abaixo, demonstra como as ferramentas ficaram dispostas

no novo layout do canteiro.

Figura 12 - Acomodação das ferramentas no canteiro.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

PADRONIZAÇÃO DOS SERVIÇOS (COMPRA DE MATERIAIS)

Conforme citado na seção 4.2.2, o processo orçamentário e de quantitativo eram feitos sem referências sólidas e o processo de compra acompanhava essas estimativas. Por esse motivo, algumas vezes a empresa referenciada sofria atrasos e realizava compra excessiva de material.

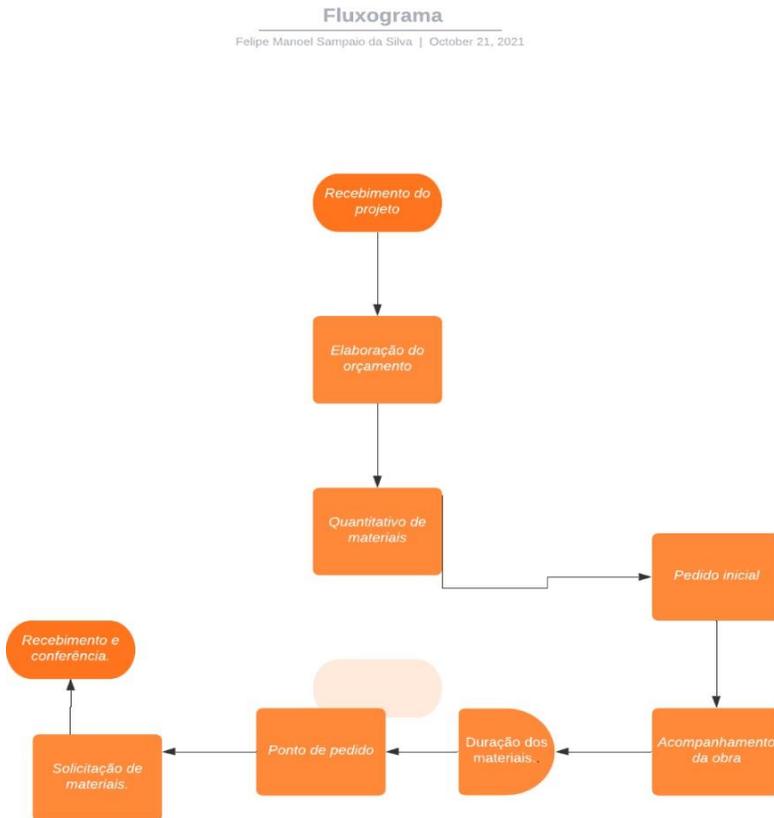
A partir da identificação desse problema, foi proposto um novo modo no processo de compras, visando padronizar e evitar desperdícios ou falta de materiais.

1. Baseado no projeto recebido é elaborado um orçamento baseado nas composições de custos;
2. Após o orçamento elaborado é verificada a quantidade de materiais necessários para iniciar a obra; É pedido os materiais para o início da obra;
3. Os estagiários e sócios, acompanham o andamento da obra e a utilização de insumos;
4. Conforme o andamento da obra, os estagiários e os sócios anotam a produtividade e o quanto irá durar os materiais;
5. Após chegar no ponto de pedido, é solicitado os materiais, assim evitando excesso ou falta de material.
6. O material pedido deve ser recebido e conferido pelos estagiários

e omestre de obra.

Após estas propostas de mudança, o processo de compras ficou definido deacordo com fluxograma que mostra a figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do novo processo de compras.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Após a aplicação deste novo modelo padronizado de compras e do *kanban* de estoque, esta fase da obra não sofreu com a falta ou excesso de insumos necessários para o andamento da obra.

PRÁTICAS APÓS AS PROPOSTAS DE MELHORIAS

Conforme aborda a seção 4.2.5, a empresa tinha práticas que geravam desperdícios, e baseadas nestas práticas ruins, foi desenvolvido métodos para diminuir ou eliminar as perdas que não agregavam valor a obra e por consequência traziam prejuízo para os donos da construtora.

Após as aplicações abordadas no decorrer de toda a seção 4.3, a

construtora referenciada neste estudo, passou a adotar novas práticas a fim de eliminar as perdas citadas na tabela 2.

O quadro abaixo demonstra as novas práticas da empresa.

Quadro 5 - Novas práticas da empresa.

Atividades	Realização		
	Parcialmente realizada	Não realizada	Totalmente realizada
Orçamento realizado baseado em composições referenciadas			X
Cronograma referenciado em composições assertivas			X
Quantitativo de materiais - referenciado.			X
Utilização de <i>kanban</i> para controle de estoque.			X
Controle do andamento da obra			X
Utilização de <i>kanban</i> para acompanhamento da obra			X
Layout do canteiro favorável para o serviço			X
Padronização para a compra de materiais			X

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

DIRECIONAMENTO DAS PROPOSTAS DE MELHORIA

Após as aplicações das melhorias citadas na seção 4.4, os desperdícios recorrentes em obras similares anteriores, foram praticamente eliminados.

O quadro abaixo demonstra onde as propostas dos autores foram aplicadas para alcançar o objetivo de entregar a obra com qualidade e de forma lucrativa para a instituição.

Quadro 6 - Direcionamento das propostas de melhorias.

Tipo de desperdício	Conceito	exemplo em obras anteriores	Novas práticas que eliminaram este desperdício.
Espera	Tempo de espera para recebimento de materiais, mão de obra ou informações.	falta de estoque ou material, gerando pausa na construção, devido essa ausência desse material.	Kanban de estoque;orçamento e quantitativo de materiais assertivo;Padronização no processo de compras.
Defeito	Produto fora das especificações técnicas solicitadas	Alvenaria fora do prumo, devido a falta de acompanhamento	Controle do andamento da obra através do diário de obras e kanban de produção
transporte	Excesso de manuseio no transporte de materiais ou produtos.	Estoque de cimento, longe do local que será usado.	Canteiro de obras elaborado conforme a necessidade da obra.
movimentação	Movimentação de pessoas que ocorrem de forma desnecessária por falha no layout do local de produção	Canteiro de obras mal elaborado, gerando maior esforço de produção e aumentando o risco de acidentes	Canteiro de obras elaborado conforme a necessidade da obra.
excesso de estoque	Grande concentração de matérias primas em estoque.	Armazenamento de cimento acima do que será usado, gerando desperdício de material pela deteriorização do tempo	kanban de estoque, padronização no processo de compras
excesso de produção	Produção além da demanda necessária pelos clientes.	Produzir mais argamassa do que o necessário para o levantamento de alvenaria.	controle do andamento da obra através do diário de obras .
super processamento	Ocorre devido a falta de padronização dos serviços, assim alguns serviços que não agregam valor acabam sendo realizados	Compra de materiais não necessários devido a não padronização das compras.	padronização na compra de materiais

Fonte: Dados compilados pelos autores (2021)

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a aplicação do pensamento enxuto em uma pequena construtora do município do Rio de Janeiro. por meio da aplicação da teoria de Koskela (1992). Em conjunto com a empresa, foi realizado o mapeamento dos maiores problemas inerentes ao processo construtivo e propostas melhorias viáveis que pudessem ser utilizadas no cotidiano da empresa visando melhoria da produtividade, qualidade e por consequência aumento do lucro.

Quanto a aplicação prática, podemos destacar que houve uma grande revolução no método construtivo da empresa. Essas mudanças ocorreram desde o planejamento inicial (orçamento e cronograma) até a execução e finalização da obra. O pensamento enxuto aplicado nesta parte da obra, possibilitou um planejamento mais assertivo e evitou retrabalhos e pausas que pudessem diminuir a produtividade. Dessa forma foi possível interferir diretamente no andamento da obra, trazendo uma qualidade e produtividade ainda não alcançadas com as práticas anteriores.

Após a observação da aplicação das propostas de melhorias, podemos afirmar que o *Lean construction* agrega muito valor e qualidade as obras. Por tratar-se de uma filosofia, a sua aplicação é de baixíssimo custo, pois a principal mudança necessária é a intelectual, repercutindo no desenvolvimento de novas práticas com o uso de criatividade como foi demonstrado pelos autores. Destaca-se ainda que a aplicação de práticas *kanbans* é extremamente útil e de baixo custo conforme os resultados obtidos neste trabalho.

Além disso, deve-se apontar que a obtenção de resultados positivos foi possível somente a partir da disponibilidade dos sócios da empresa e dos demais colaboradores em aderir a nossa proposta e fornece todo o suporte para a realização do estudo sem a ocorrência dessas mudanças esse estudo seria inviabilizado.

Ressalta-se ainda que inicialmente os sócios da empresa disponibilizaram aos autores apenas a fase do levantamento do muro de alvenaria, e após a constatação do sucesso das práticas propostas, resolveram adotar as melhorias propostas neste trabalho em outras obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAURRE, M. W. **Modelos de Contrato Colaborativo e Projeto Integrado para Modelagem da Informação da Construção**. 2014. 225 p. São Paulo, 2013. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ABDULMOUTI, H. (2015). **The role of Kaizen (continuous improvement) in improving companies' performance: A case study**. Dans 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) (p. 6). Dubai.

ALBORNOZ, Suzana. **O Que é Trabalho?** São Paulo: Editora Brasiliense, 2000.

ALENCAR, M. C. B.; OTA, N. H. **O afastamento do trabalho por LER/DORT: repercussões na saúde mental.** Ver. Ter. Ocup. Univ. São Paulo, v. 22, n. 1, p. 60- 67, jan./abr. 2011.

AZEVEDO, M. J.; NETO, J. P. D.; NUNES, F. R. M.; **Análise dos aspectos estratégicos da implantação da Lean Construction em duas empresas de construção civil de Fortaleza** - CE. XIII SIMPOI - SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. Anais... São Paulo, SP: 2010.

BEAUD, M. **História do capitalismo:** de 1500 aos nossos dias. São Paulo: Brasiliense, 1987.

BERNARDO, Kleber. **Kanban: Do início ao fim !.** Cultura Agil, 2014. Disponível em: <<https://www.culturaagil.com.br/kanban-do-inicio-ao-fim/>> Acesso em 15 de outubro de 2021.

BRAICK, Patrícia Ramos. **Estudar história: das origens do homem à era digital.** 8º. Ano. 1. Ed. São Paulo: Moderna, 2011. P. 82.

CAVALCANTE, Z. V; SILVA, M. L. S. **A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia.** Encontro Internacional de Produção Científica, 7., Anais... Centro Universitário de Maringá, 25 a 28 de outubro de 2011;

Como evitar desperdícios na construção civil. Construa.app, 2021. Disponível em: <<https://www.construa.app/desperdicio-na-construcao-civil/>> Acesso em: 20 de outubro de 2021.

CORREIA, Bruno M. **Estudo sobre a implantação de sistema kanban em obras de construção civil de pequeno porte.** 2007. 68 f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

CORREA, H. L., CORRÊA, C. **A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços** – uma abordagem estratégica. Atlas, 2004;

COSTA, H. G. et al. PCP – Sistema de Controle da Produção. In: LUSTOSA, L. et al.

Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008, p. 201-248.

Custo dos materiais de construção subiu até 80% no último ano: g1globo, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2021/01/28/custo-dos-materiais-de->

construcao-subiu-ate-80percent-no-ultimo-ano-veja-dicas-para-economizar.ghml/.> Acesso em: 26 de outubro de 2021.

DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX.** Porto Alegre: DECON, 2003.

Doolen, T. L., Van Aken, E. M., Farris, J. A., Worley, J. M., & Huwe, J. (2008). **Kaizen events and organizational performance: a field study.** International Journal of Operations & Production Management, 57(8), 637-658. ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais, Rio de Janeiro, RJ: 2008.

FERREIRA, Emerson de A. M.; FRANCO, Luiz S. **Proposta de uma Metodologia para o Projeto do Canteiro de Obras.** In Congresso Latino-Americano: Tecnologia e Gestão na produção de Edifícios, Soluções para o Terceiro Milênio. São Paulo, 1998.

FERRO E RODRIGUEZ, T. São Paulo: *Lean Institute Brasil*, 2003.

FILHO, Manassés C. **As ferramentas de qualidade no processo produtivo com enfoque no processo enxuto.** 2011. 59 f. Monografia de Especialização. MBA em Gestão da manutenção, produção e negócios, Instituto Superior De Tecnologia. Conselheiro Lafaiete, 2011.

Fordismo: o que é, como funciona e principais características. Capital research, 2020. Disponível em: <<https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/fordismo/>> Acesso em: 26 de outubro de 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002. 175 p.

GRAZIA, Syllas. **O problema da qualidade (TQC) na indústria da construção civil.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1988. São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP, 1988. p. 21-32.

GUIMARÃES, L. A.; GUIMARÃES, C. R. **Utilização da construção enxuta no planejamento e controle de obras na construção civil.** In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... João Pessoa, PB: 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Revista brasileira de geografia**, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 de Setembro 2021.

JUSTA, M. A. O da; BARREIROS, N. R. **Técnicas de gestão do Sistema Toyotade Produção**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa-PR, v. 05, n. 01, p.01-17, 2009.

MARINHO, A. A. **Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para minimização dos impactos ambientais**. Cadernos de Graduação.

Ciências exatas e tecnológicas, Maceió: v. 1, n.1, p. 73-84, maio 2014.

MATIAS, Átila. **“Fordismo”**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fordismo.htm>>. Acesso em 13 de outubro de 2021.

MELO, Maury. **Gerenciamento de projetos para a construção civil**. Rio de Janeiro: Editora Brasport, 2010.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. Trad. de Roberto José Falcão Bauer, Antonio Carmona Filho e Paulo Roberto do LagoHelene São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.

MOTA, B. P.; ALVES, T. C. L. **Implementação do pensamento enxuto através do projeto do sistema de produção: estudo de caso na Construção Civil**. In: XXVIII.

REIS, Tathiana dos. **Aplicação da mentalidade enxuta no fluxo de negócios da construção civil a partir do mapeamento do fluxo de valor: estudos de caso**. Tathiana dos Reis. — Campinas, SP: [s.n.], 2004.

ROTHER, Mike; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. Traduzido por José RobertoSANTO, J. O.; BATISTA, O. H. S.; SOUZA, J. K. S; LIMA, C. T.; SANTOS, J. R.

SciELO – Brasil – RAGO, **O que é taylorismo RAGO**, O que é taylorismo.

SOUZA, Rafaela. **“Taylorismo”**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/taylorismo-fordismo.htm>>. Acesso em 13 de outubro de 2021.

TOMMELEIN, Iris D. Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of **Lean Construction Technique**. **Journal of Construction Engineering and Management**, july/august 1998, Volume 124, Issue 4, pp. 245-341.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**-Teoria e Prática.SãoPaulo: 2ª. ed. Atlas, 2009.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: Editora Werkema, vol.4, 2006.

WOMACK, J. P., JONES, D. T; ROOS, D. **A Máquina que mudou o Mundo**. Trad.Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

ZUFFO, J.A. **A tecnologia e a Infossociedade**. São Paulo: Manole, 2002. (Asociedade e a economia do novo milênio, v.1.

Lucia Helena Guimarães Cardoso
Professora Doutora - UNESA
Miguel Henrique de Oliveira Costa
Professor Doutor - UNESA

RESUMO

O presente trabalho visa a análise estática de uma treliça, que é um modelo estrutural simples e de comportamento conhecido, confrontando o método analítico de obtenção da matriz de rigidez, deslocamentos e reações nodais, com os resultados obtidos nas modelagens numéricas no software ANSYS, que tem como base de cálculo o método dos elementos finitos (MEF). Para tal análise foi considerado as condições de contorno impostas no modelo estrutural, tais como: material, carga aplicada e vinculações. As etapas do método analítico foram desenvolvidas com o auxílio do software MATLAB e tem por finalidade demonstrar toda a robustez do formalismo matricial existente no MEF, bem como a forma de aplicar neste formalismo, as considerações pertinentes às condições de contorno do modelo para obter a análise desejada. Para modelagem numérica do sistema proposto foram empregadas técnicas usuais de discretização destacando a importância do entendimento teórico alinhado ao método numérico, garantindo uma modelagem estrutural adequada a partir da correta escolha dos elementos utilizados na discretização estrutural. A escolha adequada dos elementos permite maximizar a eficiência computacional, diminuindo o seu tempo de resposta e alcançando resultados satisfatórios para a estrutura analisada.

Palavras-chave: MEF; treliça; modelagem; ANSYS.

INTRODUÇÃO

A análise estrutural está sempre buscando modelos matemáticos que representem uma dada estrutura com uma precisão razoável, a partir das suas diversas características tais como geometria, componentes materiais, condições de contorno, tipos de cargas e muito mais. Assim, para dimensionar a estrutura real conforme as recomendações normativas é preciso obter resultados coerentes e uma modelagem computacional concisa e robusta. Dessa forma, a simulação estrutural atualmente é uma das principais aliadas dos engenheiros modernos que buscam soluções potencializadas em seus projetos.

Embora existam métodos analíticos para cálculos estruturais que permitam obter algumas variáveis a partir da consideração de certos fatores, nem sempre estes métodos são viáveis para associar a modelos complexos nos moldes convencionais. Portanto, diversos problemas encontrados na realidade não possuem simplificações viáveis para serem analisados, sendo necessária a adoção de alguns procedimentos para a chegar em um resultado correto. Com a disseminação dos computadores que tornou possível a sofisticação dos procedimentos que envolvem o dimensionamento de tais estruturas, considerando a interação dos diversos elementos, aproximando-se ao que ocorre de forma mais real.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é um tipo de processamento numérico que geralmente é implementado em softwares estruturais e surgiu para ser utilizado na análise de problemas da engenharia em geral, uma vez que apresentam equações diferenciais em sua formulação, determinando soluções de problemas de difícil resolução. O método tem como base o uso de aproximações em alternativa aos conhecidos métodos analíticos clássicos, pois estes possuem limitações para análises estruturais mais complexas, como por exemplo, estruturas com mais de três esforços desconhecidos (ASSAN, 2020).

No MEF é necessário discretizar a estrutura, ou seja, uma região complexa do contínuo deve ser dividida em formas geométricas mais simples, chamadas elementos. Assim, deve-se escolher esses elementos na hora da modelagem de forma a otimizar o comportamento global da estrutura, visando o equilíbrio entre a melhor aproximação da resposta estrutural real e o rápido retorno computacional.

Neste trabalho uma treliça plana foi discretizada por elementos de barra, destacando o número de graus de liberdade por nó e mostrando que certos elementos não possuem discretização, apenas verificações axiais. Um software de elementos finitos pode oferecer vários tipos de elementos lineares e o usuário do software terá de escolher para a modelagem, o elemento que apresentará a melhor solução para a estrutura analisada em um menor tempo possível.

Assim, faz-se necessário conhecer a matemática envolvida por trás dos programas de MEF, evidenciando o diferencial da engenharia civil neste tipo de aplicação. Vale a pena destacar que os elementos possuem nós que se conectam transmitindo os esforços e tensões aos elementos adjacentes, formando uma malha e quanto mais complexo forem os elementos, maior será o seu grau de liberdade.

No MEF, os graus de liberdade influenciam na matriz de rigidez estrutural o que conseqüentemente estará associado ao tempo de resposta computacional para a resolução das equações que definem o problema estudado. Uma vez entendidos estes parâmetros, o presente estudo continua com a análise de modelagens estruturais aplicando três diferentes tipos de elementos lineares em cada uma delas, visando destacar a diferença de esforço computacional consumido para gerar os resultados esperados.

METODOLOGIA

No presente trabalho foi utilizada a linguagem APDL (*Ansys Parametric Design Language*) existente no software ANSYS, reduzindo o tempo dispensado no pré-processamento para implementação do MEF para a análise de uma treliça plana, visando a determinação de seus deslocamentos nodais, esforços e tensões nos elementos de barra, bem como das reações de apoio a partir de três modelagens discretizadas com diferentes tipos de elementos.

Para implementação do código, primeiramente foram introduzidas as propriedades do material e de geometria da estrutura, inicializando as variáveis concernentes ao módulo de elasticidade e área da seção transversal dos elementos de barra. Em sequência, foram acrescentados os parâmetros de entrada responsáveis pela identificação da posição e tipo de cada elemento no interior da estrutura, a partir de variáveis correspondentes aos elementos da treliça, em termos de ligações entre as barras e as coordenadas dos nós.

Os últimos parâmetros a serem inseridos se referem ao carregamento externo imposto à estrutura e a aplicação das condições de contorno, caracterizadas pela restrição de parte dos seus graus de liberdade. O primeiro foi representado pelo vetor força composto de carga concentrada atuante sobre um nó superior central e o segundo foi atribuído às condições de apoio da treliça.

Após inicialização dos parâmetros de entrada, o código procede os cálculos pertinentes para um elemento, através de suas propriedades pré-definidas e em seguida realiza a conexão entre todos os elementos que formam a estrutura como um todo. O processo termina com a obtenção dos resultados em termos de deslocamentos, reações e tensões, calculados a partir da matriz de rigidez global.

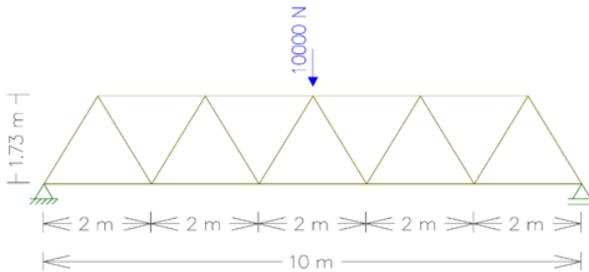
Com o intuito de constatar a eficiência do método para a resolução de estruturas simples como treliças planas, foram realizados também os cálculos analíticos para posterior comparação entre os resultados obtidos de forma analítica com os encontrados no ANSYS, propiciando dessa maneira, uma verificação do desempenho e aplicabilidade do método para resolução de problemas de análise estrutural, bem como a discussão da escolha adequada do tipo de elemento para a modelagem, que alinhe resultados coerentes a menor esforço computacional.

MODELO ESTRUTURAL

O modelo estrutural escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, foi a treliça plana isostática equilátera do tipo Warren, mostrada na figura 1. A escolha deste modelo visou a simplificação dos cálculos analíticos a fim de evidenciar a importância dos métodos numéricos e a evolução das tecnologias para cálculos cíclicos. A treliça analisada consiste em um arranjo de 5 módulos compostos por barras circulares de 2 m de comprimento e

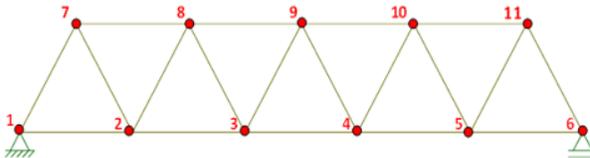
diâmetro de 39,09 mm, contendo 11 nós (numerados em vermelho na figura 2) e 19 elementos (numerados em azul na figura 3), cujas propriedades geométricas e de material estão detalhadas na tabela 1. Uma carga pontual de 10 kN foi considerada aplicada no nó superior central da estrutura, por ser uma posição simétrica em relação aos apoios.

Figura 1 - Treliça plana de estudo



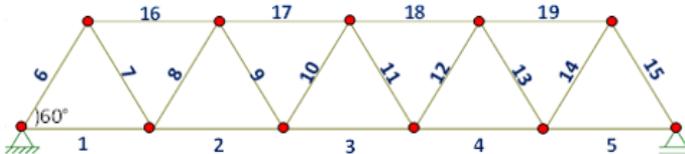
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 2 - Identificação dos nós



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 3 - Identificação dos elementos



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Tabela 1 - Propriedades físicas e geométricas dos elementos da treliça

Área da seção transversal (mm ²)	1200
Módulo de Elasticidade (MPa)	205000
Coefficiente de Poisson	0,3
Comprimento (mm)	2000
Momento de Inércia (mm ⁴)	1,46.10 ⁶

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

MÉTODO MATRICIAL

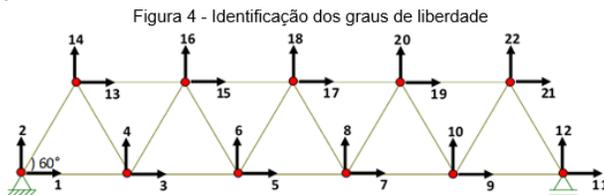
Deslocamentos nodais

Para a obtenção dos deslocamentos nodais, foi utilizado o método matricial com o auxílio do software MATLAB para a execução dos cálculos mais complexos. Para a adoção do método, faz-se necessário a identificação dos graus de liberdade para cada nó no sistema global, como ilustrado na figura 4. Sabendo que cada nó possui 2 variáveis correspondentes aos possíveis deslocamentos nas direções globais no plano X e Y, então para a treliça com 11 nós, haverá um total de 22 graus de liberdade que corresponderá a uma matriz de rigidez estrutural quadrada de ordem 22.

A obtenção da matriz de rigidez estrutural é feita a partir do cálculo da matriz que transforma as forças do sistema global para o sistema local em cada um dos elementos que compõem a treliça, dada pela relação mostrada em (1), sendo necessária a determinação dos senos e cossenos do ângulo de orientação de cada elemento (Figura 3) com o eixo global.

$$[K^G] = \frac{EA}{L} \cdot \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \cos\theta\text{sen}\theta & -\cos^2\theta & -\cos\theta\text{sen}\theta \\ \text{sen}\theta\cos\theta & \text{sen}^2\theta & -\text{sen}\theta\cos\theta & -\text{sen}^2\theta \\ -\cos^2\theta & -\cos\theta\text{sen}\theta & \cos^2\theta & \cos\theta\text{sen}\theta \\ -\text{sen}\theta\cos\theta & -\text{sen}^2\theta & \text{sen}\theta\cos\theta & \text{sen}^2\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde E o módulo de elasticidade longitudinal, L o comprimento e A a seção transversal do elemento.



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Matriz de rigidez global para cada elemento

A partir da expressão (1) para a matriz de rigidez de um elemento de treliça, foi calculado as matrizes de rigidez para cada elemento como apresentado a seguir, com os respectivos números associados aos graus de liberdade (Figura 4) em itálico:

- Elementos de 1 a 5 possuem a mesma matriz de rigidez, logo:

$$[K_1] = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_2] = \begin{matrix} & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_3] = \begin{matrix} & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_4] = \begin{matrix} & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_5] = \begin{matrix} & 9 & 10 & 11 & 12 \\ \begin{matrix} 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

- Elementos de 6 a 15

$$[K_6] = \begin{matrix} & 1 & 2 & 13 & 14 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 13 \\ 14 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & \sigma_1 & -\sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & -\sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_7] = \begin{matrix} & 3 & 4 & 13 & 14 \\ \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 13 \\ 14 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & -\sigma_1 & -\sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & -\sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_8] = \begin{matrix} & 3 & 4 & 15 & 16 \\ \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 15 \\ 16 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & \sigma_1 & -\sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & -\sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_9] = \begin{matrix} & 5 & 6 & 15 & 16 \\ \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 15 \\ 16 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & -\sigma_1 & -\sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & -\sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{10}] = \begin{matrix} & 5 & 6 & 17 & 18 \\ \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 17 \\ 18 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & \sigma_1 & -\sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & -\sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{11}] = \begin{matrix} & 7 & 8 & 17 & 18 \\ \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 17 \\ 18 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & \sigma_1 & -\sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & -\sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{12}] = \begin{matrix} & 7 & 8 & 19 & 20 \\ \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 19 \\ 20 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & -\sigma_1 & -\sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & -\sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{13}] = \begin{matrix} & 9 & 10 & 19 & 20 \\ \begin{matrix} 9 \\ 10 \\ 19 \\ 20 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & -\sigma_1 & -\sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & -\sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{14}] = \begin{matrix} & 9 & 10 & 21 & 22 \\ \begin{matrix} 9 \\ 10 \\ 21 \\ 22 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & \sigma_1 & -\sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & -\sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{15}] = \begin{matrix} & 11 & 12 & 21 & 22 \\ \begin{matrix} 11 \\ 12 \\ 21 \\ 22 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \sigma_3 & -\sigma_1 & -\sigma_3 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ -\sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 \\ \sigma_1 & -\sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

onde: $\sigma_1 = \frac{\sqrt{3} AE}{4L}$; $\sigma_2 = \frac{3AE}{4L}$ e $\sigma_3 = \frac{AE}{4L}$

- Elementos de 16 a 19 possuem a mesma matriz de rigidez, assim:

$$[K_{16}] = \begin{matrix} & 13 & 14 & 15 & 16 \\ \begin{matrix} 13 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{17}] = \begin{matrix} & 15 & 16 & 17 & 18 \\ \begin{matrix} 15 \\ 16 \\ 17 \\ 18 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{18}] = \begin{matrix} & 17 & 18 & 19 & 20 \\ \begin{matrix} 17 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$[K_{19}] = \begin{matrix} & 19 & 20 & 21 & 22 \\ \begin{matrix} 19 \\ 20 \\ 21 \\ 22 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Matriz de rigidez global estrutural

Para a determinação da matriz de rigidez estrutural de ordem 22x22, faz-se necessário superpor as matrizes dos elementos nas linhas e colunas correspondentes à numeração dos graus de liberdade dos nós compartilhados pelos elementos de acordo com a numeração exibida na figura 4. Logo, a matriz de rigidez global da treliça será dada por:

$$[K]_{22 \times 22} = \begin{pmatrix} \sigma_7 & \sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_1 & \sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & -\sigma_6 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & -\sigma_6 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & -\sigma_6 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & -\sigma_6 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_7 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & \sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & -\sigma_6 \\ \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & -\sigma_6 & \sigma_1 & -\sigma_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 \end{pmatrix}$$

onde: $\sigma_1 = \frac{\sqrt{3} AE}{4L}$; $\sigma_2 = -\frac{AE}{4L}$; $\sigma_3 = -\frac{AE}{L}$; $\sigma_4 = \frac{3AE}{2L}$

$\sigma_5 = \frac{5AE}{2L}$; $\sigma_6 = \frac{3AE}{4L}$ e $\sigma_7 = \frac{5AE}{4L}$

Condições de contorno

A treliça considerada neste trabalho está submetida a uma força pontual de - 10 kN verticalmente para baixo, aplicada no grau de liberdade 18, conforme verificado na figura 1. Além disso, devido aos apoios nos nós 1 e 6, restringindo os deslocamentos nos graus de liberdade 1, 2 e 12, tem-se as reações de apoio R_1 , R_2 e R_{12} . A partir deste raciocínio, o vetor global transposto de forças concentradas é dado por:

$$\{P\} = \{R_1 \ R_2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ R_{12} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -10 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}^T \text{ kN}$$

As restrições de deslocamento imposto na treliça, estão presentes em 3 graus de liberdade referentes aos nós 1 e 6, devido aos apoios. Assim, deve-se aplicar esta condição de contorno na matriz de rigidez estrutural de ordem 22x22, eliminando as linhas e colunas 1 e 2 relativos aos graus de liberdade em X e Y do nó 1, enquanto para o nó 6, deve-se eliminar a linha e coluna 12 referente ao grau de liberdade em Y, gerando uma matriz de rigidez quadrada de ordem 19 formada pelos coeficientes apresentados na matriz a seguir:

$$[K^G] = \begin{pmatrix} \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & -\sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_1 & \sigma_3 & -\sigma_1 & \sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \frac{5AE}{4L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & \sigma_1 \\ \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_6 & 0 & \sigma_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 & \sigma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2 & -\sigma_1 & \sigma_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4 & 0 & \sigma_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sigma_1 & \sigma_3 & \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_5 \end{pmatrix}$$

onde: $\sigma_1 = \frac{\sqrt{3}AE}{4L}$; $\sigma_2 = -\frac{AE}{4L}$; $\sigma_3 = -\frac{3AE}{4L}$; $\sigma_4 = -\frac{AE}{L}$; $\sigma_5 = \frac{3AE}{2L}$ e

$$\sigma_6 = \frac{5AE}{2L}$$

O vetor global de forças também terá as posições 1, 2 e 12 eliminadas devido aos deslocamentos nulos nestes graus de liberdade, assim o vetor terá ordem 19x1

$$\{P\} = \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -10 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}^T \text{ kN}$$

O sistema de equações finais a ser resolvido, obedecerá a relação (FILHO, 2013):

$$\{P\} = [K^G] \cdot \{\delta\} \quad (1)$$

onde $\{P\}$ é o vetor de forças global, $[K^G]$ é a matriz de rigidez estrutural e $\{\delta\}$ é o vetor de deslocamentos nodais.

Determinação dos deslocamentos nodais

Para a determinação dos deslocamentos nodais pode-se reescrever a relação (2) da seguinte forma: $\{\delta\} = [K^G]^{-1} \cdot \{P\}$. Assim, invertendo a matriz de rigidez estrutural e substituindo os parâmetros E, A e L pelos valores dados na tabela 1 com o auxílio do software MATLAB, encontra-se o seguinte vetor de deslocamentos nodais em milímetros de ordem 19x1:

Figura 5 - Vetor deslocamento calculado com o software MATLAB

	1
1	0.0235
2	-0.4336
3	0.0939
4	-0.7588
5	0.2112
6	-0.7588
7	0.2816
8	-0.4336
9	0.3051
10	0.2934
11	-0.2236
12	0.2464
13	-0.6165
14	0.1526
15	-0.8469
16	0.0587
17	-0.6165
18	0.0117
19	-0.2236

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

A tabela a seguir exhibe os valores dos deslocamentos nodais associados aos seus respectivos graus de liberdade (GL) para a melhor compreensão do leitor. O valor destacado em vermelho, se refere ao deslocamento nodal máximo relativo à posição da aplicação da carga concentrada de -10 kN

Tabela 2 - Deslocamentos nodais

Nó	GL	Método Matricial (mm)	Nó	GL	Método Matricial (mm)
1	1	0	6	12	0
	2	0	7	13	0,2934
2	3	0,0235		14	-0,2236
	4	-0,4336	8	15	0,2464
3	5	0,0939		16	-0,6165
	6	-0,7588	9	17	0,1526
4	7	0,2112		18	-0,8469
	8	-0,7588	10	19	0,0587
5	9	0,2816		20	-0,6165
	10	-0,4336	11	21	0,0117
6	11	0,3051		22	-0,2236

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Reações de apoio

O vetor força contendo a magnitude das reações de apoio, foi obtido a partir da equação (2) excluindo as colunas 1, 2, 12 da matriz de rigidez de ordem 22, devido aos deslocamentos nulos nestas posições, gerando uma matriz de ordem 22x19. Assim, a nova matriz 22x19 foi multiplicada ao vetor deslocamento exibido na figura 5, obtendo-se o seguinte vetor de forças de ordem 22x1 em Newtons:

Figura 6 - Vetor força calculado com o software MATLAB

$10^4 \times$	1
1	0.0000
2	0.5000
3	0.0000
4	0.0000
5	-0.0000
6	-0.0000
7	-0.0000
8	-0.0000
9	0.0000
10	-0.0000
11	-0.0000
12	0.5000
13	0.0000
14	0.0000
15	-0.0000
16	0.0000
17	-0.0000
18	-1.0000
19	0.0000
20	-0.0000
21	-0.0000
22	0.0000

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Da figura 6, os valores indicados nas linhas 1, 2 e 12 se referem às reações, enquanto o valor exibido na linha 18 se refere a carga concentrada aplicada na treliça de 10 kN verticalmente para baixo.

Tensões e deformações

Conhecidos os deslocamentos nodais mostrados na tabela 3, utilizam-se as expressões (3), (4) e (5) para a obtenção das tensões (σ), deformações (ε) e esforços axiais (F), em cada elemento respectivamente. (BITTENCOURT, 2014)

$$\sigma = \frac{E}{L} [-\cos\theta \quad -\sin\theta \quad \sin\theta \quad \cos\theta] \cdot \{\delta\} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{L} [-\cos\theta \quad -\sin\theta \quad \sin\theta \quad \cos\theta] \cdot \{\delta\} \quad (3)$$

$$F = \frac{EA}{L} [-\cos\theta \quad -\sin\theta \quad \sin\theta \quad \cos\theta] \cdot \{\delta\} \quad (4)$$

Assim, tem-se, com o auxílio do MATLAB, os valores determinados das referidas grandezas para cada elemento, apresentados na tabela a seguir.

Tabela 3 - Esforços, tensões e deformações normais nos elementos da treliça pelo método matricial

Elemento	Incidência	Tensão Normal (MPa)	Deformação (10^{-5} mm/mm)	Esforço Axial (N)
1	1-2	2,4056	1,1735	2886,72
2	2-3	7,2169	3,5204	8660,28
3	3-4	12,0281	5,8674	14433,72
4	4-5	7,2169	3,5204	8660,28
5	5-6	2,4056	1,1735	2886,72
6	1-7	-4,8113	-2,3470	-5773,56
7	2-7	4,8113	2,3470	5773,56
8	2-8	-4,8113	-2,3470	-5773,56
9	3-8	4,8113	2,3470	5773,56
10	3-9	-4,8113	-2,3470	-5773,56
11	4-9	-4,8113	2,3470	-5773,56
12	4-10	4,8113	-2,3470	5773,56
13	5-10	-4,8113	2,3470	-5773,56
14	5-11	4,8113	-2,3470	5773,56
15	6-11	-4,8113	2,3470	-5773,56
16	7-8	-4,8113	-2,3470	-5773,56
17	8-9	-9,6225	-4,6939	-11547,00
18	9-10	-9,6225	-4,6939	-11547,00
19	10-11	-4,8113	2,3470	-5773,56

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021

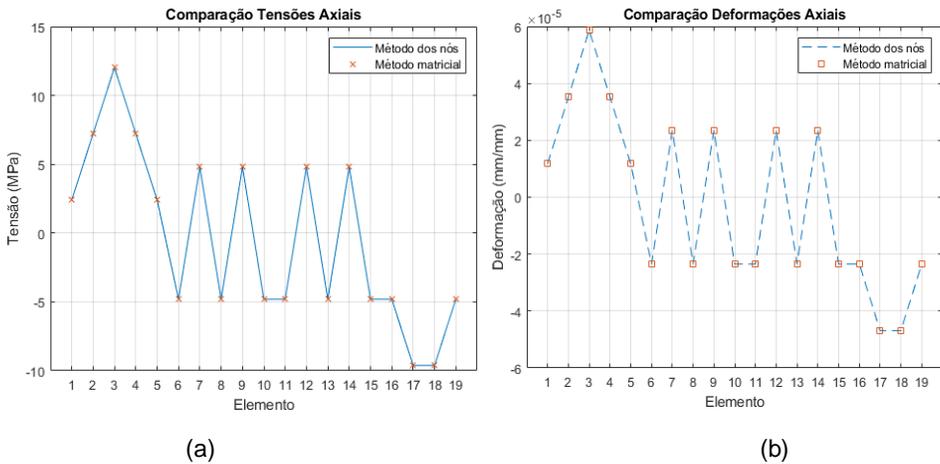
Para fins de comparação, as grandezas exibidas na tabela 3 também foram obtidas utilizando o método dos nós, por ser um método clássico que consiste na verificação do equilíbrio de forças para cada nó conhecendo-se as reações de apoio.

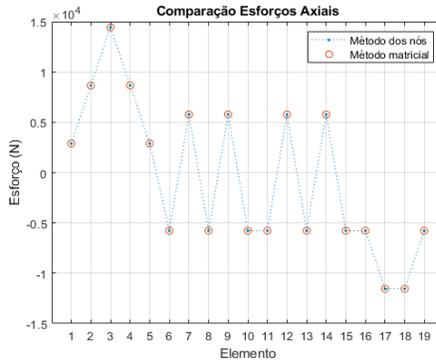
Comparando os resultados, nota-se que a magnitude das grandezas tensão, deformação e esforço axial determinadas analiticamente, tanto pelo método dos nós quanto pelo método matricial, convergiram como o esperado.

A figura a seguir mostra uma comparação visual das intensidades obtidas destas grandezas nos dois métodos citados. Observa-se que os elementos de 1 a 5 (banzos inferiores) estão tracionados e consequentemente sofrendo um alongamento, enquanto nos elementos de 16 a 19 (banzos superiores), acontece o inverso. Já nos elementos de 6 a 10 (diagonais) tem-se os elementos pares sob compressão e consequentemente sofrendo uma deformação por encurtamento e o inverso para os elementos ímpares. Devido a simetria da treliça, nota-se o oposto para os elementos diagonais de 11 a 15.

Figura 7 - Comparação visual das grandezas obtidas pelos métodos dos nós e matricial.

(a) Tensões; (b) Deformações e (c) Esforços axiais





(c)

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

MODELAGEM COMPUTACIONAL

Os modelos numéricos da treliça apresentados a seguir, foram realizados no software ANSYS usando a linguagem APDL, a partir de técnicas comuns de discretização com base no método dos elementos finitos, considerando três tipos de elementos lineares: *LINK1*, *BEAM3* e *BEAM4*.

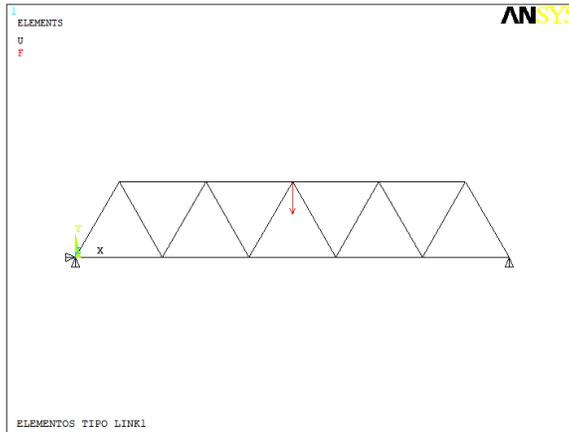
Para dar início à modelagem é necessário informar ao pré processador do software, o tipo de elemento (*LINK1*, *BEAM3* ou *BEAM4*) que será utilizado na discretização, bem como as propriedades geométricas e físicas dos elementos (TABELA 1) e ainda, as coordenadas dos nós, tomando como base a figura 1 e a incidência nodal dos elementos, para gerar a estrutura a ser analisada.

As condições de contorno tais como os apoios fixo (localizado no nó 1) e móvel (localizado no nó 6), bem como a carga concentrada de -10 kN (localizada no nó 9), são inseridas no módulo de solução do programa, para que sejam realizados os cálculos necessários da análise linear estática escolhida para este trabalho.

Elemento LINK1

A partir das informações inseridas nos módulos /PREP7 e /SOLU (comandos que acessam os módulos de pré-processamento e solução respectivamente), tem-se na figura 8, a geometria da treliça discretizada com elementos tipo *LINK1*, a vinculação e carga aplicada.

Figura 8 - Modelo estrutural LINK1



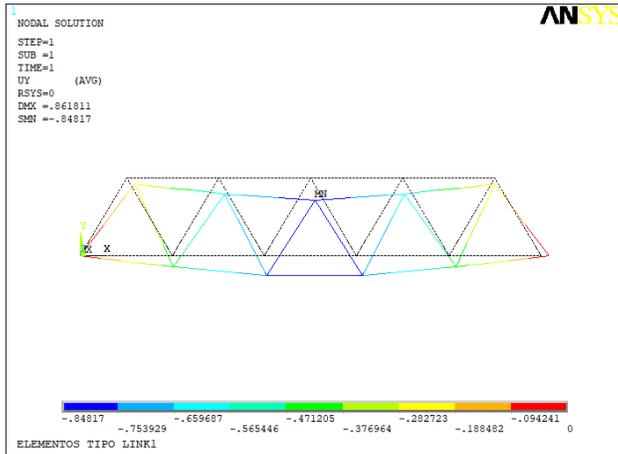
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

As figuras a seguir mostram os resultados da análise linear estática dos parâmetros deslocamentos, esforços e tensões axiais solicitados no último módulo do programa com o comando /POST1.

As figuras 9 e 10 exibem a deformada da estrutura juntamente com a sua configuração indeformada para os eixos Y e X global enquanto a figura 11 mostra a janela de saída do programa com os valores obtidos para os deslocamentos nodais nos eixos X, Y e Z global, representados respectivamente por UX, UY e UZ, bem como o deslocamento nodal resultante, denominado USUM, além de destacar os valores máximos absolutos no eixo X, referente ao deslocamento imposto devido ao apoio móvel nó 6 e no eixo Y, relacionado à carga aplicada no nó 9.

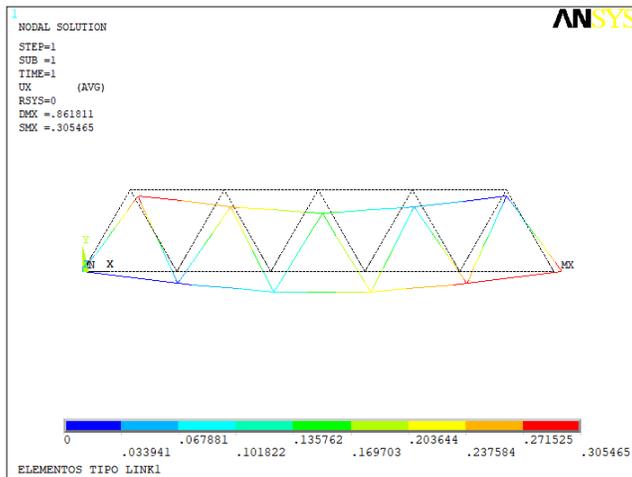
Já a figura 12, mostra o vetor de cargas nodais externas em Newtons, tal que em X os valores são desprezíveis, enquanto no eixo Y tem-se as forças referentes às reações de apoio nos nós 1 e 6, bem como a informação da carga aplicada no nó 9.

Figura 9 – Deformada da estrutura em Y global



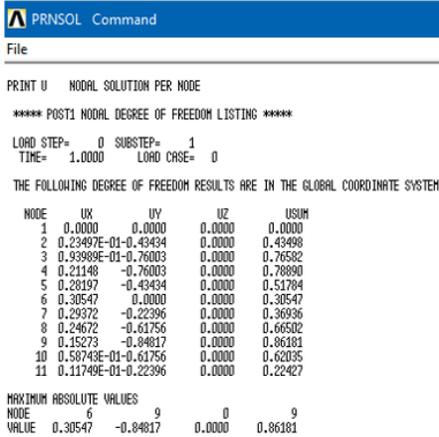
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 10 - Deformada da estrutura em X global



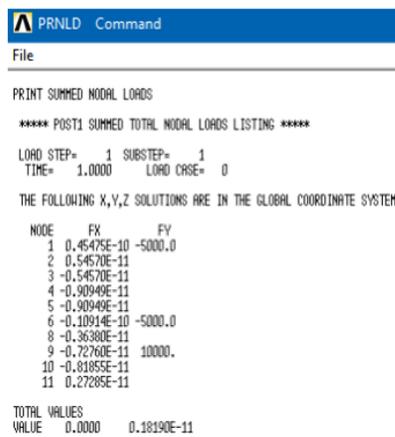
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 11 - Deslocamento nodal (mm)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

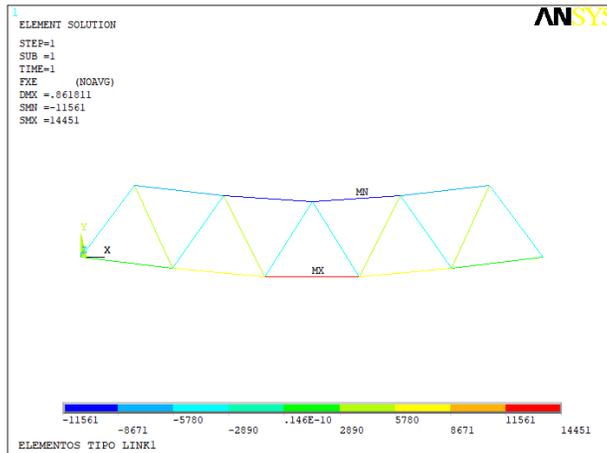
Figura 12 – Vetor de cargas (N)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

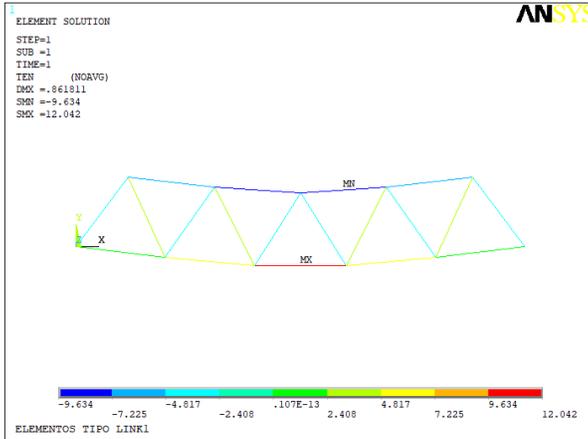
As figuras 13 e 14 mostram as distribuições de esforços (N) e tensões axiais (MPa) ao longo da treliça, respectivamente. O banzo inferior central vermelho indica tração máxima enquanto os banzos superiores em azul escuro sofrem máxima compressão.

Figura 13 – Esforços axiais (N)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 14 - Tensões axiais (MPa)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

A figura 15 apresenta a janela de saída do ANSYS com as magnitudes dos esforços normais (N), representado por SNORMAL e das tensões axiais (MPa), representado por TEN de cada elemento que compõe a treliça, destacando os elementos com seus valores máximos e mínimos para estas grandezas.

Figura 15 - Vetores esforços (N) e tensões axiais (MPa)

PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT	CURRENT	CURRENT
ELEM	SNORMAL	TEN
1	2890.2	2.4085
2	8670.5	7.2254
3	14451.	12.042
4	8670.5	7.2254
5	2890.2	2.4085
6	-5775.2	-4.8127
7	5775.2	4.8127
8	-5775.2	-4.8127
9	5775.2	4.8127
10	-5775.2	-4.8127
11	-5775.2	-4.8127
12	5775.2	4.8127
13	-5775.2	-4.8127
14	5775.2	4.8127
15	-5775.2	-4.8127
16	-5780.3	-4.8170
17	-11561.	-9.6339
18	-11561.	-9.6339
19	-5780.3	-4.8170

MINIMUM VALUES		
ELEM	18	18
VALUE	-11561.	-9.6339

MAXIMUM VALUES		
ELEM	3	3
VALUE	14451.	12.042

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Lembrando que o elemento LINK1 possui 2 graus de liberdade por nó no eixo global e como a treliça estudada possui 11 nós, tem-se a matriz de rigidez quadrada de ordem 22 como mostrado com o método matricial para um elemento de treliça que tem como característica, graus de liberdade axial. Descontando os 3 graus de liberdade devido as restrições de apoios, como mostrado no cálculo analítico, a rigidez final será dada por uma matriz quadrada de ordem 19.

A matriz de rigidez gerada pelo software de ordem 19x19 como prevista, está apresentada na figura 16 no formato esparsa, lembrando que matrizes esparsas mostram apenas os elementos não nulos. Torna-se necessário destacar que a numeração dos GL no ANSYS é determinada internamente pelo algoritmo da solução e não corresponde ao adotado neste trabalho, logo os coeficientes que compõem a matriz de rigidez, embora tenham a mesma magnitude, ocupam posições diferentes na matriz quando comparados com a matriz de rigidez encontrada pelo método analítico.

Figura 1 - Matriz de rigidez gerada pelo ANSYS

```

File
Matrix: MatK0
Type: Double
Rows: 19
Columns: 19
In Core: 1
Row[0]: (1, 1.84664e+005 ), (3, -3.08321e+004 ), (4, 5.33395e+004 ), (5, -1.23000e+005 ),
Row[1]: (2, 1.84555e+005 ), (3, 5.33395e+004 ), (4, -9.22773e+004 ),
Row[2]: (3, 3.07664e+005 ), (5, -3.08321e+004 ), (6, -5.33395e+004 ), (7, -1.23000e+005 ),
Row[3]: (4, 1.84555e+005 ), (5, -5.33395e+004 ), (6, -9.22773e+004 ),
Row[4]: (5, 3.07664e+005 ), (7, -3.08321e+004 ), (8, 5.33395e+004 ), (9, -1.23000e+005 ),
Row[5]: (6, 1.84555e+005 ), (7, 5.33395e+004 ), (8, -9.22773e+004 ),
Row[6]: (7, 3.07664e+005 ), (9, -3.08321e+004 ), (10, -5.33395e+004 ), (11, -1.23000e+005 ),
Row[7]: (8, 1.84555e+005 ), (9, -5.33395e+004 ), (10, -9.22773e+004 ),
Row[8]: (9, 3.07664e+005 ), (11, -3.08321e+004 ), (12, 5.33395e+004 ), (13, -1.23000e+005 ),
Row[9]: (10, 1.84555e+005 ), (11, 5.33395e+004 ), (12, -9.22773e+004 ),
Row[10]: (11, 3.07664e+005 ), (13, -3.08321e+004 ), (14, -5.33395e+004 ), (15, -1.23000e+005 ),
Row[11]: (12, 1.84555e+005 ), (13, -5.33395e+004 ), (14, -9.22773e+004 ),
Row[12]: (13, 3.07664e+005 ), (15, -3.08321e+004 ), (16, 5.33395e+004 ), (17, -1.23000e+005 ),
Row[13]: (14, 1.84555e+005 ), (15, 5.33395e+004 ), (16, -9.22773e+004 ),
Row[14]: (15, 3.07664e+005 ), (17, -3.08321e+004 ), (18, -5.33395e+004 ), (19, -1.23000e+005 ),
Row[15]: (16, 1.84555e+005 ), (17, -5.33395e+004 ), (18, -9.22773e+004 ),
Row[16]: (17, 1.84664e+005 ), (19, -3.08321e+004 ),
Row[17]: (18, 1.84555e+005 ), (19, 5.33395e+004 ),
Row[18]: (19, 1.53832e+005 ),

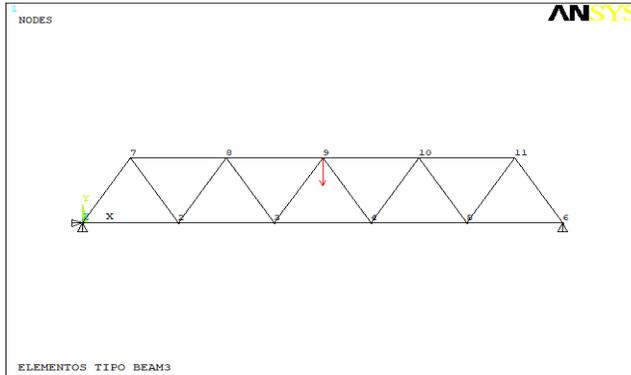
```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Elemento BEAM3

A modelagem computacional da treliça discretizada com elementos tipo *BEAM3* está mostrada na figura 17. Visualmente, não há diferença entre discretizar com elementos do tipo LINK1 ou BEAM3, como pode ser observado ao comparar as figuras 17 e 8. A diferença se dará ao realizar os cálculos para gerar os resultados.

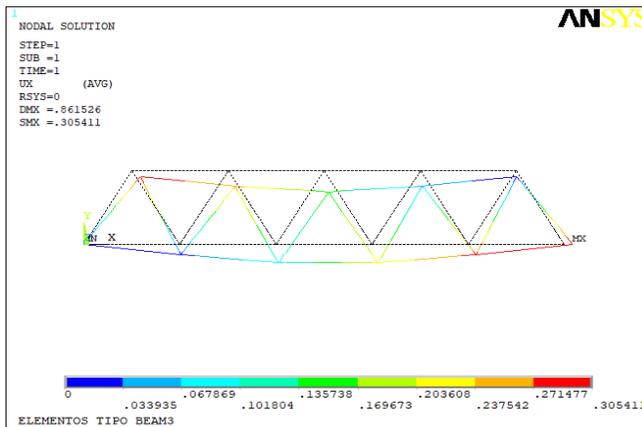
Figura 2 - Modelo estrutural BEAM3



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021

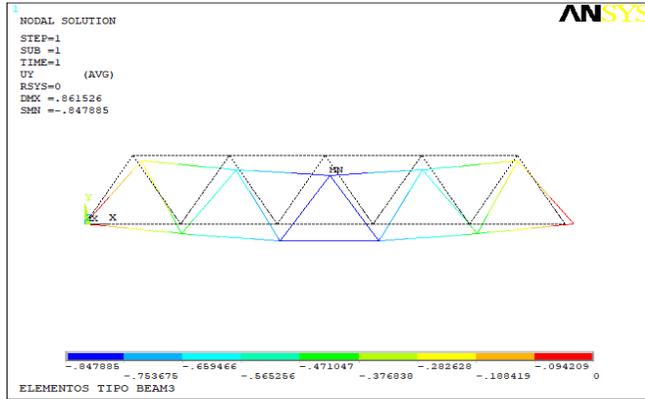
As figuras 18 e 19 exibem a deformada da estrutura juntamente com a sua configuração indeformada para os eixos X e Y global respectivamente e a figura 20 mostra a janela de saída do programa com os valores obtidos para os deslocamentos nodais nos eixos X, Y e Z global, bem como os deslocamentos resultantes com as mesmas representações descritas anteriormente, ou seja, UX, UY, UZ e USUM, além de destacar os valores máximos nos eixos X e Y, referentes ao apoio móvel no nó 6 e à carga aplicada no nó 9.

Figura 3 - Deformada da estrutura em X global



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 4 - Deformada da estrutura em Y global



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 20 - Deslocamento nodal (mm)

PRNSOL Command

File

```

PRINT U  NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1
TIME= 1.000  LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM
    
```

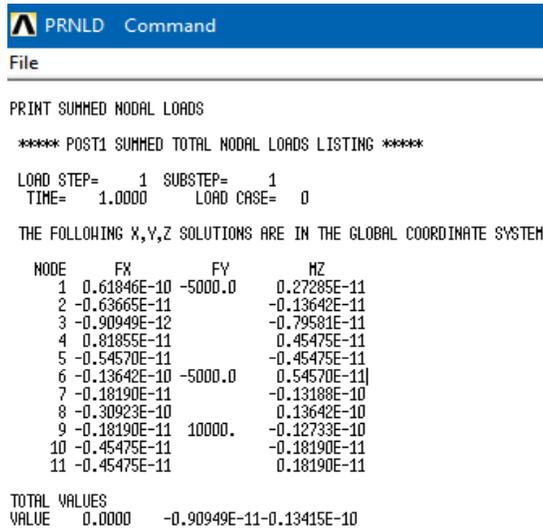
NODE	UX	UY	UZ	USUM
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.23499E-01	-0.43423	0.0000	0.43487
3	0.93981E-01	-0.75979	0.0000	0.76558
4	0.21143	-0.75979	0.0000	0.78866
5	0.28191	-0.43423	0.0000	0.51772
6	0.30541	0.0000	0.0000	0.30541
7	0.29366	-0.22392	0.0000	0.36929
8	0.24667	-0.61739	0.0000	0.66484
9	0.15271	-0.84788	0.0000	0.86153
10	0.58738E-01	-0.61739	0.0000	0.62017
11	0.11750E-01	-0.22392	0.0000	0.22423

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES				
NODE	6	9	0	9
VALUE	0.30541	-0.84788	0.0000	0.86153

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Já a figura 21, mostra o vetor de cargas externas, tal que em X os valores das forças (N) são desprezíveis, enquanto no eixo Y tem-se as forças referentes às reações de apoio nos nós 1 e 6, bem como a informação da carga aplicada no nó 9. Como o elemento BEAM3 considera a rotação no eixo Z além da translação em seus graus de liberdade, tem-se também o parâmetro MZ (N.mm) gerado como resultado, apresentando valores desprezíveis, como pode ser observado.

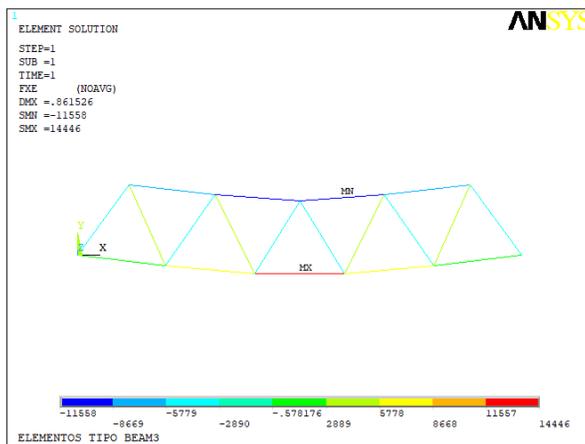
Figura 21 - Vetor de cargas externas nodais



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

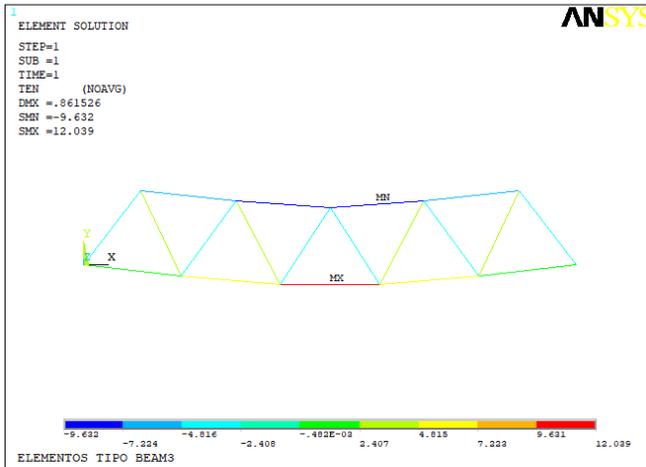
As figuras 22 e 23 mostram as distribuições de esforços (N) e tensões axiais (MPa) ao longo da treliça, respectivamente. Assim como na modelagem com o LINK1, o banzo inferior central vermelho indica tração máxima enquanto os banzos superiores em azul escuro sofrem máxima compressão.

Figura 22 - Esforços axiais (N)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 23 - Tensões axiais (MPa)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Já na figura 24, tem-se a janela de saída do software ANSYS com as magnitudes dos esforços normais (N) e tensões axiais (MPa), representados por FXE e TEN respectivamente, de cada elemento que compõe a treliça, destacando os elementos com seus valores máximos e mínimos para estas grandezas. Nota-se que os resultados estão bem próximos das magnitudes obtidas com a discretização utilizando elementos do tipo LINK1 (FIGURA 15).

Figura 24 - Vetores esforços (N) e tensões axiais (MPa)

PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT FXE	CURRENT TEN
1	2890.4	2.4086
2	8669.3	7.2244
3	14446.	12.039
4	8669.3	7.2244
5	2890.4	2.4086
6	-5773.9	-4.8116
7	5771.6	4.8097
8	-5771.5	-4.8096
9	5770.3	4.8086
10	-5771.8	-4.8099
11	-5771.8	-4.8099
12	5770.3	4.8086
13	-5771.5	-4.8096
14	5771.6	4.8097
15	-5773.9	-4.8116
16	-5779.5	-4.8163
17	-11558.	-9.6317
18	-11558.	-9.6317
19	-5779.5	-4.8163

MINIMUM VALUES		
ELEM	18	18
VALUE	-11558.	-9.6317

MAXIMUM VALUES		
ELEM	3	3
VALUE	14446.	12.039

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

O elemento do tipo BEAM3 possui 3 graus de liberdade por nó no eixo global e como a treliça estudada possui 11 nós, tem-se a matriz de rigidez quadrada para este elemento de ordem 33. Descontando os 3 graus de liberdade devido as restrições de apoios, a rigidez final será dada por uma matriz de ordem 30x30. A figura 25 apresenta a matriz de rigidez gerada pelo software ANSYS no formato esparsos.

Figura 25 - Matriz de rigidez gerada pelo ANSYS

```

ANSYS Rigidize Beam3 Sparse.matrix
File
Matrix: MatKD
Type: Double
Rows: 30
Columns: 30
In Core: 1
Rout01: (1, 9.40138e+007 ), (2, 3.05635e+004 ), (3, -1.76668e+004 ), (4, 2.35139e+007 ), (6, -3.52395e+004 ), (7, 2.34930e+007 ),
Rout11: (2, 1.84717e+005 ), (4, 6.11270e+004 ), (5, -3.08585e+004 ), (6, 5.33241e+004 ), (7, 3.05635e+004 ), (8, -1.23000e+005 ),
Rout12: (3, 1.84607e+005 ), (4, 3.52395e+004 ), (5, 5.33241e+004 ), (6, -9.22861e+004 ), (7, 1.76668e+004 ), (9, -3.52395e+001 ), (10, 3.52395e+004 ),
Rout31: (4, 1.41042e+008 ), (5, -3.05635e+004 ), (6, -1.76668e+004 ), (7, 2.35139e+007 ), (9, -3.52395e+004 ), (10, 2.34930e+007 ),
Rout41: (5, 3.07717e+005 ), (7, -6.11270e+004 ), (8, -3.08585e+004 ), (9, -5.33241e+004 ), (10, -3.05635e+004 ), (11, -1.23000e+005 ),
Rout51: (6, 1.84643e+005 ), (8, -5.33241e+004 ), (9, -9.22861e+004 ), (10, 1.76668e+004 ), (12, -3.52395e+001 ), (13, 3.52395e+004 ),
Rout61: (7, 1.88028e+008 ), (8, 3.05635e+004 ), (9, -1.76668e+004 ), (10, 2.35139e+007 ), (12, -3.52395e+004 ), (13, 2.34930e+007 ),
Rout71: (8, 3.07717e+005 ), (10, 6.11270e+004 ), (11, -3.08585e+004 ), (12, 5.33241e+004 ), (13, 3.05635e+004 ), (14, -1.23000e+005 ),
Rout81: (9, 1.84643e+005 ), (11, 5.33241e+004 ), (12, -9.22861e+004 ), (13, 1.76668e+004 ), (15, -3.52395e+001 ), (16, 3.52395e+004 ),
Rout91: (10, 1.88028e+008 ), (11, -3.05635e+004 ), (12, -1.76668e+004 ), (13, 2.35139e+007 ), (15, -3.52395e+004 ), (16, 2.34930e+007 ),
Rout10: (11, 3.07717e+005 ), (13, -6.11270e+004 ), (14, -3.08585e+004 ), (15, -5.33241e+004 ), (16, -3.05635e+004 ), (17, -1.23000e+005 ),
Rout111: (12, 1.84643e+005 ), (14, 5.33241e+004 ), (15, -9.22861e+004 ), (16, 1.76668e+004 ), (18, -3.52395e+001 ), (19, 3.52395e+004 ),
Rout12: (13, 1.88028e+008 ), (14, 3.05635e+004 ), (15, -1.76668e+004 ), (16, 2.35139e+007 ), (18, -3.52395e+004 ), (19, 2.34930e+007 ),
Rout13: (14, 3.07717e+005 ), (16, 6.11270e+004 ), (17, -3.08585e+004 ), (18, 5.33241e+004 ), (19, 3.05635e+004 ), (20, -1.23000e+005 ),
Rout14: (15, 1.84643e+005 ), (17, 5.33241e+004 ), (18, -9.22861e+004 ), (19, 1.76668e+004 ), (21, -3.52395e+001 ), (22, 3.52395e+004 ),
Rout15: (16, 1.88028e+008 ), (17, -3.05635e+004 ), (18, -1.76668e+004 ), (19, 2.35139e+007 ), (21, -3.52395e+004 ), (22, 2.34930e+007 ),
Rout16: (17, 3.07717e+005 ), (19, -6.11270e+004 ), (20, -3.08585e+004 ), (21, -5.33241e+004 ), (22, -3.05635e+004 ), (23, -1.23000e+005 ),
Rout17: (18, 1.84643e+005 ), (20, -5.33241e+004 ), (21, -9.22861e+004 ), (22, 1.76668e+004 ), (24, -3.52395e+001 ), (25, 3.52395e+004 ),
Rout18: (19, 1.88028e+008 ), (20, 3.05635e+004 ), (21, -1.76668e+004 ), (22, 2.35139e+007 ), (24, -3.52395e+004 ), (25, 2.34930e+007 ),
Rout19: (20, 3.07717e+005 ), (22, 6.11270e+004 ), (23, -3.08585e+004 ), (24, 5.33241e+004 ), (25, 3.05635e+004 ), (26, -1.23000e+005 ),
Rout20: (21, 1.84643e+005 ), (23, 5.33241e+004 ), (24, -9.22861e+004 ), (25, 1.76668e+004 ), (27, -3.52395e+001 ), (28, 3.52395e+004 ),
Rout21: (22, 1.88028e+008 ), (23, -3.05635e+004 ), (24, -1.76668e+004 ), (25, 2.35139e+007 ), (27, -3.52395e+004 ), (28, 2.34930e+007 ),
Rout22: (23, 3.07717e+005 ), (25, -6.11270e+004 ), (26, -3.08585e+004 ), (27, -5.33241e+004 ), (28, -3.05635e+004 ), (29, -1.23000e+005 ),
Rout23: (24, 1.84643e+005 ), (26, -5.33241e+004 ), (27, -9.22861e+004 ), (28, 1.76668e+004 ), (30, 3.52395e+004 ),
Rout24: (25, 1.88028e+008 ), (26, 3.05635e+004 ), (27, -1.76668e+004 ), (28, 2.35139e+007 ), (30, 2.34930e+007 ),
Rout25: (26, 1.84717e+005 ), (28, 6.11270e+004 ), (29, -3.08585e+004 ), (30, 3.05635e+004 ),
Rout26: (27, 1.84607e+005 ), (28, -3.52395e+004 ), (29, 5.33241e+004 ), (30, 1.76668e+004 ),
Rout27: (28, 1.41042e+008 ), (29, 3.05635e+004 ), (30, 2.35139e+007 ),
Rout28: (29, 1.53859e+005 ), (30, -3.05635e+004 ),
Rout29: (30, 9.40138e+007 ),

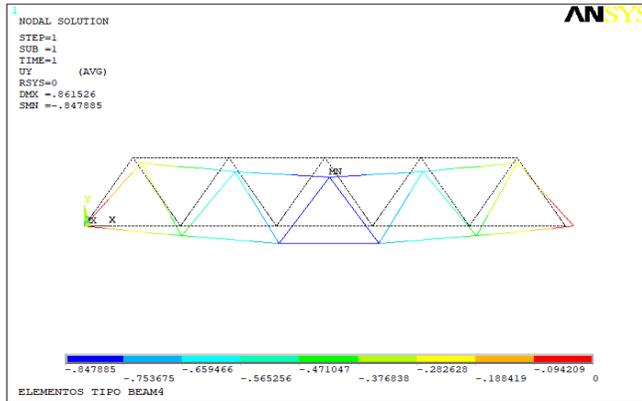
```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Elemento BEAM4

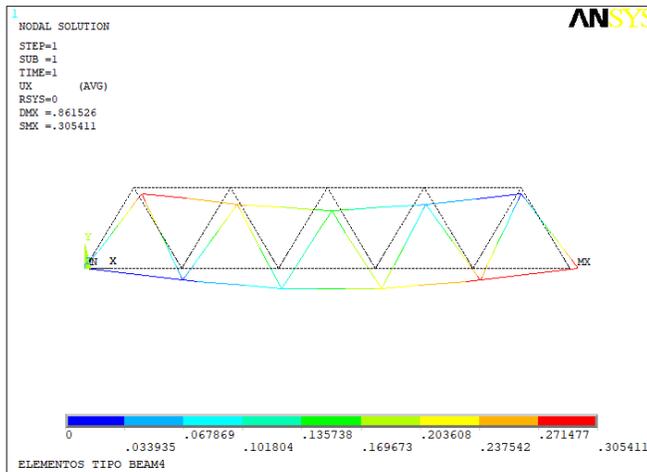
Assim como com os outros elementos, não há diferença visual no modelo estrutural entre discretizar a treliça utilizando elementos dos tipos LINK1, BEAM3 ou BEAM4. A grande diferença se dará ao realizar os cálculos e no esforço computacional empregado para gerar os resultados. As figuras 26 e 27 exibem a deformada da estrutura juntamente com a sua configuração indeformada para os eixos Y e X global respectivamente e a figura 28 mostra a janela de saída do programa com os valores obtidos para os deslocamentos nodais.

Figura 26 – Deformada da estrutura em Y global



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 27 – Deformada da estrutura em X global



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 28 - Deslocamento nodal (mm)

```

PRNSOL Command
File
PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE
**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

NODE	UX	UY	UZ	USUM
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.23499E-01	-0.43423	0.0000	0.43487
3	0.93981E-01	-0.75979	0.0000	0.76558
4	0.21143	-0.75979	0.0000	0.78866
5	0.28191	-0.43423	0.0000	0.51772
6	0.30541	0.0000	0.0000	0.30541
7	0.29366	-0.22392	0.0000	0.36929
8	0.24667	-0.61739	0.0000	0.66484
9	0.15271	-0.84788	0.0000	0.86153
10	0.58738E-01	-0.61739	0.0000	0.62017
11	0.11750E-01	-0.22392	0.0000	0.22423

```

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE 6 9 0 9
VALUE 0.30541 -0.84788 0.0000 0.86153

```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Já a figura 29, mostra o vetor de cargas nodais, tal que em X os valores das forças (N) são desprezíveis, enquanto no eixo Y tem-se as forças referentes às reações de apoio nos nós 1 e 6, bem como a informação da carga aplicada no nó 9. Como o elemento BEAM4 considera a rotação na eixos X, Y e Z, além da translação em seus graus de liberdade, tem-se também os parâmetros MX, MY e MZ (N.mm) gerado como resultado, apresentando ausência de valores ou valores desprezíveis, como pode ser observado.

Figura 29 – Vetor de cargas nodais

```

PRNLD Command
File
PRINT SUMMED NODAL LOADS
**** POST1 SUMMED TOTAL NODAL LOADS LISTING ****
LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	0.31378E-10	-5000.0				0.22737E-11
2	-0.18190E-11					
3	-0.63665E-11					-0.24102E-10
4	-0.19099E-10					-0.68212E-11
5	-0.25466E-10					-0.12278E-10
6	-0.27285E-11	-5000.0				0.90949E-12
7	-0.18190E-11					-0.45475E-11
8	0.54570E-11					-0.90949E-11
9	0.36380E-11	10000.				-0.45475E-11
10	0.12733E-10					0.90949E-12
11	0.36380E-11					0.27285E-11

```

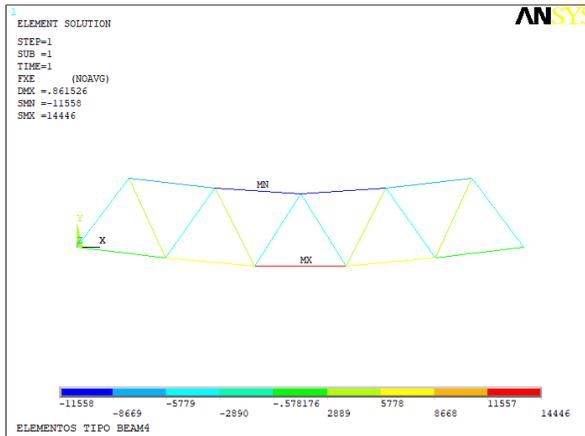
TOTAL VALUES
VALUE -0.45475E-12 -0.25466E-10 0.0000 0.0000 0.0000 -0.54570E-10

```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021

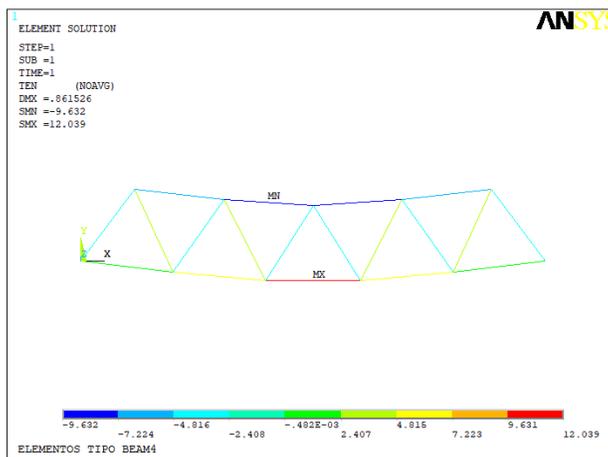
As figuras 30 e 31 mostram as distribuições de esforços (N) e tensões axiais (MPa) ao longo da treliça respectivamente. Assim como nas modelagens com elementos dos tipos LINK1 e BEAM3, o banzo inferior central vermelho indica tração máxima enquanto os banzos superiores em azul sofrem máxima compressão.

Figura 30 – Esforços axiais (N)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Figura 31 - Tensões axiais (MPa)

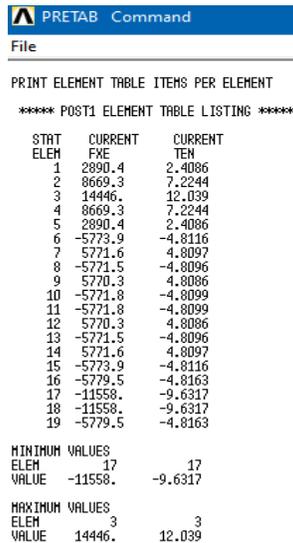


Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Já na figura 32, tem-se a janela de saída do software ANSYS com as magnitudes dos esforços normais (N) e tensões axiais (MPa), representados

por FXE e TEN respectivamente de cada elemento que compõe a treliça, destacando os elementos com seus valores máximos e mínimos para estas grandezas. Nota-se que os resultados são exatamente as mesmas magnitudes obtidas com a discretização utilizando elementos do tipo BEAM3 (FIGURA 24).

Figura 32 - Vetores esforços (N) e tensões axiais (MPa)



```

PRETAB Command
File
-----
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

```

STAT ELEM	CURRENT FXE	CURRENT TEN
1	2890.4	2.4086
2	8669.3	7.2244
3	14446.	12.039
4	8669.3	7.2244
5	2890.4	2.4086
6	-5773.9	-4.8116
7	5771.6	4.8097
8	-5771.5	-4.8096
9	5770.3	4.8086
10	-5771.8	-4.8099
11	-5771.8	-4.8099
12	5770.3	4.8086
13	-5771.5	-4.8096
14	5771.6	4.8097
15	-5773.9	-4.8116
16	-5779.5	-4.8163
17	-11558.	-9.6317
18	-11558.	-9.6317
19	-5779.5	-4.8163

MINIMUM VALUES		
ELEM	17	17
VALUE	-11558.	-9.6317

MAXIMUM VALUES		
ELEM	3	3
VALUE	14446.	12.039

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

O elemento do tipo BEAM4 possui 6 graus de liberdade por nó no eixo global e como a treliça estudada possui 11 nós, tem-se a matriz de rigidez quadrada para este elemento de ordem 66. Para manter as condições de contorno utilizadas nas modelagens anteriores, ou seja, o nó 1 totalmente restrito na translação e o nó 6 livre para transladar no eixo X, foi adotado restrição de translação espacial em X, Y e Z no nó 1 e restrição em Y e Z no nó 6. Assim, descontando os 5 graus de liberdade devido as restrições de apoios, a rigidez final será dada por uma matriz de ordem 61x61. A figura 33 apresenta a matriz de rigidez gerada pelo software ANSYS para a modelagem com elementos do tipo BEAM4 no formato esparsa.

Figura 33 - Matriz de rigidez gerada pelo ANSYS

```

Rigidez Beams Sparse matrix
File
Matrix: MatK0
Type: Double
Rows: 61
Columns: 61
In Core: 1
Row101: (1, 4.65507e+007), (2, -1.64573e+007), (6, -3.05635e+004), (7, 1.53600e+007), (8, -1.41062e+007), (13, -9.03577e+006),
Row111: (2, 6.55427e+007), (6, 1.76668e+004), (7, -1.41062e+007), (8, -8.89907e+005), (12, 3.52395e+004), (14, 2.34930e+007),
Row121: (3, 9.40138e+007), (4, 3.05635e+004), (5, -1.76668e+004), (9, 2.35139e+007), (11, -3.52395e+004), (15, 2.34930e+007),
Row131: (4, 1.84717e+005), (9, 6.11270e+004), (10, -3.08585e+004), (11, 5.33241e+004), (15, 3.05635e+004), (16, -1.23000e+005),
Row141: (5, 1.84607e+005), (9, 3.52395e+004), (10, 5.33241e+004), (11, -9.22861e+004), (15, 1.76668e+004), (17, -3.52395e+001), (21, 3.52395e+004),
Row151: (6, 1.05070e+002), (7, -6.11270e+004), (8, -3.52395e+004), (12, -3.53335e+001), (13, -3.05635e+004), (14, -1.76668e+004), (18, -3.52395e+001), (20, -3.52395e+004),
Row161: (7, 8.40655e+007), (12, 3.05635e+004), (13, 1.53600e+007), (14, 1.41062e+007), (19, -9.03577e+006),
Row171: (8, 8.40993e+007), (12, 1.76668e+004), (13, 1.41062e+007), (14, -8.89907e+005), (18, 3.52395e+004), (20, 2.34930e+007),
Row181: (9, 1.41042e+008), (10, -3.05635e+004), (11, -1.76668e+004), (15, 2.35139e+007), (17, -3.52395e+004), (21, 2.34930e+007),
Row191: (10, 3.07717e+005), (15, -6.11270e+004), (16, -3.08585e+004), (17, -5.33241e+004), (21, -3.05635e+004), (22, -1.23000e+005),
Row101: (11, 1.84643e+005), (16, -5.33241e+004), (17, -9.22861e+004), (21, 1.76668e+004), (23, -3.52395e+001), (27, 3.52395e+004),
Row111: (12, 1.41146e+002), (13, 6.11270e+004), (18, -3.53335e+001), (19, -3.05635e+004), (20, -1.76668e+004), (24, -3.52395e+001), (26, -3.52395e+004),
Row121: (13, 9.21013e+007), (18, 3.05635e+004), (19, 1.53600e+007), (21, -1.41062e+007), (22, -9.03577e+006),
Row131: (14, 1.31085e+008), (18, 1.76668e+004), (19, -1.41062e+007), (20, -8.89907e+005), (24, 3.52395e+004), (26, 2.34930e+007),
Row141: (15, 1.88028e+008), (16, 3.05635e+004), (17, -1.76668e+004), (21, 2.35139e+007), (23, -3.52395e+004), (27, 2.34930e+007),
Row151: (16, 3.07717e+005), (21, 6.11270e+004), (22, -3.08585e+004), (23, 5.33241e+004), (27, 3.05635e+004), (28, -1.23000e+005),
Row161: (17, 1.84643e+005), (22, 5.33241e+004), (23, -9.22861e+004), (27, 1.76668e+004), (29, -3.52395e+001), (33, 3.52395e+004),
Row171: (18, 1.41146e+002), (19, -6.11270e+004), (24, -3.53335e+001), (25, -3.05635e+004), (26, -1.76668e+004), (30, -3.52395e+001), (32, -3.52395e+004),
Row181: (19, 9.21013e+007), (24, 3.05635e+004), (25, 1.53600e+007), (26, 1.41062e+007), (26, 1.41062e+007), (31, -9.03577e+006),
Row191: (20, 1.31085e+008), (24, 1.76668e+004), (25, 1.41062e+007), (26, -8.89907e+005), (30, 3.52395e+004), (32, 2.34930e+007),
Row201: (21, 1.88028e+008), (22, -3.05635e+004), (23, -1.76668e+004), (27, 2.35139e+007), (29, -3.52395e+004), (33, 2.34930e+007),
Row211: (22, 3.07717e+005), (27, -6.11270e+004), (28, -3.08585e+004), (29, -5.33241e+004), (33, -3.05635e+004), (34, -1.23000e+005),
Row221: (23, 1.84643e+005), (28, 5.33241e+004), (29, -9.22861e+004), (33, 1.76668e+004), (35, -3.52395e+001), (39, 3.52395e+004),
Row231: (24, 1.41146e+002), (25, 6.11270e+004), (30, -3.53335e+001), (31, 3.05635e+004), (32, -1.76668e+004), (36, -3.52395e+001), (38, -3.52395e+004),
Row241: (25, 9.21013e+007), (30, -3.05635e+004), (31, 1.53600e+007), (32, -1.41062e+007), (37, -9.03577e+006),
Row251: (26, 1.84643e+005), (30, 1.76668e+004), (31, -1.41062e+007), (32, -8.89907e+005), (36, 3.52395e+004), (38, 2.34930e+007),
Row261: (27, 1.88028e+008), (28, 3.05635e+004), (29, -1.76668e+004), (33, 2.35139e+007), (35, -3.52395e+004), (39, 2.34930e+007),
Row271: (28, 3.07717e+005), (34, -6.11270e+004), (35, -3.08585e+004), (36, 5.33241e+004), (39, -3.05635e+004), (40, -1.23000e+005),
Row281: (29, 1.84643e+005), (34, 5.33241e+004), (35, -9.22861e+004), (39, 1.76668e+004), (41, -3.52395e+001), (45, 3.52395e+004),
Row291: (30, 1.41146e+002), (31, -6.11270e+004), (36, -3.53335e+001), (37, -3.05635e+004), (38, -1.76668e+004), (42, -3.52395e+001), (44, -3.52395e+004),
Row301: (31, 9.21013e+007), (36, 3.05635e+004), (37, 1.53600e+007), (38, 1.41062e+007), (43, -9.03577e+006),
Row311: (32, 1.31085e+008), (36, 1.76668e+004), (37, 1.41062e+007), (38, -8.89907e+005), (42, 3.52395e+004), (44, 2.34930e+007),
Row321: (33, 1.88028e+008), (34, -3.05635e+004), (35, -1.76668e+004), (39, 2.35139e+007), (41, 3.52395e+004), (46, 2.34930e+007),
Row331: (34, 3.07717e+005), (39, -6.11270e+004), (40, -3.08585e+004), (41, -5.33241e+004), (45, -3.05635e+004), (46, -1.23000e+005),
Row341: (35, 1.84643e+005), (40, -5.33241e+004), (41, -9.22861e+004), (45, 1.76668e+004), (47, -3.52395e+001), (51, 3.52395e+004),
Row351: (36, 1.41146e+002), (37, 6.11270e+004), (42, -3.53335e+001), (43, -3.05635e+004), (44, -1.76668e+004), (48, -3.52395e+001), (50, -3.52395e+004),
Row361: (37, 9.21013e+007), (42, -3.05635e+004), (43, 1.53600e+007), (44, -1.41062e+007), (49, -9.03577e+006),
Row371: (38, 1.31085e+008), (42, 1.76668e+004), (43, -1.41062e+007), (44, -8.89907e+005), (48, 3.05635e+004), (50, 2.34930e+007),
Row381: (39, 1.88028e+008), (40, 3.05635e+004), (41, -1.76668e+004), (45, 2.35139e+007), (47, -3.52395e+004), (51, 2.34930e+007),
Row391: (40, 3.07717e+005), (45, 6.11270e+004), (46, -3.08585e+004), (47, 5.33241e+004), (51, 3.05635e+004), (52, -1.23000e+005),
Row401: (41, 1.84643e+005), (46, 5.33241e+004), (47, -9.22861e+004), (51, 1.76668e+004), (53, -3.52395e+001), (57, 3.52395e+004),
Row411: (42, 1.41146e+002), (43, -6.11270e+004), (49, -3.53335e+001), (49, -3.05635e+004), (50, -1.76668e+004), (54, -3.52395e+001), (56, -3.52395e+004),
Row421: (43, 9.21013e+007), (48, 3.05635e+004), (49, 1.53600e+007), (50, 1.41062e+007), (55, -9.03577e+006),
Row431: (44, 1.31085e+008), (48, 1.76668e+004), (49, 1.41062e+007), (50, -8.89907e+005), (54, 3.52395e+004), (56, 2.34930e+007),
Row441: (45, 1.88028e+008), (46, -3.05635e+004), (47, -1.76668e+004), (51, 2.35139e+007), (53, -3.52395e+004), (57, 2.34930e+007),
Row451: (46, 3.07717e+005), (51, -6.11270e+004), (52, -3.08585e+004), (53, -5.33241e+004), (57, -3.05635e+004), (58, -1.23000e+005),
Row461: (47, 1.84643e+005), (52, 5.33241e+004), (53, -9.22861e+004), (57, 1.76668e+004), (61, 3.52395e+004),
Row471: (48, 1.41146e+002), (49, 6.11270e+004), (54, -3.53335e+001), (55, 3.05635e+004), (56, -1.76668e+004), (60, -3.52395e+004),
Row481: (49, 9.21013e+007), (54, -3.05635e+004), (55, 1.53600e+007), (56, -1.41062e+007), (59, -9.03577e+006),
Row491: (50, 1.31085e+008), (54, 1.76668e+004), (55, -1.41062e+007), (56, -8.89907e+005), (60, 2.34930e+007),
Row501: (51, 1.88028e+008), (52, 3.05635e+004), (53, -1.76668e+004), (57, 2.35139e+007), (61, 2.34930e+007),
Row511: (52, 1.84717e+005), (57, 6.11270e+004), (58, 3.53335e+001), (59, 3.05635e+004),
Row521: (53, 1.84607e+005), (57, -3.52395e+004), (58, 5.33241e+004), (61, 1.76668e+004),
Row531: (54, 1.05070e+002), (55, -6.11270e+004), (56, 3.52395e+004), (59, -3.05635e+004), (60, -1.76668e+004),
Row541: (55, 8.40655e+007), (59, 1.53600e+007), (60, 1.41062e+007),
Row551: (56, 8.40993e+007), (59, 1.41062e+007), (60, -8.89907e+005),
Row561: (57, 1.41042e+008), (58, -3.05635e+004), (61, 2.35139e+007),
Row571: (58, 1.53859e+005), (61, -3.05635e+004),
Row581: (59, 4.65507e+007), (60, 1.64573e+007),
Row591: (60, 6.55427e+007),
Row601: (61, 9.40138e+007),

```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

RESULTADOS

Para efeito comparativo entre as modelagens numéricas desenvolvidas neste trabalho, bem como entre os métodos numérico e analítico para 2 graus de liberdade, foi utilizado o erro percentual que tem por finalidade expressar com uma porcentagem o quão próximo um valor obtido está de um valor esperado. Esta grandeza é dada pela seguinte relação:

$$\text{Erro}(\%) = \left| \frac{\text{Valor}_{\text{obtido}} - \text{Valor}_{\text{esperado}}}{\text{Valor}_{\text{esperado}}} \right| \cdot 100 \quad (5)$$

MÉTODO MATRICIAL E MODELAGEM COMPUTACIONAL LINK1

O cálculo analítico desenvolvido a partir do método matricial para elementos de treliça, descreve a matemática por trás da modelagem numérica com elementos do tipo *LINK1*, uma vez que ambos são caracterizados por apresentarem dois graus de liberdade em cada nó. Assim, foram comparados os resultados obtidos dos deslocamentos nodais, esforços e tensões axiais entre estes dois métodos para concluir a análise linear elástica proposta neste trabalho.

Deslocamentos nodais

As tabelas 4 e 5, comparam as magnitudes dos deslocamentos nodais nos eixos globais X e Y respectivamente dado em milímetros, por meio de seus erros percentuais, tomando como base o método matricial.

Tabela 4 - Erro percentual do deslocamento em X global

Nó	Deslocamento nodal no eixo X (mm)		
	Método Matricial	LINK1	Erro (%)
1	0	0	--
2	0,0235	0,023497	0,0128
3	0,0939	0,093989	0,0948
4	0,2112	0,211480	0,1326
5	0,2816	0,281970	0,1314
6	0,3051	0,305470	0,1213
7	0,2934	0,293720	0,1091
8	0,2464	0,246720	0,1299
9	0,1526	0,152730	0,0852
10	0,0587	0,058743	0,0733
11	0,0117	0,011749	0,4188

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

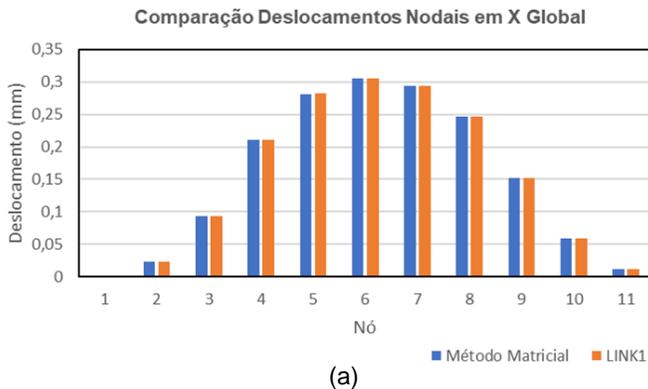
Tabela 5 - Erro percentual do deslocamento em Y global

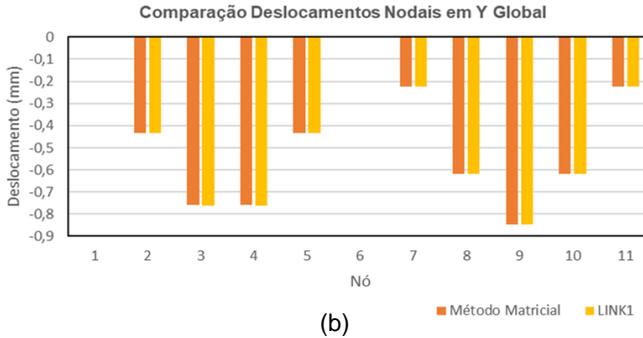
Nó	Deslocamento nodal no eixo Y (mm)		
	Método Matricial	LINK1	Erro (%)
1	0	0	--
2	-0,4336	-0,434340	0,1707
3	-0,7588	-0,760030	0,1621
4	-0,7588	-0,760030	0,1621
5	-0,4336	-0,434340	0,1707
6	0	0	--
7	-0,2236	-0,223960	0,1610
8	-0,6165	-0,617560	0,1719
9	-0,8469	-0,848170	0,1500
10	-0,6165	-0,617560	0,1719
11	-0,2236	-0,223960	0,1610

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

A figura 34 mostra a comparação visual dos deslocamentos nodais para os eixos globais X e Y a partir das magnitudes apresentadas nas tabelas 4 e 5. Observando os gráficos, percebe-se que os valores para esta grandeza obtidos, tanto pelo método matricial quanto pela modelagem com elementos LINK1, estão satisfatoriamente próximos o que é confirmado pelos baixos erros percentuais mostrados nas tabelas 4 e 5.

Figura 34 – Comparação gráfica dos deslocamentos nodais obtidos pelos métodos analítico e numérico LINK1. (a) Eixo X global e (b) Eixo Y global



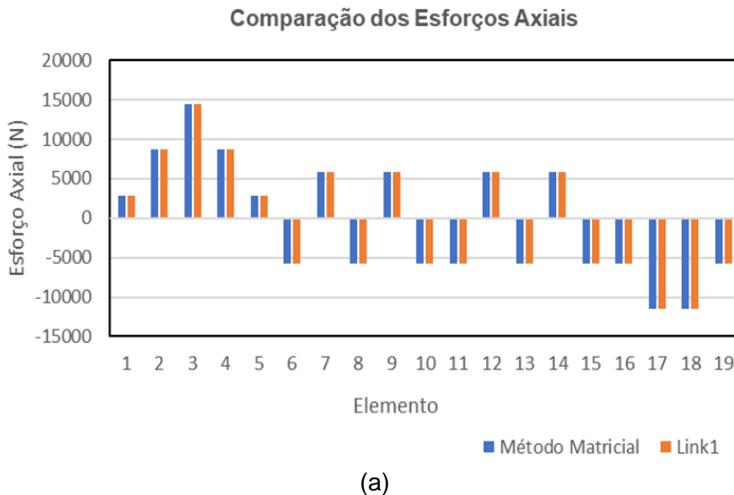


Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

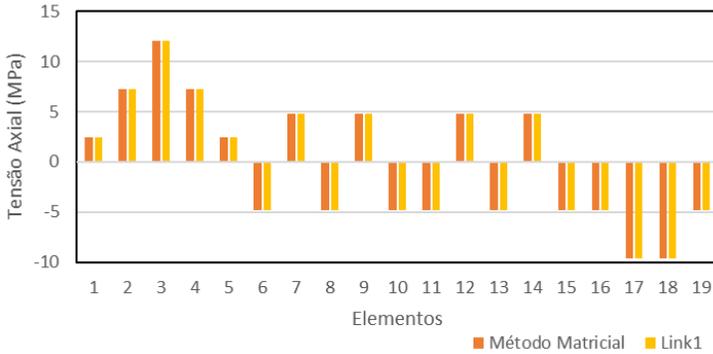
Esforços e tensões axiais

A figura 35 exibe a comparação gráfica das forças e tensões normais a partir das magnitudes apresentadas na tabela 6. Observando os gráficos percebe-se que os resultados obtidos para estas grandezas, tanto pelo método matricial quanto pela modelagem com elementos LINK1 estão convergentes, o que é confirmado pelos baixos erros percentuais mostrados na tabela 6.

Figura 35 - Comparação gráfica dos esforços e tensões obtidos pelos métodos analítico e numérico LINK1. (a) Esforços e (b) Tensões axiais



Comparação das Tensões Axiais



(b)

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Tabela 6 - Erro percentual dos esforços e tensões axiais

Elemento	Força Axial (N)			Tensão axial (MPa)		
	Método Matricial	LINK1	Erro (%)	Método Matricial	LINK1	Erro (%)
1	2886,72	2890,2	0,1206	2,4056	2,4085	0,1206
2	8660,28	8670,5	0,1180	7,2169	7,2254	0,1178
3	14433,72	14451,0	0,1197	12,0281	12,042	0,1156
4	8660,28	8670,5	0,1180	7,2169	7,2254	0,1178
5	2886,72	2890,2	0,1206	2,4056	2,4085	0,1206
6	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
7	5773,56	5775,2	0,0284	4,8113	4,8127	0,0291
8	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
9	5773,56	5775,2	0,0284	4,8113	4,8127	0,0291
10	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
11	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
12	5773,56	5775,2	0,0284	4,8113	4,8127	0,0291
13	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
14	5773,56	5775,2	0,0284	4,8113	4,8127	0,0291
15	-5773,56	-5775,2	0,0284	-4,8113	-4,8127	0,0291
16	-5773,56	-5780,3	0,1167	-4,8113	-4,8127	0,0291
17	-11547,00	-11561,0	0,1212	-9,6225	-9,6339	0,1185
18	-11547,00	-11561,0	0,1212	-9,6225	-9,6339	0,1185
19	-5773,56	-5780,3	0,1167	-4,8113	-4,8170	0,1185

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

MODELAGENS NUMÉRICAS LINK1, BEAM3 E BEAM4

Além da análise comparativa entre o método analítico e o modelo numérico LINK1 que apresentaram resultados convergentes, foi realizado

também uma análise comparativa entre as modelagens LINK1, BEAM3 e BEAM4 com a finalidade de observar se a diferença dos graus de liberdade entre esses elementos traria diferenças significativas nos resultados quando aplicados a uma treliça. Já foi percebido que os valores das grandezas determinadas com os elementos BEAM3 e BEAM4 foram exatamente os mesmos e a única diferença na utilização destes elementos na modelagem, foi a ordem da matriz de rigidez e consequentemente no número do sistema de equações que o algoritmo interno do software precisou resolver.

Deslocamentos nodais

A tabela 7, compara as magnitudes dos deslocamentos nodais nos eixos X e Y globais respectivamente, por meio de seus erros percentuais tomando como base o elemento LINK1.

Tabela 7 – Erro percentual do deslocamento em X e Y global

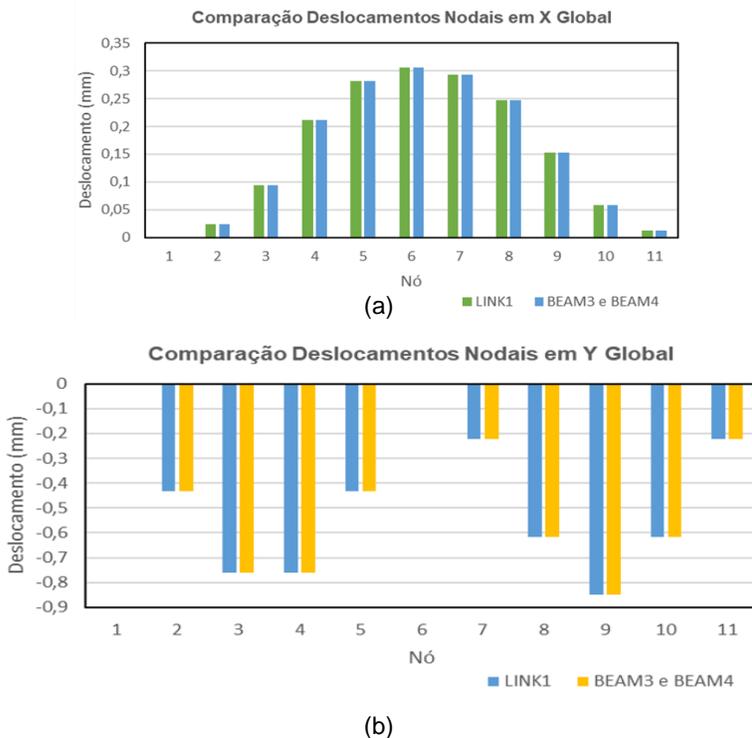
Nó	Deslocamento nodal no eixo X (mm)			Deslocamento nodal no eixo Y (mm)		
	LINK1	BEAM3 e BEAM4	Erro (%)	LINK1	BEAM3 e BEAM4	Erro (%)
1	0	0	--	0	0	--
2	0,023497	0,023499	0,0085	-0,43434	-0,43423	0,0253
3	0,093989	0,093981	0,0085	-0,76003	-0,75979	0,0316
4	0,21148	0,21143	0,0236	-0,76003	-0,75979	0,0316
5	0,28197	0,28191	0,0213	-0,43434	-0,43423	0,0253
6	0,30547	0,30541	0,0196	0	0	--
7	0,29372	0,29366	0,0204	-0,22396	-0,22392	0,0179
8	0,24672	0,24667	0,0203	-0,61756	-0,61739	0,0275
9	0,15273	0,15271	0,0131	-0,84817	-0,84788	0,0342
10	0,058743	0,058738	0,0085	-0,61756	-0,61739	0,0275
11	0,011749	0,01175	0,0085	-0,22396	-0,22392	0,0179

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

A figura 36 mostra a comparação gráfica dos deslocamentos nodais para os eixos globais X e Y a partir das magnitudes apresentadas na tabela 7. Observando os gráficos, percebe-se que os valores para esta grandeza obtidos a partir das modelagens numéricas, não apresentaram diferenças

significativas como confirmado pelos baixíssimos erros percentuais mostrados na tabela 7.

Figura 5 – Comparação gráfica dos deslocamentos nodais obtidos pelos métodos numéricos. (a) Eixo X global e (b) Eixo Y global

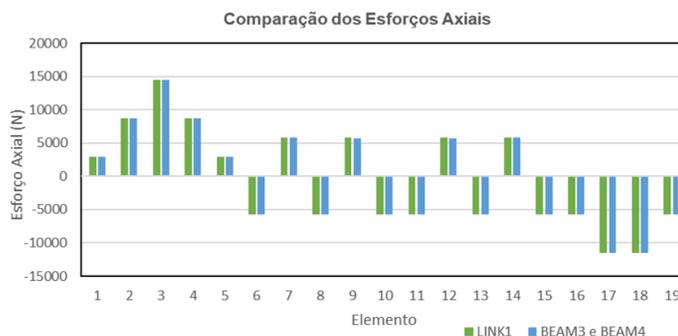


Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

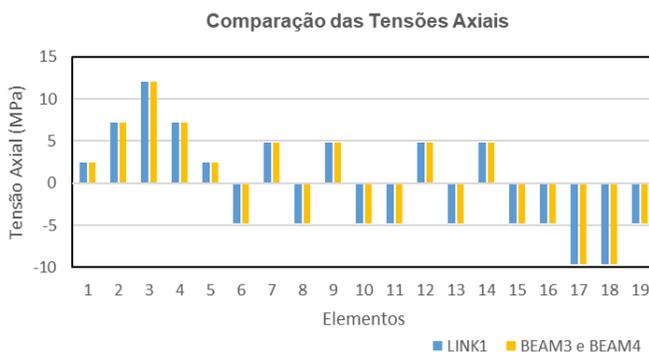
Esforços e tensões axiais

A figura 37 exibe a comparação gráfica dos esforços e tensões axiais a partir das magnitudes apresentadas na tabela 8. Observando os gráficos percebe-se que os resultados obtidos para estas grandezas a partir das modelagens numéricas, apresentaram resultados próximos, o que é confirmado pelos pequenos erros percentuais mostrados na tabela 8.

Figura 37 - Comparação gráfica dos esforços e tensões obtidos pelos modelos numéricos. (a) Esforços e (b) Tensões axiais



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

Tabela 8 - Erro percentual dos esforços e tensões axiais

Elemento	Força Axial (N)			Tensão axial (MPa)		
	LINK1	BEAM3 e BEAM4	Erro (%)	LINK1	BEAM3 e BEAM4	Erro (%)
1	2890,2	2890,4	0,0069	2,4085	2,4086	0,0042
2	8670,5	8669,3	0,0138	7,2254	7,2244	0,0138
3	14451,0	14446	0,0346	12,042	12,039	0,0249
4	8670,5	8669,3	0,0138	7,2254	7,2244	0,0138
5	2890,2	2890,4	0,0069	2,4085	2,4086	0,0042
6	-5775,2	-5773,9	0,0225	-4,8127	-4,8116	0,0229
7	5775,2	5771,6	0,0623	4,8127	4,8097	0,0623
8	-5775,2	-5771,5	0,0641	-4,8127	-4,8096	0,0644
9	5775,2	5770,3	0,0848	4,8127	4,8086	0,0852
10	-5775,2	-5771,8	0,0589	-4,8127	-4,8099	0,0582

11	-5775,2	-5771,8	0,0589	-4,8127	-4,8099	0,0582
12	5775,2	5770,3	0,0848	4,8127	4,8086	0,0852
13	-5775,2	-5771,5	0,0641	-4,8127	-4,8096	0,0644
14	5775,2	5771,6	0,0623	4,8127	4,8097	0,0623
15	-5775,2	-5773,9	0,0225	-4,8127	-4,8116	0,0229
16	-5780,3	-5779,5	0,0138	-4,8127	-4,8163	0,0748
17	-11561,0	-11558	0,0259	-9,6339	-9,6317	0,0228
18	-11561,0	-11558	0,0259	-9,6339	-9,6317	0,0228
19	-5780,3	-5779,5	0,0138	-4,8170	-4,8163	0,0145

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de uma estrutura simples como a treliça tanto pelo método analítico quanto pelo método numérico, permitiu demonstrar os pontos de atenção ao se implementar o método dos elementos finitos na obtenção da resposta estrutural de acordo com as condições de contorno impostas na estrutura.

O método matricial apresentou as etapas de cálculo para encontrar a matriz de rigidez de uma treliça com 19 graus de liberdade, demonstrando a robustez matemática que embasa o MEF, possibilitando destacar a importância da numeração dos elementos, dos nós e sobretudo dos graus de liberdade, uma vez que influenciam na posição dos coeficientes que compõem a matriz de rigidez. Com isso, foi demonstrado que a ordem da matriz de rigidez estrutural está diretamente conectada com os graus de liberdade dos elementos que discretizam o domínio, ou seja, quanto maior o grau de liberdade dos elementos, maior será a ordem desta matriz e conseqüentemente o esforço analítico e computacional para solução estrutural. Conhecendo a matriz e as equações que relacionam esforços e deslocamentos, tensões e deformações obteve-se os resultados destes parâmetros para a análise linear estática proposta neste trabalho de pesquisa.

Já as modelagens numéricas no software ANSYS com os elementos LINK1, BEAM3 e BEAM4, com graus de liberdade nodais 2, 3 e 6 respectivamente, permitiram a comparação da resposta estrutural que apresentaram resultados sem diferenças significativas entre os elementos. A diferença significativa entre as modelagens consiste no esforço computacional empregado para a realização dos cálculos, como foi visto ao gerar a matriz de rigidez quadrada de ordens 19, 30 e 61 para os respectivos tipos de elementos citados.

Um outro fator relevante na escolha adequada dos elementos para discretização são as propriedades do material, uma vez que a solicitação característica do elemento escolhido para a modelagem, pode gerar respostas incompletas nos resultados, dependendo do tipo de estrutura analisada.

Assim, se o projetista conhece as propriedades do material e o comportamento previsto da estrutura modelada, como no caso de uma treliça na qual atuam apenas esforços solicitantes e deformações axiais, bem como a teoria envolvida no MEF tal que elementos com maiores graus de liberdade, implicam em um maior esforço computacional desnecessariamente para este caso, o mesmo afirmará que o LINK1 é o elemento adequado para modelar a treliça de forma satisfatória com um menor consumo de tempo de processamento computacional.

Esse raciocínio pode ser expandido e corroborado para a modelagem de estruturas mais complexas em termos não apenas dos graus de liberdade mas também do número de elementos ou ainda na escolha de elementos com maior número de nós a ser utilizado na discretização, sabendo que esses fatores influenciam no grau de refinamento para a geração da malha, introduzindo um maior número de incógnitas e conseqüentemente um aumento no tempo de resposta computacional, que dependendo da análise poderá ser a diferença entre horas ou dias no processamento das soluções.

Portanto, fica evidenciado neste trabalho, a importância do entendimento teórico no que tange a mecânica das estruturas alinhado ao método numérico para garantir uma modelagem estrutural adequada utilizando o MEF, com a finalidade de convergir a máxima eficiência computacional e com resultados satisfatórios, baseado na escolha apropriada de elementos na discretização da estrutura analisada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS® Structural Analysis, Release 12.1, Help System. **Mechanical APDL Structural Analysis Guide**. ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, 2009.

ASSAN, A. E. **Método dos Elementos Finitos – Primeiros Passos**. 3ª ed. Campinas: UNICAMP, 2020.

BITTENCOURT, M. L. **Análise Computacional de Estruturas**. 1ª ed. Campinas: UNICAMP, 2014.

Natália Pinheiro da Conceição

UNESA

Thiago Variz de Miranda

UNESA

RESUMO

A tecnologia tem avançado a cada dia e o BIM surge nesse meio tecnológico como uma solução para a construção civil. Esta pesquisa tem como objetivo abordar a tecnologia BIM na construção civil, destacando seus principais processos, implementação e impactos. Seu método de pesquisa será qualitativo por meio de levantamentos bibliográficos através de artigos e pesquisas científicas de escritores e autores que se dedicaram a pesquisas sobre os modelos de implementação do BIM e gestão dos seus processos na construção civil em todo o mundo. Os resultados da pesquisa afirmam os impactos positivos do BIM na construção civil, trazendo para as empresas, redução de custos e otimizando processos, para a sociedade com a redução de resíduos e aumento da sustentabilidade, e para a economia do país acelerando os processos construtivos, aumentando o Produto Interno Bruto (PIB). Por isso, apesar das dificuldades para a implementação do BIM, as empresas precisam extrair valor da tecnologia e pensar nela como um investimento, só assim a ferramenta funcionará em benefício da construção civil.

Palavras-chave: BIM; BIM nas empresas; plano de implementação BIM; construção civil; projetos em BIM.

INTRODUÇÃO

A metodologia BIM em sua completude auxilia na concepção de projetos e na realização dos processos de uma construção, trazendo otimização do tempo, produtividade e conseqüentemente aumento de lucros. Atualmente, o BIM vem sendo implementado fortemente nas empresas em todo o mundo, porém no Brasil sua implementação ainda tem enfrentado barreiras.

Com o propósito de demonstrar o cenário atual do BIM nas empresas de construção civil brasileiras, abordaremos as dificuldades encontradas na sua implementação, que por sua vez, para serem superadas, as empresas precisam quebrar paradigmas culturais e organizacionais, investindo em tecnologias e treinamento que viabilizem a metodologia BIM.

“Atualmente, somente 9,2% das empresas do setor da construção utilizam a modelagem em suas rotinas de trabalho. O dado é de um estudo do Instituto Brasileiro de Economia (Ibre) da Fundação Getúlio Vargas (FGV).” (SIENGE, 2021) O que é muito pouco, diante do crescimento acelerado da tecnologia e digitalização dos processos de trabalho.

Logo, podemos afirmar que aproximadamente 90% das empresas não conhecem ou não conseguem utilizar a metodologia BIM em suas empresas.

A metodologia BIM visa o aumento na produtividade, inovação e colaboração entre as equipes, acelerando os processos, diminuindo desperdícios e retrabalhos.

Como prova da relevância do BIM no Brasil, em 17 de maio de 2018, o Presidente da República decretou uma lei com o objetivo de aumentar a disseminação do BIM e seus benefícios nas construções.

Pelo decreto, estima-se que até 2028 todos os projetos de arquitetura e engenharia do governo utilizem o BIM em todo o ciclo de vida de uma obra ou reforma.

Apesar de não haver obrigatoriedade para as empresas privadas, as que investirem na implementação da metodologia BIM nos seus processos hoje, com certeza estarão à frente no mercado sendo esse um diferencial competitivo.

No cenário atual nota-se que os métodos tradicionais da construção civil brasileiras dividem os processos de projeto em formatos segmentados, dividindo os profissionais em setores distintos, diminuindo assim a colaboração e coordenação entre equipes. (Nawi et al., 2014)

Nesse contexto, o BIM surgiu como uma filosofia de trabalho colaborativo, promovendo a integração das equipes dos setores de arquitetura, engenharia e construção (AEC) ao longo de todo projeto. Com ele é possível otimizar o planejamento e a execução dos projetos, agregando qualidade e produtividade.

Pesquisas revelam que “Obras que utilizam o conceito BIM possuem uma redução de: 22% no custo de construção, 33% no tempo de projeto e execução, 33% nos erros em documentos, 38% de reclamações após a entrega da obra ao cliente e 44% nas atividades de retrabalho” (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2012)

Apesar dos números serem expressivos aos benefícios do BIM, será que todas as empresas de construção civil já ouviram falar dessa metodologia? Será que todas as empresas possuem estrutura para sua implementação?

Atualmente, somente 9,2% das empresas do setor da construção utilizam a plataforma BIM em suas rotinas de trabalho. Isso significa que mais de 90% ainda trabalha no formato tradicional da construção civil. Ou seja, em longos fluxos de trabalho, com alto nível burocrático, sem cronograma de atividades integrado, orçamentos imprecisos, atrasos nas entregas e construções que geram muitos resíduos sem planejamento de métodos sustentáveis.

Este estudo destina-se a apresentar os principais processos da tecnologia BIM e seus benefícios para as empresas que a implementam.

A implementação do BIM tem sido complexa para as empresas, pois sempre se encontra no mercado um novo formato de implementação. Por esse motivo é necessário que a empresa conheça em qual estágio se encontra, entenda os principais conceitos do BIM e seus níveis de maturidade.

Conseqüentemente as empresas encontram dificuldade para implementar o BIM por falta de profissionais especializados. Uma vez que esses profissionais são contratados, encontram barreiras culturais nos colaboradores que estão habituados ao modelo tradicional de trabalho. Assim como o uso de tecnologia ultrapassada, precisando de upgrade e adaptação ao novo modelo.

O objetivo geral deste trabalho é abordar a tecnologia BIM na construção civil. Enquanto os objetivos específicos exploram seu processo de trabalho e conceitos, além de demonstrar as questões que impedem que esses processos sejam praticados. Conseqüentemente, expõe o motivo de muitas empresas sentirem dificuldades na implementação do BIM, e por fim, mostra os benefícios que o BIM proporciona para as empresas de construção.

REFERENCIAL TEÓRICO

Eastman, na década de 70, em conjunto com grandes pesquisadores, viu a necessidade de criação de linhas desenhadas em softwares em desenhos por computador (CAD). Em 1974, no instituto de Tecnologia da Geórgia, nos Estados Unidos criou-se então o conceito *Building Description System* (BDS) ou em português Sistema da Descrição da Construção, para o propósito de desenhar uma obra baseada em computador que melhoraria e replicaria todos os pontos e linhas do desenho, com isso trazendo a elaboração de um projeto detalhado na sua construção e operação e assim, eliminando a maioria das fraquezas em desenhos. Aliado à evolução tecnológica da época, esse modelo permitiu o desenvolvimento de projetos que outrora eram elaborados antes em papel e agora passaram a ser elaborados utilizando os sistemas operacionais chamados (CAD) *Computer Aided Design* ou em português Desenho Assistido por Computador.

Em 1986, através de um artigo científico publicado por Aish, na época trabalhava na desenvolvedora de softwares Computers Ltd (GWM), surgiu o termo *Building Modeling* no sentido em que utilizamos hoje em 2021. O artigo se chamou *Three-dimensional Input and Visualization*. Neste Aish falou das características e argumentos que compõem o modelo BIM, como modelo tridimensional, possuindo componentes inteligentes, paramétricos, entre outras definições.

Em um artigo publicado pelos professores Nederveen e Tolman denominado *Automation in Construction*, foi aonde Aish utilizou pela primeira vez o termo “modelagem da construção” ou *Building Information Model* (BIM).

Assim, em 1992, o primeiro uso do termo BIM foi utilizado como conhecemos hoje, completando assim em dezembro de 2021, 29 anos de existência da sua primeira documentação. Porém, o seu conceito superou a marca de 40 anos de idealizações e continua a crescer de acordo com o avanço da tecnologia.

A adaptação às mudanças tecnológicas

Nos dias atuais é fácil enxergar o desenvolvimento humano em paralelo a evolução da tecnologia. “A tecnologia está evoluindo mais rápido do que a capacidade humana” (FRIEDMAN, 2018). O colunista do The New York Times ainda disse no evento realizado que para lidar com o avanço da tecnologia no mercado de trabalho, é preciso encontrar uma maneira de transformar a inteligência artificial em assistentes artificiais, que possam auxiliar os trabalhadores. Amcham (2018)

Todavia Thomas ainda discursou sobre o impacto na tecnologia sobre a Lei de Moore. Segundo Friedman (2018), “Há três acelerações que explicam o mundo hoje: das mudanças climáticas, o mercado e a lei de Moore”. O presidente da Intel Moore (1965), afirmou que “A quantidade de transistores que poderiam ser colocados em uma mesma área dobraria a cada 18 meses mantendo-se o mesmo custo de fabricação.”, ou seja, a funcionalidade dos computadores dobraria a cada dois anos. Na época Moore não foi levado tão a sério, porém sua afirmação fez com que a tecnologia da computação deixasse de ser inacessível, ganhando potencial a custo fixo. Hoje, toda tecnologia que apreciamos nasceu do fundamento dessa criação, definida como a Lei de Moore.

Brevemente é evidente que transformações tecnológicas estão acontecendo exponencialmente e na construção civil não é diferente. A cada ano estão surgindo novas tecnologias voltadas para a construção e os profissionais devem estar atentos a essas mudanças, pois não basta somente buscar conhecimento profissional com os mais experientes do mercado, mas é preciso se aprimorar e se especializar nessas novas tecnologias.

Prova disso são os profissionais que vivem à espera das circunstâncias e colaboram com um comportamento onde mudam apenas em situações extremas. Só assim se mobilizam e fazem o que é necessário para sobreviver ou se adaptar ao mercado trazendo desconforto e instabilidade profissional. Porém, se até a Engenharia Civil pode ser moldada, por que não podemos ser moldados junto com ela?

Por outro lado, instituições de prestígio e pessoas de sucesso possuem pensamentos parecidos sobre o desenvolvimento. Juntos com a tecnologia buscam incansáveis soluções, processos melhores para aprimorar os seus serviços, além de serem adaptáveis e estarem em uma incansável busca por conhecimento. Vivem sempre fora da sua zona de conforto e se destacam por esse motivo. Quantas empresas não fazem mais sucesso simplesmente por terem visão diferenciada?

Como afirmou Friedman, a tecnologia sempre estará à frente humana. Logo, cabe a cada um tentar acompanhá-la. Não somente se adaptando a mudança, como fazendo também parte dela.

Inovação nas Empresas

A implementação do BIM, entretanto, vai além da tecnologia e de treinamentos das equipes. A mudança de pensamento e quebra de paradigmas na cultura é o mais relevante para que o BIM realmente funcione.

Assim deixa de lado antigos comportamentos e hábitos já vivenciados inúmeras vezes no ambiente de trabalho como: “Na obra a gente resolve”, “Adapta o projeto na execução” para a antecipação de problemas construtivos e soluções de interferências já no planejamento de projeto.

Falar de cultura de adaptação significa ajudar as pessoas a conduzir trabalhos que antes não estavam habituadas de forma gradual e constante. Esta é uma das necessidades que devemos ter um alerta para o modelo de implementação.

Na implementação do BIM, as informações colaborativas em tempo real também são um obstáculo para os profissionais. Visto que a competitividade é um dos motivos que impedem as trocas de informações relevantes em projetos de grande valor no mercado. Uma vez que exige uma quebra de sigilo entre os profissionais, criando um problema interpessoal no ambiente de trabalho.

O ambiente de trabalho também interfere nas relações entre os colaboradores, fazendo-se necessária uma boa gestão durante todo o processo de implementação. Segundo o Guia BIM da ABDI (2017), alguns colaboradores podem não se adaptar aos novos modelos de trabalho, precisando assim rever meios de ajudar na sua adaptação. Alocar pessoas competentes em softwares com pessoas eficientes em modelos construtivos, possibilitando assim uma abordagem multidisciplinar entre eles, podendo acelerar facilmente na adaptação dos mesmos.

Ainda de acordo com o Guia BIM da ABDI (2017), os pontos-chaves para o desenvolvimento das equipes são: Pleno conhecimento do processo de inovação; Definição clara das responsabilidades de cada um; Definição individual das necessidades de treinamento ou requalificação; Conscientização das novas demandas às quais os participantes terão que responder; Abertura para novas especialidades e qualificações em função das novas oportunidades que surgirão, muitas delas ligadas a análise de sistemas e dados, outras a captação e tratamento de imagens. O acompanhamento das equipes deve ser a parte do gerenciamento mais importante dessa implementação.

Em resumo, a mudança de paradigmas culturais é o que torna a implementação BIM viável. E quanto maior a equipe, maior a demanda de trabalhos, isso requer profissionais bons em gestão e capacitados para a implementação do conceito BIM.

O BIM na abordagem acadêmica

Para que a implementação do BIM logre êxito, os profissionais das empresas precisam estar capacitados com conhecimento em modelos tridimensionais e forma de trabalho colaborativa. Logo, as empresas têm investido nos treinamentos de suas equipes, visando o aprimoramento dos profissionais e setores operacionais.

As estratégias de negócios são um dos grandes motivos por trás do conhecimento e utilização da tecnologia BIM. As empresas buscam otimizar seus processos visando não somente a gestão e retorno financeiro, mas também um futuro a longo prazo. A tecnologia BIM está alinhada com esses objetivos.

Porém, para que os futuros profissionais saiam para o mercado mais preparados e familiarizados com a tecnologia é importante que as universidades venham aderir ao ensino da metodologia BIM como um tema na formação acadêmica em engenharia civil.

De acordo com Pedro Pereira e Rochele Ribeiro (2014, p. 4) “apenas 9% das escolas de construção norte-americanas abordam o ensino de BIM nos cursos de graduação, tendo como principais entraves: a falta de tempo ou recursos para remodelação dos currículos, bem como a falta de estrutura das universidades e professores preparados, com materiais específicos relacionados ao ensino da tecnologia.” (apud SABONGI, 2009, p. 4).

Pereira e Ribeiro (2014, p. 5) também afirmam, em sua pesquisa, que “em todos os pontos analisados, foram indicadas melhorias no desenvolvimento dos projetos com a utilização da ferramenta.”

Tendo em vista que a adaptação tecnológica é um dos maiores diferenciais de carreira do mercado mundial, a inserção do BIM como assunto nas universidades se faz relevante.

A Tecnologia BIM

O BIM, ou em português a modelagem da informação, consiste na elaboração de modelos tridimensionais. Possibilitando um modelo mais elaborado, detalhado e eficaz. Modelo tal que é capaz através dos dados e informações, otimizar os processos de projetos em um formato integrado e compartilhado. O domínio dessa tecnologia traz oportunidades para as empresas e profissionais no ramo da construção civil.

Porém, o BIM não possui uma definição precisa, segundo o que cada autor descreve como BIM. Segundo Crotty (2012), “a modelagem BIM permite ao projetista construir o empreendimento em um mundo virtual antes deste ser construído no mundo real. Ele o cria utilizando componentes virtuais inteligentes, cada um deles sendo perfeitamente análogo a um componente real no mundo físico.”, e “a abordagem BIM compreende a comunicação, a troca de dados, padrões e protocolos necessários para todos os sistemas e equipes conversarem entre si.”

No Caderno BIM da Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina (2014) descreve o BIM “como um processo que permite a gestão da

informação, por todo o ciclo de vida da edificação”, através de modelos “digitais, tridimensionais e semanticamente ricos, que formam a espinha dorsal do processo.”

Em resumo definimos o BIM como uma metodologia interdisciplinar, cooperativa dos dados e informações de um projeto, abrangendo todas as fases de vida de uma edificação.

Figura 1 - Fases de vida de uma construção



1

Fonte: Integrate Engenharia

O que é e o que não é BIM

Existe uma busca pelo entendimento do que é BIM em uma só frase, mas ainda não se chegou ao consenso da existência dessa frase. Podemos descrever apenas o que é e o que não é para facilitar o entendimento da tecnologia.

Ao contrário do que muitos pensam, o BIM nunca será somente um processo automatizado e isolado. Um modelo 3D. Apenas um software. Uma forma fácil, rápida de fazer projetos. Um arquivo ou uma solução de todos os problemas.

O BIM é uma combinação de softwares, processos e políticas sincronizadas e organizadas em torno de uma estratégia com um objetivo final. Uma forma de se trabalhar propondo um *mindset* diferenciado do habitual. Com o desenvolvimento e uso de modelos computadorizados com múltiplas dimensões, capazes de simular a operação de uma construção do início ao fim. O BIM prevê a incompatibilidade entre projetos, minimizando os retrabalhos durante as construções. O BIM é um processo colaborativo que pode chegar a ser um processo integrado. Por sua vez, uma maneira de otimizar a comunicação, colaboração entre diversos elos da construção civil, sejam eles disciplinares, espaciais ou sociais.

¹ Disponível em: < <https://www.integrateengenharia.com.br/metodologia-bim> > Acesso em 20 nov. 2021

O BIM no Brasil

Em 17 de maio de 2018 no Brasil, tivemos o 1º Seminário BIM do CREA-SP ministrado pelo Coronel Washington Luke sobre Estratégias do Governo Federal para disseminação do BIM no Brasil. Neste seminário foi abordado a Estratégia BIM, instituída pelo Decreto nº 9.377 que visa promover um investimento e um ambiente adequado para a difusão do BIM no País.

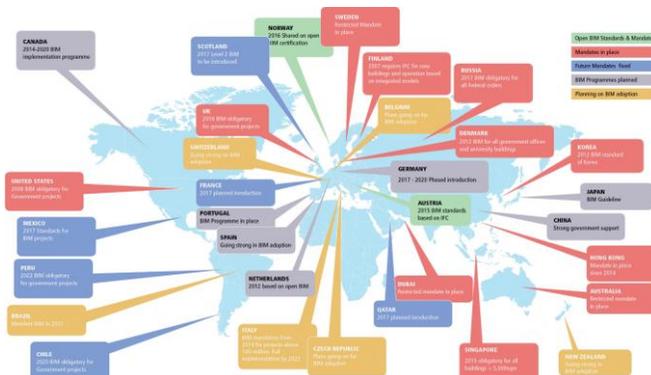
Definindo que “Para os fins do disposto no Decreto 9377, entende-se o BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, como o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção.” (CREA-SP, 2018)

O objetivo do seminário foi estabelecer e unir o conceito BIM para os profissionais do ramo das construções civis no País. Os resultados que estão sendo previstos são de ganhos de qualidade nas obras públicas, de produtividade, aumento de assertividade no planejamento e execução de obras, buscando proporcionar confiança nos cronogramas e orçamentos, contribuir com a sustentabilidade do País, reduzir os prazos de obras, elevar os níveis de qualificação profissional, transparência e melhoria nos processos licitatórios e por fim minimizar as necessidades de aditivos em todo o ciclo do empreendimento.

A Estratégia BIM BR é uma ferramenta que impõe melhorias ao setor tendo como foco principal o desenvolvimento do País.

Países como Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, Finlândia, Dinamarca e Holanda já exigiram o uso da tecnologia BIM em projetos financiados pelo governo. As medidas sobre tecnologias da informação e comunicação (TIC) de processos são necessárias para a inovação na União Europeia por otimizar suas construções, reduzir perdas e minimizar o consumo de energia.

Figura 2 - Evolução da regulamentação BIM global



Fonte: Geospatial World

Com isso, o BIM se tornou um facilitador no processo e na sustentabilidade de um País. (KASSEM; AMORIM, 2015). A seguir está um mapa do BIM e o atual cenário em cada país que adere à metodologia BIM.

O uso do BIM no Brasil é obrigatório a partir deste ano de 2021 nos projetos e construções públicas brasileiras. Segundo o decreto presidencial assinado para democratizar a plataforma, o BIM irá abranger todo o ciclo de obras de uma construção mesmo a nível federal até o ano de 2028.

Figura 3 - Fases de implementação BIM BR



Fonte: IBRAOP

Segundo o IBMEC (2020), “Os trabalhos de comitês espalhados pelo Brasil se concentram em implantar a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, proposta pelo Governo Federal. A partir de janeiro de 2021: a exigência de BIM se dará na elaboração de modelos para a Arquitetura e Engenharia nas disciplinas de estrutura, hidráulica, AVAC e elétrica na detecção de interferências, na extração de quantitativos e na geração de documentação gráfica a partir desses modelos; A partir de janeiro de 2024: os modelos deverão contemplar algumas etapas que envolvem a obra, como o planejamento da execução da obra, na orçamentação e na atualização dos modelos e de suas informações como construído (“as built”), além das exigências da primeira fase. A partir de janeiro de 2028: passará a abranger todo o ciclo de vida da obra ao considerar as atividades do pós-obra. Será

aplicado, no mínimo, nas construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância, nos usos previstos na primeira e na segunda fase. Além disso, nos serviços de gerenciamento e de manutenção do empreendimento após sua conclusão”.

Ainda podemos abordar um pouco sobre a NBR 15965 que apresenta a normatização e regulamentação de trabalhos realizados a partir da tecnologia BIM. A

NBR 15965 é composta por 15 tabelas que foram elaboradas a partir do sistema de mercado da construção dos EUA e Canadá. Essas tabelas foram adaptadas à realidade das construções brasileiras no que se refere às soluções construtivas e técnicas particulares do Brasil. Logo, esta NBR de forma simplificada possui as padronizações de seus processos para todo o país. Ela é composta por 7 partes: Terminologia e estruturas; Características dos objetos da construção; Processos da construção; Recursos da construção; Resultados da construção; Unidades e espaços da construção; Informação da construção;

O maior desafio da NBR 15965 está sendo a compreensão dos conceitos e usos dessas tabelas. Mas, o principal motivo da falta de esclarecimento está ligado diretamente à metodologia BIM. Uma tecnologia que está trazendo uma grande inovação ao setor, sendo uma tendência, os seus processos tecnológicos aqui no Brasil ainda estão em períodos de adaptação em relação a outros países da Europa, Ásia e América do Norte.

Sempre que surgem novas tecnologias que impactam a construção civil brasileira deve-se regulamentá-la para o seu uso efetivo. Se isso não for feito, cada instituição fará o uso da tecnologia de forma diferenciada, dificultando assim a padronização da ferramenta. A norma é importantíssima para integrar tecnologias no uso na construção civil brasileira.

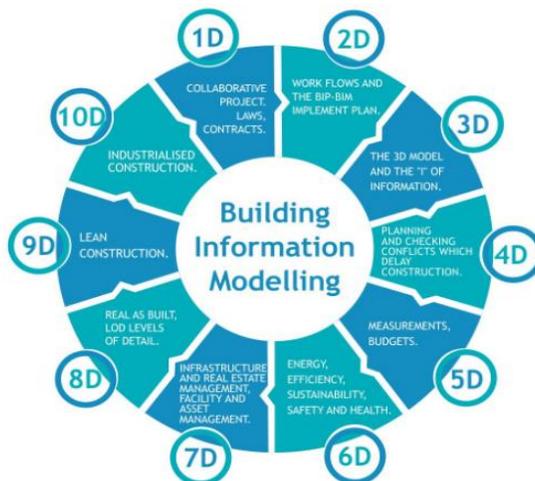
As dimensões do BIM

Muitos acham que a metodologia BIM está totalmente relacionada com modelos 3D, processos muito detalhados e projetos em softwares avançados, mas a metodologia BIM é a modelagem de informações e processos que são subdivididas em dimensões organizacionais. Todavia, nas primeiras dimensões e etapas de implantação, já podemos avistar benefícios em qualquer projeto e construção. Por sua vez, podem ampliar e modificar a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção nos próximos anos.

Para Eastman (2014), os modelos possuem diferentes níveis de informação, sendo cada nível uma evolução em relação ao nível anterior. Tais níveis de informação são chamados de dimensões.

De acordo com o *Common Data Environment* (2021), podemos classificar as dimensões do BIM como:

Figura 4 - Dimensões do BIM



2

Fonte: Centreline Studio

1D – Processo e documentação, leis, contratos, uso obrigatório do BIM no trabalho público, mudanças nos modelos de recrutamento e novas exigências.

2D – São as dimensões do plano, onde estão representadas graficamente as plantas do empreendimento.

3D – Adiciona a dimensão espacial ao plano, onde é possível visualizar os objetos dinamicamente. Em sua visualização podemos ver a perspectiva de um empreendimento, na pré-fabricação de peças, em simulações de iluminação. No caso do BIM, cada componente em 3D possui atributos e parametrização que os caracterizam como parte de uma construção virtual de fato, não apenas visualmente representativa, ou seja, permite que o usuário veja o empreendimento em 3D antes que qualquer trabalho comece no projeto.

4D – Adiciona a dimensão tempo ao modelo, definindo quando cada elemento será comprado, armazenado, preparado, instalado, utilizado. Permitindo verificar conflitos que possam atrasar a construção. Organiza também a disposição do canteiro de obras, a manutenção e movimentação das equipes, os equipamentos utilizados e outros aspectos que estão cronologicamente relacionados. À medida que o projeto é executado, os dados da agenda são adicionados, possibilitando acompanhamento gráfico em tempo real.

5D – Adicionar a dimensão custo ao modelo, determinando quanto cada parte da obra vai custar, a alocação de recursos a cada fase do projeto e seu impacto no orçamento, o controle de metas da obra de acordo com os

² Fonte: < <https://centrelinestudio.com/bim-standards>>. Acesso em 20 nov. 2021

custos. Também integra se necessário o modelo BIM com o software orçamento existente.

6D – Adiciona a dimensão energia sustentável ao modelo, quantificando e qualificando a energia utilizada na construção, a energia a ser consumida no seu ciclo de vida e seu custo, em paralelo a 5ª dimensão. A energia, neste caso, pode estar diretamente relacionada ao impacto físico do projeto no meio em que este está inserido. Realizando de forma automática uma análise do consumo de energia, eficiência, saúde, segurança e sustentabilidade. Este modelo inclui informações sobre quem é um fabricante de componentes, data de instalação, cronogramas de manutenção, vida útil de cada material, entre outros, possibilitando melhor análise de sustentabilidade do empreendimento.

7D – Adiciona a dimensão de operação ao modelo, onde o usuário final pode extrair informações de como o empreendimento como um todo funciona, suas particularidades, quais os procedimentos de manutenção em caso de falhas ou defeitos.

8D – São fluxos de trabalho reais e conforme construídos necessários, e especifica os requisitos de informação e detalhes do trabalho necessário a ser feito para alcançá-lo, e as ferramentas como *laser scans*, drones, IA, etc. Ajuda também na segurança e prevenção de acidentes.

Segundo Kamardeen (2010), “Segurança e Prevenção de Acidentes em BIM consistem em três tarefas: determinar os riscos no modelo, promover sugestões de segurança para perfis de risco alto e propor controle de riscos e de segurança do trabalho na obra para os perfis de riscos incontroláveis através do modelo.”

Ou seja, o 8D pode prever possíveis riscos no processo construtivo e operacional, adicionando componentes de segurança.

9D – Integra a construção enxuta, metodologia de trabalho a ser utilizado para a efetiva conclusão do processo BIM. Como exemplo o *Lean Construction*, como metodologia que auxilia a otimização de ambientes de trabalho.

10D – Refere-se ao benefício global da construção industrializada. Ele detalha os obstáculos à produtividade na indústria da construção e como melhorar a produtividade ao longo do processo – desde o projeto até a gestão da infraestrutura.

Níveis de maturidade BIM

Com o surgimento da tecnologia BIM e seu crescimento foi necessário atribuir níveis de maturidade BIM às equipes de profissionais. Essa é uma característica que foi atribuída pois está diretamente ligada a produtividade e aproveitamento dos recursos da metodologia BIM. Os níveis de maturidade no BIM estão ligados às dimensões que o projeto atinge.

Nível 0 – Baixa Colaboração: também chamado de pré-BIM é aquele em que a metodologia BIM não está na concepção e construção em nenhum aspecto. Onde os dados ainda são armazenados em documentos e pranchas

em detalhes 2D. Não existe um processo ou representação dos elementos em 3D. É o método de projeto primitivo, usando softwares CAD que não possuem interação com as disciplinas. Produz interferências e erros humanos no projeto.

Nível 1 – Colaboração Parcial: A transição entre o modelo 2D e o modelo 3D. Começa-se a modelar os objetos. Os documentos em sua maioria ainda são em 2D. O trabalho ainda não possui interações, automação, quantitativos ou visualizações 3D.

Nível 2 – Colaboração Completa: Modelo baseado em colaboração, onde várias pessoas estão conectadas trabalhando em conjunto em um só projeto. O processo nesse nível é composto por modelagem 3D e um compartilhamento e fluxo de dados. Possibilidade dos *clash detection* ou em português detecção das interferências e o uso do 4D e 5D.

Nível 3 – Integração Completa: Consiste na integração em rede. Este já é um alto nível de maturidade em BIM. Utiliza-se um servidor para que o trabalho possa ser visto em tempo real, trabalhando assim em um único modelo em nuvem. É possível realizar análises energéticas e a introdução do 6D e 7D. Onde o 6D é a dimensão que estudo a vida útil de uma edificação e o 7D está ligado à sustentabilidade de uma edificação.

Um exemplo claro de aplicativo *Autodesk* nesse modelo é o *Revitserver*. Usado para compartilhamento de trabalhos com base no servidor.

Estágios das empresas em BIM

Quando nos referimos a estágios do BIM estamos nos referindo diretamente a estágios de capacidade BIM, que são diferentes de níveis de maturidade do BIM. Mas, antes que possamos falar dos estágios do BIM é necessário entender o significado do termo capacidade BIM.

Capacidade BIM é a habilidade de usar BIM, a marcos de desempenho, que podemos então identificar em uma campanha de pré-BIM para concepção do BIM, através de ferramentas, fluxos de trabalho e protocolos BIM.

Para definirmos o estágio de BIM, podemos defini-los em dois modelos simples como BIM Solitário e BIM Social. Em primeiro lugar, Bim Solitário é uma empresa baseada em modelos apenas com o objetivo de aprimorar as suas habilidades internas, como por exemplo extrair desenhos dos modelos BIM para maior otimização. O BIM Social, por sua vez, baseia-se em mais de uma empresa ou disciplina trabalhando em cooperação para gerar mais entregáveis baseados em modelos BIM.

Entretanto não podemos medir a capacidade BIM de uma empresa apenas nos entregáveis, logo precisamos de algo mais quantificável. Antes precisamos entender como uma empresa chegaria a uma capacidade BIM avançada. Existem os estágios que foram identificados com o passar do avanço do BIM e podemos testemunhá-los em toda a nossa volta por empresas que trabalham baseados em modelos BIM ou empresas que já

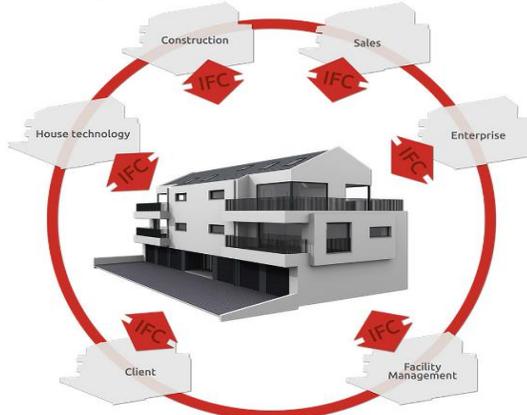
implementaram o BIM. Para progredir do pré BIM para os pós BIM existem estágios bem definidos dentro das empresas.

Pré BIM: Caracteriza a falta de estratégias globais e processos definidos, ou seja, não existe uma implementação sistemática desses processos. Geralmente esse nível é caracterizado pela manifestação de algum membro da equipe, mas não de iniciativa da empresa de modo geral na utilização do modelo BIM. A utilização se baseia em desenhos (CAD) e 2D. Não quer dizer que no estágio pós BIM esse modelo não existirá mais, mas não será apenas o formato único com o qual será operado.

Modelagem: Nesse caso, já se tem um modelo de implementação onde os processos já trazem benefícios e oportunidades reconhecidos pela tecnologia BIM. As ferramentas são utilizadas para gerar os próprios resultados sem a interação com outras instituições. Projetados em softwares BIM como ARCHICAD, REVIT ou Tekla. Começando uma jornada de modelagem baseada em objetos 3D. Aqui podemos identificar 5 tipos de entregas: objetos geométricos em 3D, quantidades, especificações, modelos analíticos e paramétricos. Não existe colaboração entre disciplinas.

Colaboração: A empresa através dos benefícios e vantagens do modelo de implementação do BIM já se mantém em constante comunicação. O BIM já foi aceito e é usado em outros setores da empresa. A comunicação baseada em modelos está realmente no estágio da implementação do BIM.

Figura 5 - Comunicação baseada em formatos não proprietários como IFC



Fonte: BuildingSMART

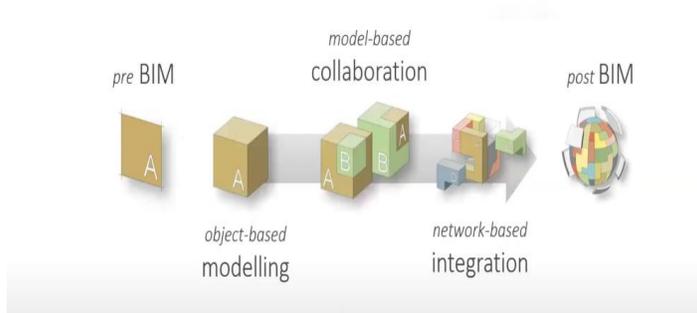
Passam a usar formatos de não proprietário como (IFC), trazendo trocas de modelos com interoperabilidade entre os seus formatos. Aqui, a colaboração passa a ser baseada no modelo entre empresa, onde o modelo se baseia em mais de uma disciplina aumentando assim os entregáveis adicionais.

Integração: passam a utilizar os modelos BIM como requisitos operacionais em conjunto de soluções com integração colaborativas baseadas em rede. Todos os processos organizacionais são armazenados,

acessados com facilidade. A otimização é consistente e se torna previsível. Quando a empresa chega ao estágio da integração é considerada uma empresa ou time com grande capacidade em BIM.

Pós BIM: Este estágio é chamado de pós BIM e BIM completo. As estratégias internas da implementação do BIM como também seus impactos começam a ser revisadas e ajustadas continuamente. Alterando caso necessário algum processo. São utilizados dados externos como o Sistema de Informação Geográfica (GIS) em modelos de cidades, tipos diferentes de bancos de dados, ou seja, possui uma extensão do BIM a nível de informação em tempo real nomeado de Operação Virtualmente Integrada (viDCO).

Figura 6 - Modelo pré BIM e modelo BIM totalmente integrado.



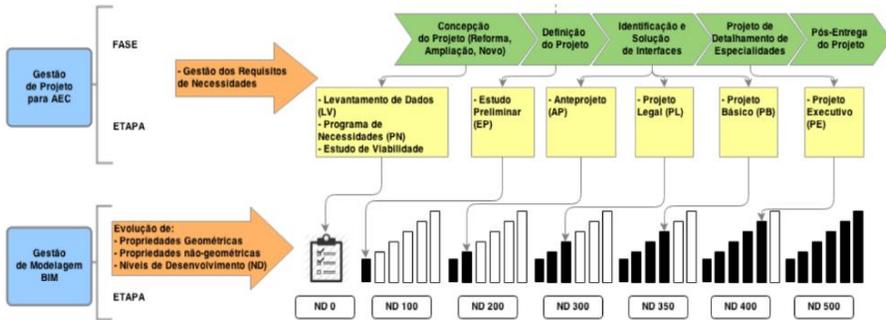
Fonte: bimframework.info, 2009

Atualmente, é difícil encontrar equipes que trabalham no nível 3 do estágio de gerenciamento BIM. Assim sendo, fazer com que as empresas consigam dar o próximo passo é atingir o estágio de gerenciamento BIM, atualmente um desafio para o mercado da construção civil.

Nível de desenvolvimento do BIM (LOD)

O nível de desenvolvimento BIM ou *Level of Development (LOD)* são representações das etapas de modelagem de projeto. Os seus níveis são determinados de acordo com a necessidade de detalhamento do projeto. Eles podem fazer parte de toda a vida útil da edificação. Quanto mais detalhado, maior será seu nível de desenvolvimento.

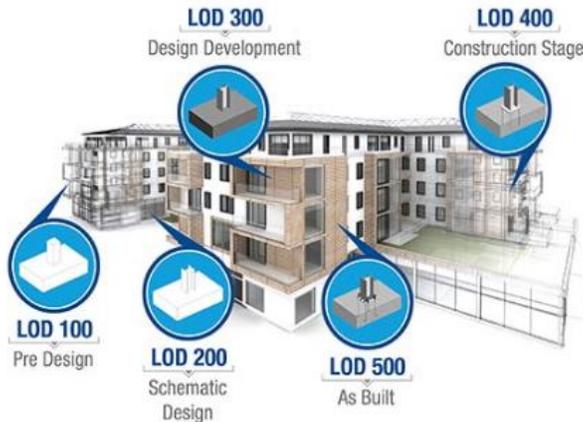
Figura 7 - Processos de utilização dos níveis de desenvolvimento BIM



Fonte: Caderno de apresentações de projetos BIM – Governo de Santa Catarina

De acordo com o Caderno de apresentação de projetos BIM do Governo do Estado de Santa Catarina (2021, p.22), “A progressão das etapas de projeto de edificações em relação ao *Nível de Desenvolvimento* (ND) se baseia em uma estrutura conceitual, fundamentada na quantidade e na forma da informação necessária à modelagem do projeto virtual, e está associada ao escopo do certame em função da gestão das fases de projeto de edificações e seus objetivos.”

Figura 8 - Níveis de desenvolvimento (LOD)



Fonte: truecadd.com

Os níveis de desenvolvimento também são importantes para visualizar as etapas micro e macro da evolução de uma edificação.

A cada melhora dos níveis de desenvolvimento de projetos podemos criar análises e confrontar modelos. Assim, servem como tomadas de decisão de projetos e seus diagnósticos.

Cada modelagem e características geométricas representam os níveis que variam de 100 até 500, onde são tipos de atributos que podem ser criados pelo projetista. Isso também caracteriza o tipo de finalidade de cada nível, classificados de acordo com propósito do projeto.

ND 0 – Concepção do modelo é o nível em que é possível estabelecer um programa de necessidades, realizar o estudo de viabilidade com apenas o esboço.

Seu escopo é composto por: levantamento de informações (urbanística, ambiental, fundiária e econômica), identificação das necessidades, vistoria no local proposto, reunião preliminar de levantamento de projeto e análise das interferências e esboço de projeto.

ND 100 – Estudo Preliminar (EP) são elementos do projeto. Modelos 3D que serão usados para estudos de massas. Suficientes para estudos preliminares para planejamento de projeto.

Seu escopo é composto por: Vistoria no local da obra, cronograma de projetos, reunião de apresentação do programa de necessidades e a proposta de solução das interferências do entorno da futura edificação, estudo preliminar, reunião para apresentação volumétrica do Estudo Preliminar e modelos BIM do Estudo Preliminar.

ND 200 – Anteprojeto (AP) é um nível de desenvolvimento em que vemos elementos conceituais, onde são convertidos em modelos geométricos com dimensões básicas. Permitindo desenvolver o projeto arquitetônico. Definindo assim um conjunto que possibilita a viabilidade técnica e econômica dos projetos legais.

Seu escopo é composto por: Anteprojeto Arquitetônico básico, aprovação do anteprojeto, anteprojeto Estrutural com base no Anteprojeto Arquitetônico, climatização com base nos Anteprojeto Arquitetônico e Estrutural, instalações hidráulicas, elétricas e sistemas com base nos Anteprojeto Arquitetônico e Estrutural e compatibilização de Anteprojeto: Arquitetônico, Estrutural, Climatização e Instalações.

ND 300 – Projeto Legal (PL) são modelos que se tornam uma representação de objeto ou conjunto em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação.

Seu escopo é composto por: Aprovação e acompanhamento de Projetos Legais, aprovação dos Projetos Legais, projeto Estrutural com base no projeto Arquitetônico, climatização com base nos projetos Arquitetônico e Estrutural, instalações hidráulicas, elétricas e sistemas com base nos projetos Arquitetônico e Estrutural, compatibilização de projetos legais: Arquitetônico x Estrutural x Climatização x Instalações e Licença Ambiental Prévia (LAP);

ND 350 – Projeto Básico (PB) são os modelos genéricos transformados em modelos finais, com a finalidade de identificar as interfaces entre as disciplinas. Nesta etapa conseguimos elaborar claramente os ambientes e os demais elementos de uma edificação. É realizada a análise

de interferências entre os sistemas da edificação. Possibilita a avaliação dos custos, métodos construtivos e prazos.

Seu escopo é composto por: Projetos Básicos Arquitetônicos, projetos Básicos complementares, compatibilização total entre todas as disciplinas e memoriais Descritivos e de Cálculo.

ND 400 – Projeto Executivo (PE) é a etapa que se conclui o projeto final e o detalhamento de todos os elementos da construção. Gerando um apanhado de informações suficientes para a perfeita execução das obras/serviços. Com a avaliação dos custos e prazos de execução. Como os detalhamentos necessários para a sua produção. Resultando em um conjunto de informações técnicas e objetivas do empreendimento. O modelo BIM nesta etapa possui informações suficientes para a execução na obra.

Seu escopo é composto por: Modelos BIM finais, desenhos, quadros, animação, renderização externa e interna, gerados a partir do modelo, orçamento e composição de custos. Deve estar baseado no planejamento de execução da obra e na modelagem do projeto. Cronograma físico-financeiro, planejamento preliminar da execução da Obra, caderno de encargos, descrição detalhada de todos os itens constantes no memorial descritivo e na planilha orçamentária, na modelagem e informações do projeto, bem como das técnicas aplicadas. E reunião de aprovação final do projeto.

ND 500 – Após a entrega da Obra finalmente temos a conclusão da gestão e fases da obra e dos projetos “As Built”.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada através de levantamentos bibliográficos através de artigos científicos de escritores e autores que se dedicaram a pesquisas sobre os modelos de implementação do BIM e gestão dos seus processos na construção civil em todo o mundo.

Nossa metodologia será a hipotético-dedutivo, ou seja, a partir do nosso problema, estabelecemos algumas hipóteses que podem solucioná-lo, e com base na pesquisa confirmamos ou negamos as hipóteses levantadas.

Segundo Lakatos e Marconi (2003, p.158), “A pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema.”

Propósito da pesquisa e dados a serem obtidos

O propósito desta pesquisa é conhecer os principais métodos da implementação BIM e suas particularidades. Buscando esclarecer os benefícios da metodologia, bem como conhecer seus desafios e indicar pontos que possam ajudar as empresas a promoverem sua implementação.

Citaremos também o atual cenário da tecnologia BIM no Brasil e no mundo. Como os softwares podem mudar ao longo dos anos e medir o grau de interesse nesse desenvolvimento. E por fim, como a especialização dos

profissionais ou a falta dela no mercado de trabalho podem influenciar a baixa adesão do BIM na construção civil.

Fontes e formas de obtenção dos dados

Baseamos essa pesquisa em artigos científicos buscados em bibliotecas eletrônicas científicas online com a Scielo Brasil, artigos de grandes empresas renomadas no assunto como a Sienge, *Building Smart*, Autodesk, *BIM Framework*, *Bim Community*, *Institute Of Technology Zigurat* de Barcelona, no período de novembro de 2021.

As palavras-chaves utilizadas nas pesquisas foram: BIM, Metodologia BIM, Implementação BIM, Modelos BIM, Processos do BIM, Cenário Atual do BIM, Histórico do BIM, Dificuldades da Implementação do BIM, BIM na Construção Civil, O BIM no Brasil, O BIM na Europa, Benefícios do BIM, Impacto do BIM no Brasil, Decretos do BIM no Governo Federal Brasileiro.

Quanto às fontes bibliográficas, foram consultadas as obras de Eastman - Manual do BIM, Campestrini - Entendendo o BIM, a Coletânea Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras do Conselho Internacional da Construção (CBIC) e o Guia do BIM da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Limitações da pesquisa

Por ser uma metodologia ainda pouco inserida aqui no Brasil, seu acervo bibliográfico nacional é pequeno, em comparação com a quantidade de artigos científicos e bibliografias internacionais. Além disso, seus métodos também se encontram em constante evolução e desenvolvimento, com isso, alguns temas não foram profundamente abordados como, por exemplo, os modelos de implementação do BIM. Outro ponto fraco que a pesquisa pode apresentar é a limitação dos dados de pesquisas sobre o uso do BIM nas empresas do Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante ao embasamento teórico abordado, podemos afirmar então, que o processo da metodologia BIM consiste em um fluxo de trabalho horizontal, onde os profissionais atuam de forma simultânea e colaborativa, mas para isso, será que toda empresa precisa fazer mudanças na sua gestão e cultura de trabalho para que o BIM seja implementado? Será que todas as empresas de construção civil já ouviram falar dessa metodologia?

Pesquisa de Maturidade BIM

A pesquisa de Mapeamento de Maturidade BIM Brasil coletou informações de perfil dos participantes, que foram profissionais e empresas do ramo da construção civil, desde os escritórios de projetos até as construtoras e incorporadoras.

Os participantes inicialmente responderam a seguinte pergunta: “Sua Empresa utiliza a Metodologia BIM?”. Com base nas respostas, foi feita uma segmentação desses dados. E para as empresas que declararam ainda não adotar a Metodologia BIM, foi realizado novas perguntas com o objetivo de identificar as principais barreiras para adoção do BIM e a perspectiva de prazo para adoção da metodologia.

Conforme SIENGE (2020, p.6):

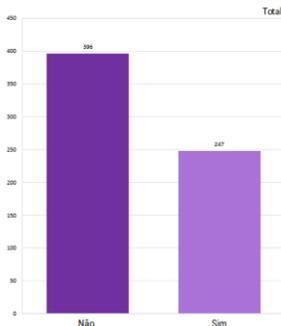
O Mapeamento de Maturidade BIM Brasil ocorreu de 29 de junho a 04 de setembro de 2020 e foi composto de duas etapas:

1ª Etapa: Captação de Respondentes e caracterização das empresas interessadas. Nesta etapa, foram coletadas informações de perfil, como Estado da Matriz, número de colaboradores, atividade principal, áreas e segmento de atuação. Mas, principalmente, os participantes puderam responder uma grande pergunta: “Sua Empresa utiliza a Metodologia BIM?”. Com base nesta resposta, houve uma segmentação da pesquisa.

Para as empresas que declararam já adotar a Metodologia BIM, foram coletados os dados dos profissionais fundamentais na Empresa para o sucesso da adoção do BIM: Direção, Direção de TI, Gerência, Analista e Responsável BIM. Para estes profissionais, foi concedido o acesso à BIM Assessment Platform. Mas fomos além. Para as empresas que declararam ainda não adotar a Metodologia BIM, buscamos identificar as principais barreiras para adoção do BIM e a perspectiva de prazo para adoção da metodologia.

Segundo a pesquisa, das 643 empresas e profissionais que participaram do Mapeamento BIM Brasil, 247 respondentes declararam que já utilizam a Metodologia BIM em seus projetos e trabalhos o que é representado no gráfico a seguir.

Gráfico 1 - Utilização do BIM por profissionais e empresas no Brasil

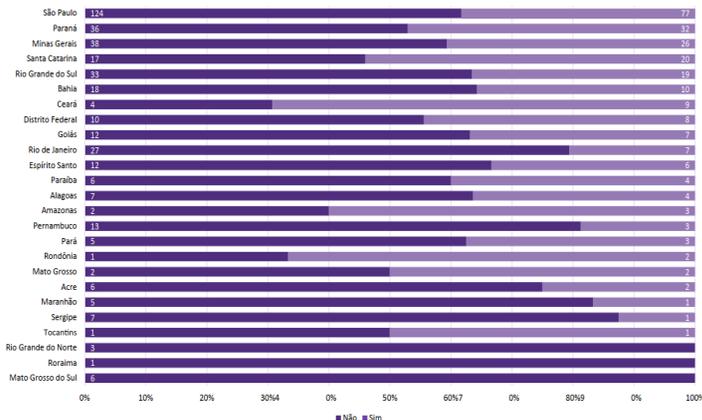


Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

Isso representa apenas 38,4 % da amostra total, com concentração maior nas regiões Sul e Sudeste. No gráfico a seguir demonstra a adoção da metodologia BIM por estado brasileiro onde vemos que na região sul do Brasil

ele está sendo mais aceito e aplicado. Em contrapartida os estados do Ceará, Rondônia a Amazônia a metodologia BIM está sendo pouco adotado.

Gráfico 2 - Adoção da metodologia BIM por Estado Brasileiro



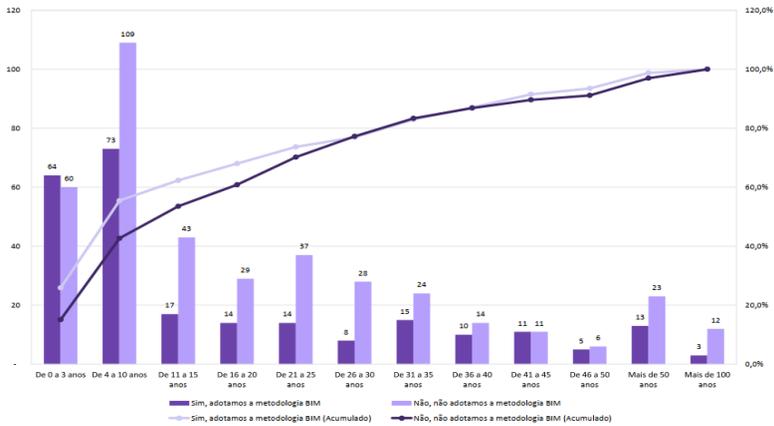
Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

Nota-se a seguir no estudo que as curvas dos que adotam e não adotam o BIM andam juntas. Com isso, não podemos afirmar que uma empresa mais jovem tem mais facilidade em compreender o BIM do que as empresas mais velhas, pois na mesma proporção dos que adotam, também há uma outra grande parcela que não faz a adoção da metodologia. Nas empresas com mais tempo de mercado, por sua vez, o cenário mostra parcelas ainda maiores de não adesão ao BIM.

A pesquisa da SIENGE diz que (2020, p.17):

As empresas mais jovens – entre 0 e 10 anos – respondem por cerca de 55,5% dos respondentes que declaram adotar a metodologia BIM. A distribuição se mantém linear entre empresas na faixa dos 11 aos 31 anos, quando há um salto significativo: há uma adoção relevante do BIM nas empresas na faixa dos 31 aos 35 anos. Entre as empresas que declaram não adotar a metodologia BIM, observa-se um comportamento um pouco diferente: 53,5% das empresas que declaram não adotar a metodologia BIM estão são empresas com menos de um ano de idade até 15 anos de operação. Porém, observa-se um interessante comportamento para as empresas com mais de 40 anos de operação. Percentualmente, é nesta faixa que se observa a maior adoção da Metodologia BIM, considerando o número de empresas nesta faixa de idade participantes do mapeamento BIM Brasil. Esta análise sinaliza que muito embora a amostra seja caracterizada por empresas entre 0 e 10 anos de operação, há indícios de que a Metodologia BIM é realidade bem-sucedida em empresas que cruzaram as primeiras quatro décadas de operação.

Gráfico 3 - Distribuição da adoção da metodologia BIM Por Idade da Empresa



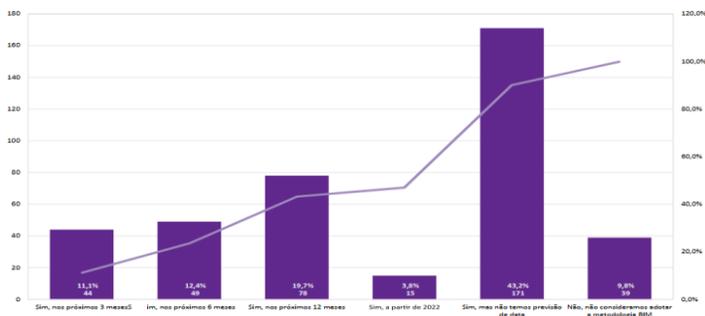
Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

Mas por que muitas empresas ainda não aderem ao BIM as suas organizações, projetos e construções? Que barreiras existem à sua implementação?

Dificuldades da Implementação do BIM

Se faz relevante neste momento, observar a situação das empresas que não adotam o BIM nos seus projetos e processos de trabalho. Na continuidade do estudo de Mapeamento de Maturidade BIM Brasil coletou-se ainda, que embora o BIM ainda não seja uma realidade, muitos profissionais e empresas reconhecem o BIM como uma metodologia que vem para inovar o mercado e agregar valor à atividade das construções, mas 53% das empresas e profissionais ainda não preveem a implementação da metodologia a curto prazo.

Gráfico 4 - Pretensão da adoção a metodologia BIM

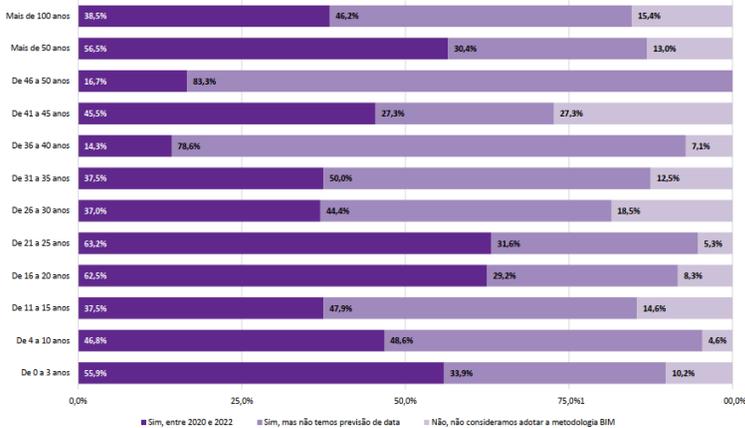


Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

A pesquisa da SIENGE (2020, p.17) ainda diz que:

[...] uma parcela significativa das Empresas e Profissionais que declaram a intenção de adotar a metodologia BIM não estabelecer um prazo para este processo. Este grupo representa 43,18% dos respondentes que sinalizaram intenção de adotar o BIM. Este é um ponto de alerta pois a indefinição de um prazo para um projeto transformador como a adoção do BIM, pode implicar em despriorização do projeto frente a outras demandas. Isto, considerando o cenário incerto da Construção Civil, após a pandemia, é um fator de risco crítico e deve ser tratado por ações conjuntas em áreas pública e privada. O cenário de incertezas quanto ao prazo para adoção do BIM é maior em empresas mais antigas. Dentre os respondentes na faixa dos 36 aos 40 anos, 78,6% declaram ter a intenção de adotar a metodologia, mas sem uma previsão de data para esta adoção. Este número é ainda mais significativo nas empresas na faixa dos 46 aos 50 anos de operação: 83,3% dos respondentes adotaram o BIM, mas não tem um prazo para esta adoção.

Gráfico 5 - Perspectiva de adoção da metodologia BIM com base na idade das empresas



Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

Logo, podemos notar um receio das empresas mais velhas com a adoção de novas tecnologias e métodos de trabalho. Mas quais os motivos as empresas conhecem o BIM, sabem dos seus benefícios, mas não têm nem previsão de implementação?

Dentre os principais motivos listados na pesquisa estão: Barreiras financeiras, quanto aos softwares e equipamentos necessários; Barreiras financeiras, quanto aos treinamentos necessários; Barreiras organizacionais, quanto falta de colaboradores com o conhecimento para adotar a metodologia; Barreiras de mercado, tanto à projetistas aptos ou com custo

viável para adoção da metodologia BIM, quanto à Construtoras Incorporadoras dispostas a remunerar projetos modelados.

Quadro 1 – Maiores dificuldades para a adoção da Metodologia BIM no Brasil

Principais motivos apontados para a não adoção da Metodologia BIM	
Barreiras financeiras, quanto aos softwares e equipamentos necessários	195
Barreiras organizacionais, não temos estrutura de colaboradores grande o bastante para adotar a metodologia BIM	140
Barreiras financeiras, quanto aos treinamentos necessários	123
Barreiras de mercado, não encontramos projetistas aptos ou com um custo viável para adoção da metodologia BIM	114
Não encontramos suporte ou orientação para o processo de implantação da metodologia BIM	75
Barreiras de mercado, não encontramos Construtoras / Incorporadoras disponíveis a remunerar os trabalhos modelados em BIM	68
Não tivemos incentivo do Poder Público	61
Não tenho opinião sobre o assunto	54
A Alta Direção não mostrou-se convencida para adoção da metodologia BIM	53
Não tivemos retorno ou o retorno financeiro foi muito baixo, inviabilizando a adoção	35
Outros motivos	21

Fonte: Pesquisa SIENGE de Mapeamento BIM no Brasil

Mas podemos listar outros como: As barreiras culturais da empresa, que possuem pouco viés para a inovação; Falta de apoio estratégico da direção; Falta de integração dos setores e profissionais envolvidos no ciclo de vida da construção ou projeto; Instabilidade de mercado.

Processo de Implementação do BIM

Para que as empresas consigam implementar o BIM é necessário que ela passe por alguns processos que vão desde a sua transformação cultural até o treinamento de equipes.

O primeiro passo para a implementação do BIM é a empresa levantar os questionamentos que o façam entender o estágio atual do BIM na sua empresa e dos seus profissionais. Os questionamentos a serem feitos são: Qual será o objetivo da implementação do BIM? Quais os serviços que a empresa oferece no ramo da construção civil? Como é realizado os projetos? São em 2D (CAD) ou já possuem modelos em 3D? Quais *softwares* são utilizados? Há disponibilidade para investimento em *softwares* e *hardwares*? Como é a estrutura organizacional da sua empresa? Os colaboradores têm conhecimento em modelagem tridimensional?

Respondendo esses questionamentos a empresa já consegue identificar em qual estágio do BIM se encontra. Sendo possível tomar a decisão da contratação de um especialista em BIM ou iniciar a implementação do projeto de BIM com os profissionais da sua própria equipe junto ao gerente de projetos da empresa.

Se a empresa identificar a necessidade de fazer a contratação de um especialista em BIM para a implementação, deve-se também verificar qual o profissional mais adequado ao seu estágio.

Para que a implementação ocorra com êxito é necessário que estejam alinhados a visão, capacitação, incentivos, recursos e plano de ação.

Figura 9 - O escopo da migração do BIM



Fonte: <http://www.affiniarquitectura.com.br/implantacao-bim-em-escritorios-construtoras-e-fabricantes/>

Impactos na construção civil

A modelagem BIM impacta positivamente o mundo da construção civil com crescimento e desenvolvimento. Entre os impactos mais relevantes estão o ganho de produtividade, aumento de eficiência, melhor visualização de projetos, gestão rápida de alternativas de projeto, análises críticas, previsão das incompatibilizações multidisciplinares, redução de custos, automatização de processos construtivos e de projetos, projetos em multiplataformas, trocas de informações entre profissionais, modelagem de projetos, promoção da colaboração entre equipes, controle de dados e informações técnicas. Contribuindo assim para um crescimento construtivo em grande escala.

Sua implementação surgiu na construção civil para facilitar e atender a necessidade de controle e coleta de informações a fim de garantir o sucesso da empreitada. Sua gestão vai desde controle de materiais, estoque, cumprimento de prazos, análise de viabilidade, entre outras questões que demandam uma atenção redobrada.

E uma pesquisa realizada pela Universidade de *Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE)*, que analisou 32 projetos de grande porte nos Estados Unidos, comprovou reduções reais de custos com o uso do BIM. Segundo o estudo houve a eliminação de até 40% das mudanças orçamentárias não previstas, estimativas de custo com imprecisões de 97%, e redução de até 80% de tempo gasto na elaboração de estimativas de custo, e 7% de redução no tempo de projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O BIM é uma metodologia que surgiu para a visualização de modelos tridimensionais de projetos objetivando integrar todas as fases de uma construção, facilitando na entrega de documentações e controle da construção. Sua implementação impacta a construção civil com redução de custos dos projetos, melhoria nos processos e cumprimento dos prazos nas entregas. Mas apesar dos benefícios comprovados, muitas empresas ainda não possuem previsão do uso do BIM em suas construtoras. As barreiras organizacionais são apontadas como empecilho para a implementação do BIM. Essa barreira diz respeito à falta de profissionais com conhecimento sobre a metodologia, mas também ao receio da mudança. Comprova-se isso no fato de poucas universidades incluírem o BIM em sua extensão curricular.

A hipótese de que a empresa deve conhecer o seu estágio do BIM é verdadeira, pois ela só pode tomar a decisão de implementação a partir dos questionamentos e conhecimentos básicos mencionados para saber como e por onde começar.

De acordo com o que também foi levantado em hipótese, a implementação do BIM tem sido complexa para as empresas, devido a sempre se encontrar no mercado um novo formato de implementação. Apesar da metodologia BIM ser clara com relação a sua implementação. Uma hipótese que podemos reforçar é o fato do profissional de BIM contratado encontrar dificuldade na sua implementação devido a tecnologia ultrapassada. Na verdade, sem o investimento na tecnologia a implementação é inviabilizada, mesmo que sejam investimentos iniciais.

Isso se dá pela barreira financeira que é significativa, uma vez que o investimento para o *software* 2D e junto com algum *software* em 3D para plataformas BIM somados chegam a custar R\$19.175,00. Ou por opção a migração de 2D para BIM que ainda possui um custo elevado, sem citar os possíveis custos para treinamentos de colaboradores e projetistas, *hardware*, rede e capacidade de armazenamento em nuvem.

Então, podemos concluir que o BIM tem trazido vantagens para as empresas, reduzindo custos e otimizando processos, para a sociedade com a redução de resíduos e aumento da sustentabilidade, e para a economia do país acelerando os processos construtivos, aumentando o Produto Interno Bruto (PIB).

Por isso, apesar das dificuldades para a implementação do BIM, as empresas precisam extrair valor da tecnologia e pensar nela como um investimento, só assim a ferramenta funcionará em benefício da construção civil. (SIENGE, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology. Bedford, 2012.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **GUIA BIM. Coletânea Guias BIM.** ABDI, 2017

ALVES, Cristiano Clay Guiot da Costa. **Plataforma BIM na construção civil: vantagens e desvantagens na implantação.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Católica de Brasília, 2014.

ANDIA, A. Towards algorithmic **BIM networks: The integration of BIM databases with generative design.** Cadernos de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, v. 1, p. 13-30, 2008.

C. EASTMAN, P. TEICHOLZ, R. SACKS, K. LISTON, **Manual de BIM - Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores.** 1º Edição. Editora Bookman. 2013.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco. Et al. **Entendendo BIM.** 1ª Edição. Curitiba. Editora UFPR. 2015.

CATELANI W.S., Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.** CBIC, 2016.

CROTTY, Ray; **The Impact of Building Information Modelling.** SPON Press. Nova Iorque, 2012.

CZMOCH, I.; PEKALA, A. **Traditional design versus BIM based design source.** *Procedia Engineering*, n. 91, p. 210-215, 2014.

DANTAS FILHO, João Bosco Pinheiro et al. **Estado de adoção do building information modeling (BIM) em empresas de arquitetura, engenharia e construção de Fortaleza-CE.** VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015), Recife, 2015.

FERREIRA, Leonardo Santos Souza. MENDES, Yuri Matos. ALVES, José Humberto Gomes. **Impacto do BIM na construção civil: Estudo bibliográfico.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 12, Vol. 09, pp. 05-23. dezembro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/bim-na-construcao>

FLORES, M. X. et al. **Caderno BIM - Apresentação de Projetos de Edificações em BIM.** GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2015.

FRABASILE, Daniela. Tecnologia. **Época Negócios**, 2018. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/03/tecnologia-estaevoluindohttps://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/03/t>

ecnologia-esta-evoluindo-mais-rapido-do-que-capacidade-humana-diz-friedman.html. Acesso em: 18, novembro e 2021.

HIPPERT, M. A. S; ARAÚJO, T. T. **Bim e a qualidade do projeto: Um estudo de caso em uma pequena empresa de projeto.** In: XIII ENTAC (Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído). Anais... Canela: ANTAC, 2010.

KAMARDEEN, I. **8D BIM Modelling Tool For Accident Prevention Through Design.** Faculty of Built Environment, University of New South Wales, NSW 2052, Australia.

KASSEM, M., & LEUSIN, DE AMORIM, S. R. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia.** (2015).

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MASOTTI, Luís Felipe Cardoso. **Análise da implementação e do impacto do BIM no Brasil. 2014.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM for Infrastructure:**

MENEZES, G. L. B. B. Breve **histórico de implantação da plataforma BIM.** Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, v. 18, n. 22, p. 153-171, 2011.

NAWI, M. N. M; Baluch, N; Bahauddin, A. Y. (2014) **Impact of Fragmentation Issue in Construction Industry: An Overview.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265376388_Impact_of_Fragmentation_Issue_in_Construction_Industry_An_Overview> Acesso em: 10 jan. 2019.

P. TABORDAE N. CACHADINHA, N. **BIM nas Obras Públicas do Reino Unido.** EUAU, (2011). Coimbra, Portugal, 2012.

PARREIRA, J. CACHADINHA, N. **Implementação BIM e Integração nos Processos Intraorganizacionais em Empresas de Construção.** Estudo de Caso. In: 4º Congresso Construção 2012. Anais... Coimbra, Portugal, p.1-12, 2012.

PEREIRA A. I. P. & RIBEIRO A. R. **A inserção do BIM no curso de graduação em Engenharia Civil.** Artigo Científico. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/2200381-A-insercao-do-bim-no-curso-de-graduacao-em-engenharia-civil.html>> 2014.

PEREIRA, A. CACHADINHA, N. **Implementação BIM e integração nos processos intraorganizacionais em empresas de construção.** Estudo de caso.

SABONGI, F. J. **The Integration of BIM in the Undergraduate** Curriculum: an analysis of undergraduate courses. In: 45th Annual Conference of Associated Schools of Construction, 2009. Disponível em: <<http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2009/paper/CEUE90002009.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2021.

SERGIO LEUSIN, **Gerenciamento e Coordenação de Projetos BIM**. 1º Edição. Editora GEN LTC. 2020.

SIENGE, 2021. **BIM exigência pelo Governo Federal inicia em 2021**. Disponível em: Plataforma BIM: exigência pelo Governo Federal inicia em 2021 (sienge.com.br) Acesso em: 20 nov de 2021.

SIENGE. **Mapeamento BIM no Brasil**, 2018. Acesso: novembro de 2021.

Ademir Francisco de Souza
UNESA
Bruno Matos de Farias
UNESA

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo demonstrar as vantagens da resistência à água da obra por meio de um estudo de capilaridade em vigas baldrame, utilizando-se de somatória de técnicas distintas para a construção de uma estrutura de concreto. Como problema de pesquisa, buscou-se analisar as falhas de impermeabilização das vigas baldrames que podem levar a uma série de patologias e problemas em outros elementos da residência. Para tanto, o presente trabalho teve como objetivo tornar conhecido a importância da impermeabilização nas vigas baldrames, apresentando formas e análises das consequências de sua ausência ou procedimentos errôneos. A metodologia utilizada nesta pesquisa foi a bibliográfica, que se refere a um estudo sistemático desenvolvido com base em materiais publicados em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, ou seja, materiais acessíveis ao público em geral. A fase exploratória teve como objetivo principal apresentar uma análise do problema, tendo como principal forma a pesquisa bibliográfica. Foi observado que para a elaboração de um bom projeto de impermeabilização é necessário identificar quais partes construtivas estão sujeitas aos ataques da ação da água e o tipo de solicitação, pois a vida útil de uma construção e até mesmo o conforto dos usuários podem ser afetados pela ausência ou a má execução do sistema de impermeabilização, além de ocasionar reparos e reformas com custos dispendiosos. Portanto, este trabalho visa-se a melhorar a qualidade das residências ao se efetuar a etapa responsável pela impermeabilização, e de forma correta, através de informações que levem, além da conscientização dos profissionais envolvidos na construção civil, apresentar também conhecimento técnico para o entendimento da necessidade de se planejar e executar esta importante etapa construtiva.

Palavras-chave: resistência à água; feixe baldrame; protótipo; absorção.

INTRODUÇÃO

Os conjuntos de elementos construtivos para impermeabilização de forma simplória, como a adoção de técnicas e metas com o objetivo de formar uma barreira química/física, contra a passagem da água. A

impermeabilização tem uma função muito mais importante, que é a de proteger as estruturas de concreto, contra a agressão provocada pela água, visto elas serem suscetíveis a esta degradação.

Desta forma, a somatória de técnicas distintas para a construção de uma estrutura de concreto, cada uma com propriedades diferentes, muitas vezes acarretam em problemas de patologia construtivas, que incidem diretamente no desempenho da impermeabilização e, se a mesma não estiver adequadamente dimensionada, poderá falhar por não resistir aos esforços impostos.

As principais manifestações patológicas relacionadas com a impermeabilização podem ser divididas em dois grupos: Manifestações patológicas provocadas pela infiltração d'água ou originárias do processo construtivo.

Atribui-se a penetração indesejada de água no interior de uma residência com certa razão, já que pode causar a formação de mofo, efluorescências, degradação da estrutura, por isso debate-se o conjunto de elementos construtivos. Nesse sentido, quando uma habitação não é impermeabilizada está sujeita a incidências de umidade. Outro fator que também pode ser considerado é o desconforto estético, problemas respiratórios e alergias.

O objetivo é apresentar de forma geral que a impermeabilização entre outros fatores garante a qualidade, durabilidade e conforto. Portanto, se a obra está pronta e há grande ou por vezes ocorrências de chuvas, já existem no mercado opções de impermeabilizantes para reparos imediatos e produtos adequados para cada tipo de problema.

Os transtornos causados nas manifestações patológicas provocadas pela pouca ou falta de impermeabilização das construções e a avaliação da correta impermeabilização desde a escolha do produto até a técnica de aplicação.

A impermeabilização não é coisa só de cobertura, como muitos acreditam, e deve ser realizada já nas fundações. Existem diversas técnicas e produtos, mas o básico é que deve haver algum isolamento entre os baldrame (as vigas de fundação) e as paredes da construção.

Como a água tende a descer muita gente nunca pensa nisso, mas existe um fenômeno chamado capilaridade, que é a capacidade da água de subir um pouco pela terra e pela parede, por conta de aspectos microscópicos dos materiais que os compõem. Muitos daqueles problemas da base da parede, o famoso rodapé esverdeado, são causados por problemas de impermeabilização nas fundações. É claro que o tipo de impermeabilização varia conforme o sistema de fundações, mas é sempre necessário.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas na base de consulta do Google livros, além do estudo de cenário. Devido a sua base teórica ser necessário para se ter um ponto de partida da tecnologia, a classificação da pesquisa será exploratória. Visto que iremos relacionar impermeabilização com infiltrações por capilaridade. Precisaremos descrever os resultados obtidos, por isso, essa pesquisa tem

classificação descritiva. Com base na classificação exploratória descritiva. É possível realizar a base teórica e trazer o que tem de mais recente no assunto descrevendo como isso está relacionado de forma correta.

O trabalho de conclusão de curso estrutura-se em cinco capítulos, apresentando-se no primeiro a introdução, objetivos gerais e específicos, problemática sobre o tema em questão, problemática e hipóteses relacionado ao assunto. No segundo, visão sobre mecânica dos solos e definições acerca de fundações baseado em vários autores, além da impermeabilização e do projeto de impermeabilização.

O terceiro capítulo, a metodologia adotada. No quarto capítulo desenvolveremos o estudo de cenário seguindo vários modelos e ideias de patologias relacionados à umidade por capilaridade e infiltrações. No quinto capítulo, considerações finais relacionadas a discussões propostas.

No Brasil, as primeiras normas foram elaboradas por técnicos em impermeabilização em 1977, mesmo período da criação do IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização. A partir daí surgiu o CB-022, Comitê Brasileiro de Impermeabilização.

As normas de execução abordam desde como preparar o substrato até a aplicação e proteção de cada tipo de impermeabilização, apresentando, também como deve ser o projeto, que é dividido em três fases; estudo preliminar, projeto básico de impermeabilização e projeto executivo de impermeabilização e o que cada um deve conter.

Entretanto, o IBI aconselha que nenhum projeto de impermeabilização deve ser feito sem a orientação de um profissional qualificado.

Sendo esta residência um elemento de proteção contra os ataques da umidade do solo, a impermeabilização dos baldrames é uma das etapas mais importantes de todo o processo.

Para garantir a espessura das argamassas impermeáveis, os baldrames devem ter pelo menos 1,5 cm de comprimento e pelo menos 15 cm de altura do lado claro. O produto deve ser sempre usado continuamente. O tempo de tratamento da argamassa deve ser estritamente cumprido.

O tema proposto é principalmente a impermeabilização de vigas de baldrames para residências unifamiliares.

O uso de impermeabilizantes incontáveis ou superficiais para evitar efeitos adversos devido à ausência deste processo.

Falhas impermeáveis das vigas baldrames podem levar a patologias e problemas em outros elementos da casa. Portanto, é importante seguir as recomendações das normas, entender os conceitos e aplicar as melhores práticas.

O concreto não é um material condutor e não pode garantir que a água não vazará.

Devido às suas propriedades físicas, é "elevado" principalmente através de células capilares de elementos água-concreto.

Por isso, esse fenômeno é denominado aumento de umidade e se intensifica no período das chuvas, quando o nível de saturação do solo é maior.

Soares (2014) explica que em locais muito úmidos a conservação das edificações é prejudicada devido ao agravamento da ação da água agindo sobre os materiais e intempéries físicas e químicas. Como a água age de várias maneiras em uma construção, protegê-la da umidade é essencial para prolongar sua vida útil e preservar seu uso. Saber como a água funciona em um determinado ambiente torna mais fácil determinar que tipos de resistência à água devem ser aplicada, pois o mesmo edifício pode sofrer diferentes tipos de atividade fluida.

A água é, portanto, um poderoso agente vil e atua com essa finalidade direta ou indiretamente (quando atua como meio para instalar outros recursos degradantes).

Assim, a água é considerada um dos grandes geradores de patologias, seja atuando direta ou indiretamente (QUERUZ, 2007).

A umidade ascendente nas paredes é uma patologia bastante comum e é um sinal de que os baldrames não foram devidamente impermeabilizados.

Os sinais clássicos são:

- Descascamento da pintura;
- Manchas de bolor;
- Fungos e mofo na parede à uma altura normalmente de até 50cm do chão.

De maneira geral, a impermeabilização, quando realizada ainda na fase de obra, ajuda a evitar grande parte das patologias nas estruturas de concreto armado e representam uma porcentagem muito baixa em termos de custos dentro do orçamento total de obra.

- A necessidade da impermeabilização de vigas baldrames

Como as vigas baldrames servem, entre outras funções, para proteger a construção contra os efeitos prejudiciais da umidade, impermeabilizá-las é essencial.

Além disso, leva-se em consideração que por ser um elemento da obra que está em contato direto com o solo, fazer qualquer reparo ou manutenção é, muitas vezes, dispendioso.

Há sempre o risco de que o concreto, que não é impermeável, venha a sofrer com a entrada de água nos seus poros, ainda mais em períodos chuvosos, o que é chamado de umidade ascendente.

Sempre que uma viga baldrame não for impermeabilizada corretamente, esse tipo de problema vai surgir e colocar em risco a saúde do empreendimento.

O tipo de solo da área estudada, é propício para infiltração ascendente, a geometria do solo interfere na infiltração e percolação de água no solo facilitando a passagem pela falta da impermeabilização.

Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, conceituar a impermeabilização enfatizando sua importância, apresentando formas e análises das consequências de sua ausência ou procedimentos errôneos que são obtidos quando, à falta do acompanhamento de um responsável técnico no projeto/execução, tendo como benefício uma residência otimizada e econômica, pois manifestações patológicas serão evitadas.

Objetivos específicos

- Descrever os tipos de impermeabilizantes.
- Descrever os elementos estruturais que necessitam de impermeabilização.
- Demonstrar os tipos de impermeabilização mais comuns em construções do tipo residências unifamiliares.
- Estruturar informações que possam demonstrar a importância do projeto de impermeabilização.
- Elencar diretrizes para execução do projeto de impermeabilização em conformidade com a ABNT NBR 9574 (2008) norma brasileira referente a execução de impermeabilização.

REFERENCIAL TEÓRICO

Visão Sobre Mecânica dos Solos

Pode-se dizer que a mecânica dos solos é o ramo da geotecnia que trata das propriedades de engenharia dos solos. O intuito é prever o comportamento de maciços terrosos quando sujeitos a solicitações. Neste contexto, para Marlon (2015) fica claro sua origem conhecendo sua resistência, deformabilidade, conteúdo e percolação de água através deles. O mais preocupante, contudo, é constatar que a falta de conhecimento dos mecanismos pode gerar transtornos nas construções civis.

Como bem nos assegura Queiroz (2016), os solos possuem três fases (sólida, líquida e gasosa), e seu comportamento é dependente da quantidade relativa dessas três fases. Das relações entre essas fases surgem os índices físicos, como teor de umidade (h), porosidade (n), índice de vazios (e), grau de saturação (S), peso específico (γ_n), peso específico seco (γ_d), peso específico saturado (γ_{sat}) e peso específico submerso (γ_{sub}).

É interessante que se faça a exploração do terreno, o autor deixa claro que através da sondagem os dados me fornecerão a definição da

resistência ao cisalhamento do solo, nível do lençol freático, a atração físico-química entre as partículas ou de sua cimentação. Esses dados correlacionados entre outros parâmetros.... Conforme explicado acima.

Segundo Fernandes (2011), este fenômeno, tendo sido desencadeado, torna-se extremamente perigoso, porque ao propiciar escoamentos concentrados, aumenta extraordinariamente o potencial erosivo da água, pelo que, na generalidade dos casos, a erosão interna tenderá a acelerar-se e a amplificar-se. O autor deixa claro, a isto acresce que o fenômeno se pode desenvolver até tomar proporções dificilmente controláveis sem significativas manifestações no exterior.

Ora, em tese, conforme citado acima, os autores terem 5 anos nas publicações, percebemos a mesma ideia. É preciso, porém, ir mais além, pois o comportamento do solo é dependente da quantidade relativa das três fases. Conforme mencionado pelo autor, por todas essas razões, o fenômeno é notório e isso resulta na generalidade dos casos. O que importa, portanto, é modificar a erosão interna. "Essa, porém, é uma tarefa de diferença de potencial. Vê-se, pois, que haverá manifestações no exterior" (PINTO, 2006, p. 10).

É importante ressaltar que devido o transtorno, não só para o cliente, mas para o construtor, os custos se elevam devido as manifestações patológicas, mas, em cima disso, provocadas pela poro-pressão do solo. Finalmente, se justifica através de métodos. Ora, um conjunto de elementos construtivos, nesse sentido, tem por objetivo contribuir por exemplo aos usuários e clientes de moradias residenciais. Essa versão não é a única pela qual cabe dizer que haverá maior proveito e durabilidade das residências e edificações fins. Conforme explicado acima, atribui-se ao construtor com certa razão, já que a ele caberá, por exemplo, a escolha do melhor método a combater a causa da patologia.

Dependendo do local da aplicação e dos custos, podem ser utilizados os seguintes sistemas de impermeabilização: manta asfáltica, solução asfáltica, cimento polimérico, argamassa polimérica flexível, argamassa impermeável, cristalização, poliuretano bicomponente, membrana de látex, membrana à base de copolímeros, e aditivo impermeabilizante para concreto Penetron Admix. Esse sistema deve ser escolhido e projetado por um especialista. (CORRÊA, 2019, p. 102).

Conforme explicado acima, o autor deixa claro, o que importa, portanto, é conhecermos os mecanismos do solo. Essa, porém, é uma tarefa que será fornecida através dos dados em ensaios geotécnicos. Vê-se, pois, que uma das grandes dificuldades dessa laboração é o fluxo da água no solo. É preciso ressaltar, o estudo da percolação que é uma das variáveis essenciais.

Por final, o comportamento dos solos é estudado com as informações de permeabilidade quando tensões são aplicadas, aliviadas ou perante o escoamento de água nos seus vazios. Este ramo da engenharia, mais conhecido como Engenharia dos Solos, costuma empolgar os seus

praticantes pela diversidade e peculiaridades que o material apresenta em suas atividades.

Impermeabilização

Segundo a NBR 15.575, impermeabilização é uma técnica que consiste na aplicação de produtos específicos com o objetivo de proteger as diversas áreas de um imóvel contra ação de águas. Neste contexto, para Mohamad (2015) [...] as infiltrações causam manchas de umidade, corrosão, desenvolvimento de fungos, algas e até eflorescências.

Segundo Cardoso (2010), no Brasil, o custo da impermeabilização bem-feita de uma casa ou apartamento fica em torno de 3% do valor total da obra. O da reforma, porém, pode custar oito vezes mais, chegando a 25% do valor do imóvel.

O conjunto de providências conforme explicado acima, mostra que a infiltração são manifestações patológicas. Por essa razão, tem particular relevância quando se trata de um projeto de construção civil, esse deverá contemplar igualmente um projeto de impermeabilização. Mesmo porque debate-se partindo da ideia que o projetista deve analisar os projetos básicos da obra procurando evidenciar as áreas sujeitas à infiltração. O autor deixa claro, o custo com a impermeabilização se eleva quando não seguido os sistemas ideais. É importante considerar que a qualidade do processo são fatores que proporcionarão melhoria contínua.

Segundo Guerrin e Lavour (2002), a impermeabilização só deve ser aplicada sobre um suporte que apresente todas as garantias desejadas, de rigidez suficiente, e com uma superfície lisa bastante para evitar toda deterioração da impermeabilidade, tanto por deformação do suporte como por perfuração intempestiva na superfície muito rugosa; as arestas devem ser arredondadas com pelo menos 4 cm de raio.

Ora, em tese, conforme citado acima, mesmo tendo publicado em 8 anos de diferença, os autores concordam com o projeto de impermeabilização, pois afirmam que em caso contrário, em qualquer atividade que envolve canalização de recursos financeiros, temos que analisar a chamada relação custo/benefício. (CARDOSO, 2010).

É interessante, aliás, as infiltrações são problemas desagradáveis que surgem quando menos se espera, devido à falta de um projeto específico e exigem uma análise precisa para que possa se chegar numa solução ideal, mas há um fato que se sobrepõe a analisar o local a ser tratado, para que seja especificado corretamente o tratamento. Enfim.... No mercado atual, há técnicas de ponta para cada processo a ser analisado. Conforme explicado acima, no geral, as áreas mais afetadas são as constantemente molhadas com encanamentos e desprovidas de coberturas, por exemplo, os banheiros, são locais que têm grande chance de ter problemas que não ficam tão visíveis ao olho nu, por causa dos acabamentos em cerâmica.

Piscinas de concreto necessitam de impermeabilização para impedir que as estruturas sejam 'atacadas' pela umidade e fazer com que fiquem

protegidas contra desgastes, fissuras, trincas, fungos, corrosão das armaduras, deterioração do concreto, descolamento de revestimentos, entre outras consequências. “Nas piscinas, os vazamentos afetam a estrutura de concreto e também resultam em elevado consumo de água, podendo comprometer a estrutura do imóvel por infiltrações no subsolo”. (SILVEIRA, 2017, p. 22).

Conforme explicado acima, o que importa, portanto, é se tratando de impermeabilização, mesmo adotando material adequado e de boa procedência, precisamos estar atentos aos procedimentos na aplicação. Essa, porém, é uma tarefa que precisa ser exaustivamente treinada. Vê-se, pois, que a área a ser impermeabilizada sofrerá intervenções por outras equipes. É preciso ressaltar que sendo necessário, os colaboradores precisarão passar por constantes treinamentos e reciclagens. O autor deixa claro, embora este assunto não seja tratado com a frequência e seriedade que deveria e infelizmente, ocasionando retrabalhos e prejuízos.

Por final, impermeabilização é um aspecto muito importante em quase todas as construções. Responsável por manter a estanqueidade (ou seja, por deixar a sua moradia seca, livre de infiltrações), ora que, é uma questão básica de obra, e sempre requer muito cuidado e atenção por assim, assegurar a salubridade e a durabilidade das estruturas.

Definições: viga baldrame e Impermeabilização

Segundo Barros (2011), a viga baldrame é classificada como um dos vários tipos de fundação. É usado como um tipo básico econômico e raso em solos firmes e pequenos projetos de carregamento. A viga baldrame consiste em uma viga sobre uma base elástica, embutida em uma calha rasa que suporta todas as cargas das paredes de uma residência. A viga baldrame transfere todas essas cargas para o solo.

Ertel (2016) explica que a viga baldrame é um tipo de elemento de construção estrutural geralmente localizado abaixo do nível do solo. Pode ser feito de concreto armado, concreto simples ou blocos maciços. Em edifícios pequenos e com cargas baixas, são utilizados como alicerce, dependendo da resiliência do solo.

A viga do baldrame é feita de concreto armado e usada como fundação, erroneamente tem sinônimo de Sapata Corrida. Além disso, por vezes, a viga baldrame tem a função de travar a estrutura “amarrando” os pilares, sapatas ou os blocos de fundação. Nas obras acabadas, as vigas baldrames são “invisíveis” e, quando não existem paredes por cima delas, apenas os pilares são visíveis no piso térreo (garagens).

Saber escolher o sistema de impermeabilização a ser implantado nas vigas baldrame é fundamental para evitar situações indesejáveis durante a fase de uso. O aparecimento de patologias é um desses fatores, sendo denominadas “bolor do pé”, que nada mais é do que o efeito da umidade do solo, que atua pelo levantamento capilar e se revela nas superfícies de alvenaria. Esse tipo de patologia costuma causar desconforto visual e

agravos à saúde, além de depreciação de bens, entre outras perdas (BARROS, 2011).

Na Figura 01, é possível observar a representação da etapa de impermeabilização da viga baldrame.

Figura 1: Viga baldrame impermeabilizada



Fonte: Canal do Engenheiro (2018).

Conhecendo tipos de impermeabilizantes

Pode-se dizer que aditivos incorporadores de ar são empregados como impermeabilizantes. Neste contexto, para Recena (2011), fica claro que possibilita a redução de água e promovem a interrupção dos canais capilares. O mais preocupante, contudo, é constatar que a redução de água pode ocorrer em misturas realizadas a partir de traços deficientes em pasta aumentando a trabalhabilidade, pois o aumento da pasta é obtido através do aumento de bolhas.

Os tipos mais comuns de aditivos, que se observa serem empregados em pequenas obras, são os plastificantes redutores de água, os impermeabilizantes de massa e os incorporadores de ar. (RECENA, 2011, p. 52).

A melhor maneira de compreender esse processo é considerar os fenômenos relacionados com a tensão superficial do líquido. Conforme citado acima, em contato com uma parede/estrutura sólida, seja porque sabemos da hidrostática que, quando se preenchem vários vasos comunicantes com um determinado líquido, este sempre atinge a mesma altura em todos os ramos, contudo, o autor deixa claro que essa teoria não é única, pela qual cabe dizer que o mais importante é tratarmos da permeabilidade do solo, que é a estimativa da vazão que percolará através do maciço.

A impermeabilização da superfície da alvenaria (das lajes ou de outros elementos construtivos) visa a evitar a absorção tanto da água líquida como do vapor de água. Para isso, utilizam-se materiais poliméricos naturais ou sintéticos, caracterizados por uma permeabilidade muito baixa à água;

estes materiais são, por outro lado, caracterizados também por uma baixa permeabilidade ao vapor e, assim, impedem a secagem da alvenaria (BERTOLINI, 2016).

Conforme citado acima, a impermeabilização é a barreira que impede o trânsito da água, seja por meio líquido ou vapor. Trata-se inegavelmente que a grande maioria dos materiais utilizados na construção civil são porosos, cada um em determinado grau. Assim, reveste-se de particular importância o dimensionamento correto dos elementos, acompanhado por profissionais capacitados. Sob essa ótica, ganha particular relevância uma boa impermeabilização (BERTOLINI, 2016).

É importante ressaltar que apesar da infiltração se manifestar visualmente em um local da residência, como, por exemplo, na parede, o sinal que se manifesta nela é resultado de uma infiltração em outro lugar, mas, em cima disso, impermeabilizar a parede nesses casos não irá resolver a causa do problema. Ora, para se resolver o problema da infiltração e percolação da água preciso identificar a causa, nesse sentido, as fissuras nas estruturas me dão a pista de entrada da infiltração e percolação de água. Essa versão não é a única pela qual cabe dizer que o problema nas paredes só será resolvido de maneira definitiva quando as fissuras e rachaduras forem devidamente tratadas.

Um dos problemas mais comuns em construções é a umidade que se verifica na parte inferior das paredes junto ao piso. Uma das principais causas possíveis é a falta de uma barreira de proteção contra a umidade ascendente do solo, que passa pelo baldrame, e atinge as alvenarias proporcionando um aspecto de degradação dos revestimentos e da pintura (SALGADO, 2014, p. 3-21).

Portanto, torna-se evidente que a infiltração é um dos maiores problemas na construção civil. Vê-se, pois, o autor deixa claro, a falta da impermeabilização poderá gerar vários tipos de patologias. Logo, é indiscutível o fato que o projeto de impermeabilização deverá ser considerado conforme explicado acima e acompanhado por profissionais treinados e capacitados para uma ótima execução. Conforme explicado acima o que importa, portanto, é minimizar ao máximo a incidência de infiltração. Essa, porém, é uma tarefa que cabe aos profissionais capacitados que poderão entender por meio de conhecimento técnico e experiência os ambientes que serão tratados.

Classificação dos impermeabilizantes

Basicamente, os tipos de impermeabilização existentes estão divididos em dois grupos principais: impermeabilização rígida e impermeabilização flexível. Nesta seção, algumas das definições desses tipos de impermeabilização e as vantagens e desvantagens atuais da aplicação de impermeabilização serão discutidas.

Resistência rígida à água e resistência flexível à água

Impermeabilização rígida, conforme prescrito pela NBR 9575/2003, é o conjunto de materiais ou produtos aplicáveis nas partes construtivas não suprimidas. Isso significa que os produtos impermeáveis rígidos não apresentam nenhuma trabalhabilidade, o que acarreta a exclusão de áreas expostas a grandes variações de temperatura. Em outras palavras, deve ser aplicado a elementos de construção que não se movem (temperatura e ação funcional). A impermeabilização rígida trata os seguintes tipos de materiais em sua composição:

- Argamassa polimérica;
- Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo;
- Cimento impermeabilizante de pega ultra-rápida;
- Cristalizantes.

Righi (2007) determina que a impermeabilização flexível é aplicável a peças de construção com fissuras. Além disso, este tipo de impermeabilização pode ser pré-fabricado (mantas) ou moldado no local (membranas).

O autor ressalta que, dependendo do local da impermeabilização, as membranas são mais vantajosas do que as mantas por falta de costuras, mas requerem um rígido controle de espessura, pois depende da quantidade de produto aplicada por metro quadrado. Alguns tipos de materiais usados na impermeabilização flexível são descritos a seguir:

- manta de PVC;
- Coberturas asfálticas;
- Membrana polimérica modificada com cimento;
- Membranas asfálticas;
- Membrana acrílica;

Na Figura 02 é possível ver a representação dos dois tipos de impermeabilização descritos acima: Resistência rígida e flexível. O exemplo de impermeabilização flexível representado é a cobertura asfáltica, enquanto a impermeabilização rígida mostrada é a cobertura líquida (membrana).

Figura 2: Impermeabilização Flexível X Impermeabilização Rígida.



Fonte: Adaptado pelo Autor de Casimper e Advance (2018).

Circunstâncias da aplicação da impermeabilização

Rodrigues e Mendes (2017) explicam que a escolha do tipo de impermeabilização é feita de acordo com as circunstâncias em que será utilizado, pois cada produto tem uma função específica.

Cunha e Neumann (1979) apontam que os principais pontos que necessitam de resistência à água são: coberturas planas e coberturas; Terraços e áreas descobertas; Drenos de água da chuva; Cisternas de água, piscinas e mangueiras hidráulicas; Pisos molhados como banheiros e lavanderias; Paredes por onde corre a água e recebe a chuva do vento, coifas e coifas para fachadas; Molduras e soleiras de janelas; Peitoris das portas que abrem para fora; Água contida na terra que sobe por capilaridade, ou se infiltra no subsolo, abaixo do nível da água.

O autor Salgado (2009) aborda os principais e mais comuns problemas encontrados quando há água encanada em edifícios e que precisam ser resolvidos por sistemas de impermeabilização. São eles: Presença de umidade nas estruturas executadas no terreno; Presença de umidade nas paredes próximas ao piso; Escoamento de água em lajes; Escoamento de água em caixas d'água; Escoamento de água em piscinas; Umidade nos pisos.

Vantagens e desvantagens da aplicação da impermeabilização

Rodrigues e Mendes (2017) explicam que para obter vantagens em relação ao uso de impermeabilizantes é necessário implementá-lo de forma correta e completa. Além disso, o sistema a ser implantado deve ser escolhido de acordo com as necessidades apresentadas.

O número de impermeabilizantes cresce cada vez mais no mercado de construção civil. Esse fator permite um leque mais amplo de alternativas e soluções para cada caso específico. Além disso, permite que a impermeabilização apareça em várias etapas na mesma obra. É justamente por isso que uma construção impermeável favorece a estética e a segurança da edificação, por impedir a ocorrência de problemas com infiltrações (RODRIGUES E MENDES, 2017).

Citando as desvantagens da implantação da impermeabilização, vale ressaltar que sua implantação é imprescindível e garante maior longevidade da edificação por proporcionar bloqueio de degradação ocasionado pela presença de umidade em suas diversas formas.

Todas as desvantagens da impermeabilização devem ser consideradas como dificuldades e não justificam a ausência da sua implementação, visto que as vantagens que proporciona são consideravelmente maiores do que as dificuldades da sua implementação.

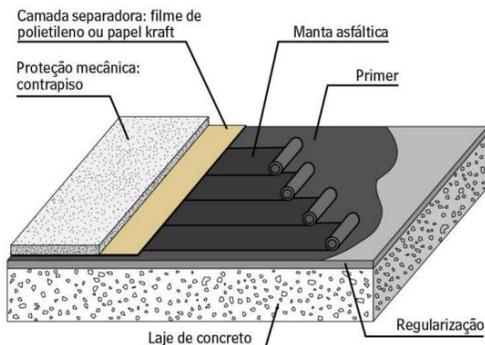
Rodrigues e Mendes (2017) explicam que o principal obstáculo aos insumos impermeabilizantes é a necessidade de obras especiais. Vale ressaltar que atualmente é evidente a carência de cursos profissionalizantes no Brasil e que a pouca mão de obra que existia era qualificada pela experiência (experiência em canteiros de obras).

As mantas asfálticas são um dos casos mais específicos e mais utilizados na impermeabilização. Eles precisam de seus próprios equipamentos para execução e segurança. Para a sua implementação é necessário consultar o fornecedor do material (pois existe um tipo de produto específico para cada situação) e contratar trabalhos especiais na execução destes serviços.

Além disso, quanto aos telhados impermeáveis, exigem cuidados especiais para que não sejam danificados, tomando muito cuidado quando é necessário instalar antenas, grades, tubos de ventilação e etc. E evitando furar a membrana ou capa impermeável. Ressalta que se deve ter cuidado para não danificar as camadas impermeabilizadas, após a aplicação, para garantir a impermeabilização (RODRIGUES E MENDES, 2017).

Na Figura 03 é possível ver a representação das camadas necessárias para cumprir com a impermeabilização de uma cobertura. A propósito, é possível afirmar que atrás da laje de concreto existe uma camada lisa que serve para nivelar possíveis irregularidades na mesma. Acima é aplicada a introdução, seguida da manta asfáltica, da camada separadora e por fim da proteção mecânica (contrapiso).

Figura 3: Impermeabilização de Coberturas.



Fonte: Ativos Engenharia (2018).

Impermeabilização de vigas baldrame

Como o foco principal do desenvolvimento desta pesquisa é o estudo do desempenho impermeabilizante de vigas baldrame, esta seção apresenta alguns pontos importantes em relação à obra necessária, o tempo de aplicação e os custos gerados.

Infelizmente, é conhecida a falta de trabalho especializado na área da impermeabilização no Brasil, e o trabalho existente ganhou e continua ganhando qualificação com a prática nessa área. Não existem cursos especializados e profissionais de impermeabilização. Esse déficit existe por causa da cultura dos leigos, que muitas vezes veem a resistência à água como um “gasto desnecessário” a ser evitado e não como um investimento que prolonga a vida útil das residências.

Primeiramente, segundo Rodrigues e Mendes (2017), para a implantação da impermeabilização é necessário o uso de EPI (Equipamento de Proteção Individual) por mão de obra qualificada, além do uso correto das ferramentas necessárias (como a tocha para a impermeabilização).

Alguns exemplos de ferramentas utilizadas na aplicação de impermeabilizantes são: escovas, paletes, soprador, rolo de pintura, vassoura, espátula (RODRIGUES E MENDES, 2017).

Rodrigues e Mendes (2017) destacam que o tempo de aplicação da impermeabilização varia de acordo com o sistema de impermeabilização e os produtos aplicados. Também é importante verificar as informações dos fabricantes, pois há produtos que precisam de até dois dias para aplicar na íntegra, dependendo da necessidade de revestimentos e do tempo de espera para secagem.

É importante também enfatizar que o tempo de aplicação da impermeabilização irá variar dependendo do sistema escolhido, da localização da impermeabilização, da quantidade de mão de obra qualificada disponível, da qualidade do projeto de impermeabilização, das condições climáticas e do tipo de produto escolhido.

Hoje, muitas pessoas ainda veem os custos gerados pela impermeabilização de uma obra como um gasto desnecessário a ser evitado. Porém, como pode ser assimilado a seguir, esses custos são relativamente baixos e promovem um prolongamento da vida útil da estrutura devido à proteção do edifício contra a ação deteriorante da água transformada em umidade.

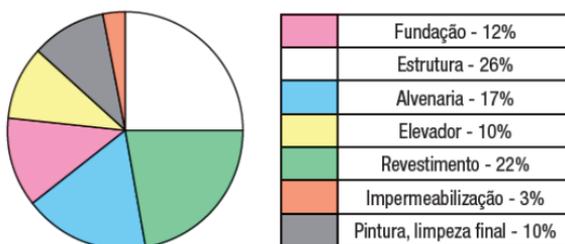
Apolinário (2013) explica que entre os custos gerados pela impermeabilização de uma obra, compreende-se os custos com a impermeabilização da fundação, infraestrutura, cavaliças e laje da caixa d'água. As instruções da Norma Brasileira (NBR), exigem que a previsão desses custos seja feita para que determinado financiamento seja aprovado. São as planilhas de memória descritiva e as fichas de especificações técnicas que tratam das quantidades, especificações dos materiais a serem adotados, orçamento de síntese e análise e cronograma.

Uma das etapas incluídas na impermeabilização geral de uma estrutura definida é a impermeabilização das vigas, estudo principal presente no desenvolvimento deste trabalho. Apolinário (2013) descreve que, segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), os edifícios residenciais unifamiliares têm um custo médio aproximado de 0,21% com fundações impermeabilizantes (geralmente vigas) em relação ao custo total da obra. Ou seja, estimando que o custo aproximado de uma obra de oitenta metros quadrados é de R\$ 76.148,00; o gasto com impermeabilização da infraestrutura em contato com o solo equivale a R\$ 159,91; tendo como referência o CUB (Custo Unitário Básico).

Portanto, pelo exposto, os custos gerados pela impermeabilização da fundação, especificamente das faces expostas ao solo, são consideravelmente reduzidos, porém é uma das etapas mais importantes da obra, pois evita danos futuros que demandam elevados custos dispendiosos na realização de reparos de patologias causadas por vigas mal impermeabilizadas ou mesmo pela ausência desse tipo de impermeabilização.

Na Figura 04 é possível visualizar a representação dos custos médios gerados a cada etapa de uma edificação.

Figura 4: Custos das etapas de uma Edificação em relação ao Custo Total da Obra.



Fonte: Vedacit (2010).

Principais causas de infiltração: como reparar

A NBR 9575 de 2010 define que infiltração é a penetração indesejável de fluidos na construção.

Dependendo dos elementos construtivos presentes em um edifício, a água se manifesta de uma certa forma, geralmente como umidade. A água atua como fator de deterioração e acaba reduzindo a vida útil da edificação. Portanto, alguns cuidados são necessários quando patologias de infiltração são identificadas. Aqui estão algumas das causas da ocorrência de infiltração e quais medidas devem ser tomadas para corrigi-las.

Ausência de Ventilação

De acordo com o manual técnico de Vedacit (2010), a ausência de ventilação adequada em um determinado ambiente provoca infiltrações

geradas pela condensação. Isso porque a circulação do ar é o principal fator necessário para tornar os ambientes saudáveis, evitando a propagação do mofo. Esse tipo de infiltração não é resolvido apenas por sistemas de impermeabilização, pois isso só é resolvido pela atividade de ventilação do ambiente. Vale ressaltar também que a presença de umidade nas residências, além de desconforto, causa doenças respiratórias aos usuários. Na Figura 05 é possível ver a representação da eminência da umidade devido à falta de ventilação. Esse tipo de umidade é popularmente conhecido como mofo.

Figura 5: Presença de Umidade devido à ausência de Ventilação.



Fonte: Projetos Habitissimo (2018).

Falhas de Projeto

O autor Porciúncula (2013) explica que a impermeabilização é um processo que requer um planejamento preciso, que se inicia com o estudo do terreno, analisando suas características geomorfológicas e químicas, bem como o que constitui seu ambiente. Além disso, é necessário verificar a situação do aqueduto presente no local. É também fundamental compreender os projetos de arquitetura e todos os outros que integram a obra, de forma a tentar conciliar as indicações dos sistemas de impermeabilização e os sistemas construtivos adotados.

Rodrigues e Mendes (2017) afirmam que projetos de impermeabilização são essenciais para garantir e gerar uma boa implantação desses sistemas. A ausência ou falta desses projetos acarreta problemas de difícil solução e, portanto, geram prejuízos. A escolha incorreta de um sistema de impermeabilização a ser implantado em um ambiente definido acarreta deficiências nas especificações de aplicação, falta de detalhamento prévio à execução e não cumprimento das normas de impermeabilização.

Erros de execução

Não é porque qualquer edifício possui sistemas de impermeabilização em todas as etapas necessárias que a estrutura ficará

protegida pela ação deteriorante da umidade. Além da data de validade, esses sistemas, se executados incorretamente, permitem que a água danifique a estrutura.

Os erros de execução de sistemas de impermeabilização ocorrem por diversos fatores. Alguns desses fatores são a falta de fiscalização e a falta de mão de obra qualificada para realizar esses serviços. Além disso, alterar algo especificado no projeto dentro da obra sem consultar o projetista, na maioria das vezes causa falhas comprometedoras nos sistemas de impermeabilização. Por fim, o controle de qualidade também é necessário nesse processo, pois deve ser extremamente rigoroso para não levar a falhas futuras (RODRIGUES E MENDES, 2017).

Fluxos em tubos

Rodrigues e Mendes (2017) explicam que vazamentos em tubulações são difíceis de sanar, geralmente por ocorrerem no interior das paredes de banheiros e cozinhas e por apresentarem fluxo constante de água fria. Esses vazamentos geralmente ocorrem devido aos seguintes fatores:

- Perfuração externa (nas paredes por onde passa o tubo);
- Canais mal executados;
- Uso de cola em canos.

Além desses fatores causadores de vazamentos, também ocorrem falhas nos sistemas de captação de água, geralmente devido aos tipos de ralos e aos produtos utilizados para vedá-los. Além disso, os chuveiros também são geradores de vazamentos quando suas extremidades não são devidamente atendidas.

Por fim, os pisos que transportam água da chuva também podem se tornar geradores de infiltração quando não possuem declividade mínima e acabam causando o acúmulo indevido de água.

Aberturas em concreto

As estruturas de concreto são excelentes geradoras de infiltração, pois o concreto corrói a armadura, o que põe em risco a segurança da estrutura. A principal causa da infiltração no concreto é a falha na existência do recobrimento mínimo da armadura (camada de concreto sobre a armadura) e as falhas de concretagem como fôrma adequada, vazamento do concreto, endurecimento e cura da mesma.

Além disso, o déficit na supervisão e comando dos equipamentos associado à baixa qualidade da formação profissional do engenheiro e do chefe leva a graves erros no desempenho das atividades de execução da obra, apoio, execução de cofres, posicionamento, avaliação da qualidade da armadura e do concreto (RODRIGUES E MENDES, 2017).

Infiltração blindada

Cunha e Neumann (1979) afirmam que estruturas de concreto armado geralmente antigas (acima de 30 anos) expostas à umidade ambiental apresentam um processo inicial ou moderado de deterioração de suas armaduras.

A corrosão da armadura de construção é classificada como um processo eletroquímico, enquanto a corrosão do concreto é um processo puramente químico que ocorre devido à reação da pasta de cimento com elementos químicos, causando a formação de compostos de expansão ou a dissolução da ligação. Porém, um fator importante que danifica o concreto é a carbonatação, que é causada pela ação dissolvente do gás carbônico presente na atmosfera sobre o cimento hidratado. Isso causa uma forma de carbonato de cálcio, que torna o concreto mais ácido, atingindo valores de pH abaixo de 9 (SOUZA E RIPPER, 1998).

Na Figura 06 é possível observar um caso de infiltração nos reforços de uma residência. Observa-se corrosão da armadura devido a irregularidades na execução da capa da armadura. Nesse caso, a armadura, em contato com o gesso, ficou ainda mais sujeita à ação da umidade e sofreu corrosão.

Figura 6: Corrosão da Armadura de um Pilar Estrutural devido à Infiltração.



Fonte: Imagem disponibilizada pela Engenheira Civil Sabrina Aguiar (2018).

METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi a bibliográfica, que se refere a um estudo sistemático desenvolvido com base em materiais publicados em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, ou seja, materiais acessíveis ao público em geral. Após a escolha do tema, definição do levantamento bibliográfico preliminar e formulação do problema, foi elaborado um projeto provisório sobre o tema. A fase exploratória teve como objetivo

principal apresentar uma análise do problema, tendo como principal forma a pesquisa bibliográfica.

A pesquisa científica está presente em todos os campos da ciência, no campo da educação encontramos vários publicados ou em andamento. É um processo de investigação para resolver, responder ou investigar uma questão no estudo de um fenômeno. Bastos e Keller (1995, p. 53) definem: “A pesquisa científica é uma investigação metódica sobre um determinado tema com o objetivo de esclarecer os aspectos em estudo”.

Para Gil (2002, p. 17) “A pesquisa é necessária quando não há informações suficientes para responder ao problema, ou quando a informação disponível está em tal estado de desordem que não pode ser adequadamente relacionada ao problema”.

A pesquisa científica possui diferentes modalidades, uma das quais é a pesquisa bibliográfica que será abordada neste artigo, expondo todas as etapas que devem ser seguidas em sua realização. Este tipo de pesquisa é idealizado por diversos autores, incluindo Marconi e Lakatos (2003) e Gil (2002).

A pesquisa bibliográfica está inserida principalmente no meio acadêmico e visa aprimorar e atualizar conhecimentos, por meio de uma investigação científica de trabalhos publicados.

Essa estratégia assumida foi o ponto de partida do projeto de pesquisa que, gradativamente, assumirá o perfil definitivo a partir das mudanças absorvidas com o aprofundamento da leitura e com o consequente amadurecimento dos entendimentos e demandas em torno da pesquisa.

A pesquisa será realizada em fontes que destacam, além dos livros de leitura atual, outras fontes de interesse para a pesquisa bibliográfica: obras de referência, teses e dissertações, periódicos científicos e indexação de periódicos e resumos. Essas fontes serão utilizadas em pesquisas, sendo incorporadas à bibliografia.

A leitura de partes do material bibliográfico terá por objetivo verificar as obras que interessam à obra. A partir desse momento, procederemos à leitura analítica dos textos selecionados, identificando as ideias-chave, classificando-as e sintetizando-as.

Por fim, e de forma mais complexa, as leituras serão interpretadas, em relação umas às outras e ao problema a ser resolvido com a pesquisa, consolidando os raciocínios e argumentos baseados em elementos bem definidos. Portanto, o método a ser aplicado à pesquisa bibliográfica por meio da leitura do material escolhido partirá da organização lógica do tema, garantindo que a escrita textual seja tratada de forma gradativa e equilibrada, para então passar ao mais formato consolidado do texto, a partir do aprofundamento das análises, das mudanças de alguns paradigmas e, sobretudo, do maior conhecimento inerente ao assunto.

Para Prodanov e Freitas (2013, p. 24) o método é considerado o caminho para se chegar a um determinado fim. No passado muitos pensadores defenderam a existência de apenas um método que servissem para todas as áreas do conhecimento. Defendiam “um método que fosse

universal”. Porém, muitos outros métodos são defendidos por cientistas e filósofos da ciência. Esses métodos devem ser utilizados de acordo com o que se pretende investigar e também pela classe de proposições. No entanto, para Lakatos e Marconi (2003, p. 84) o que interessa é o conceito moderno de método. Para tal as autoras “consideram, como Bunge, que o método científico é a teoria da investigação”.

Para Prodanov e Freitas (2013, p.24) se método “é um procedimento ou caminho para alcançar determinado fim e que a finalidade da ciência é a busca do conhecimento”, pode-se dizer que o método científico “é um conjunto de procedimentos adotados com o propósito de atingir o conhecimento”. Já de acordo com Trujillo Ferrari (1974 apud Prodanov e Freitas), o método científico é “um traço característico da ciência, constituindo-se em instrumento básico que ordena, inicialmente, o pensamento em sistemas e traça os procedimentos do cientista ao longo do caminho até atingir o objetivo científico”.

A pesquisa qualitativa discute os resultados do estudo por meio de análises e percepções. Primeiramente é necessário descrever o problema, que geralmente possui interpretações mais subjetivas, tais como: sentimentos; pensamentos; opiniões; sentimentos; percepções. Nesse processo de pesquisa acadêmica, os números não buscam compor um resultado efetivo, mas sim a compreensão de uma trajetória que deu origem ao problema do trabalho.

É por isso que se baseia em uma profundidade de dados que chamamos de incomensurável. Isso porque os resultados de uma pesquisa qualitativa enfocam o ponto de vista do entrevistado.

Para Deslauriers e Kérisit (2008), na pesquisa qualitativa, o aluno é ao mesmo tempo sujeito e objetivo de sua pesquisa. Isso porque o conhecimento deve ser parcial e limitado, pois pesquisar é algo imprevisível. Assim, o resultado deve ser capaz de produzir novas informações.

DESENVOLVIMENTO

Projeto de impermeabilização

A NBR 9575 (ABNT, 2010), traz como requisito geral o projeto de impermeabilização, na qual especifica que este projeto deve ser desenvolvido em conjunto e compatibilizado com o projeto de arquitetura e os demais projetos complementares para se obter e prever as respectivas especificações em termos de tipologia, dimensões, cargas, ensaios e detalhes construtivos.

Para a elaboração de um bom projeto de impermeabilização é necessário identificar quais partes construtivas estão sujeitas aos ataques da ação da água e o tipo de forma de solicitação. A NBR 9575 (ABNT,2010) mostra as quatro formas de solicitação da água, a saber:

- Imposta pela água de percolação;

- Imposta pela água de condensação;
- Imposta pela umidade do solo;
- Imposta pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral.

A NBR 9575 (ABNT, 2010), também divide o projeto de impermeabilização em duas partes, que são: projeto básico de impermeabilização e projeto executivo de impermeabilização. Na qual descreve que, no projeto básico devem ser definidas as áreas a serem impermeabilizadas, a definição dos sistemas de impermeabilização, a planilha de levantamento quantitativo, o estudo de desempenho e a estimativa de custos. Já o projeto executivo, é caracterizado pelas plantas de localização e identificação da impermeabilização, os detalhes específicos e genéricos que descrevam graficamente todas as soluções de impermeabilização, detalhes construtivos, memorial descritivo de materiais e camadas de impermeabilização, memorial descritivo de procedimentos de execução e planilha de quantitativos de materiais e serviços.

Para se identificar os possíveis problemas que podem surgir durante e após a execução da obra é necessário desempenhar de forma rigorosa o detalhamento do projeto de impermeabilização. Segundo Righi (2009) deve-se verificar a preparação da estrutura que irá receber a impermeabilização, se o material está dentro das descrições do projeto, além de analisar outras características, como, espessura, consumo, tempo de secagem, sobreposição, arremates, testes de estanqueidade e métodos de aplicação destes sistemas.

O projeto de impermeabilização deve ser executado de forma a garantir a estanqueidade da água em todas as fases da construção de uma edificação, de maneira que ocorra em harmonia com os demais sistemas construtivos, possibilitando assim, menor chance de surgirem falhas patológicas consequentes da umidade, ressaltando que a implantação de um sistema de impermeabilização deve coexistir com o projeto de manutenção preventiva para garantir que a edificação esteja estanque, atestando a durabilidade do sistema e dos demais componentes construtivos (SANTOS, 2018).

A NBR 9574 (ABNT, 2008), traz como requisitos gerais para aplicação da impermeabilização, que, as áreas que necessitam ser estanques, devem ser totalmente impermeabilizadas, nas quais, para os tipos de impermeabilização que requeiram superfícies secas, a argamassa de regularização deve ter idade mínima de 7 dias, e, em área sujeitas à água sob pressão positiva devem receber a impermeabilização no lado de atuação da água.

De acordo com Soares (2014), na maioria das obras, métodos executivos são transmitidos a partir de conhecimentos empíricos, sem bases ou conhecimentos teóricos, que acarretam nos mais variados erros no decorrer de uma obra, e, como os sistemas de impermeabilização são elementos que ficam encobertos e, muitas vezes, as patologias só aparecem muito tempo depois, se torna um dos sistemas que mais sofrem com os vícios

construtivos. A Figura 7 relaciona o tempo de execução de uma obra com os gastos com impermeabilização.

Figura 7: Custos da impermeabilização em relação ao tempo da obra

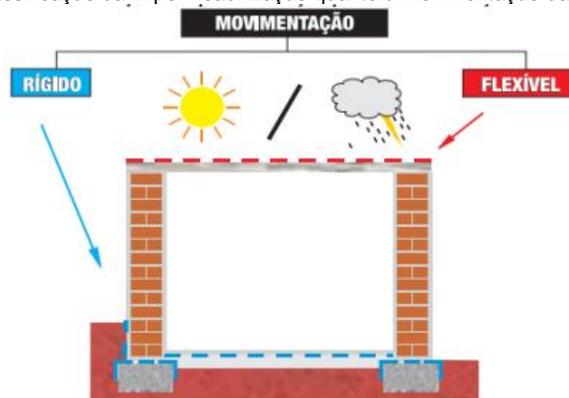


Fonte: Arquitetura e Construção (2005, apud RIGHI, 2009).

Tipos de sistemas impermeabilizantes

Os sistemas de impermeabilização podem ser classificados de acordo com a sua flexibilidade, em sistemas rígidos ou flexíveis, Figura 8. Sendo necessário antes de realizar a impermeabilização, para fazer a escolha correta do sistema, ser considerados as características da estrutura, sua exposição às intempéries e a ação da água sobre a mesma (RIGHI, 2009).

Figura 8: Classificação da impermeabilização quanto à movimentação das estruturas.



Fonte: Vedacit, 2010.

A impermeabilização rígida é utilizada em estruturas que não estão expostas a mudanças de temperatura, é um sistema que não apresenta flexibilidade, portanto, sendo indicado para estruturas onde não se encontrem fissuras ou trincas, limitando sua utilização a estruturas pequenas ou estáveis, como por exemplo, poço de elevador, vigas baldrames, piscina e reservatório enterrado. É formada por produtos que utilizam cimento, como argamassa ou concreto com aditivos hidrófugos, cimentos cristalizantes, entre outros (SENA et al, 2020).

A impermeabilização flexível é indicada para estruturas que conseguem absorver as movimentações estruturais, de maneira que não sejam capazes de apresentar fissuras ou outras falhas (SENA et al, 2020). Neste grupo se encontram as membranas moldadas no local e as mantas pré-fabricadas.

A NBR 9575 (ABNT, 2010), também classifica os tipos de impermeabilização de acordo com o material constituinte principal da sua camada impermeável:

- cimentícios;
- asfálticos;
- poliméricos.

Patologias ocasionadas pela falta ou falha na impermeabilização

Identificar quais patologias são ocasionadas devido à falta ou falha da impermeabilização é fundamental para determinar quais sistemas serão adotados de forma eficiente e que garanta e prolongue a vida útil de uma edificação. Moraes (2008) cita que realizar a reexecução total da impermeabilização é uma solução mais eficaz, visto que executar reparos localizados podem frequentemente gerar em métodos falhos.

Belon (2019), destaca as principais manifestações patológicas ocasionadas pela umidade:

– Infiltrações

Ocorre quando a água penetra no edifício, por meio do telhado, janelas, paredes, ou abaixo do nível do solo, devido à pressão entre o exterior do edifício e seu interior, que influi na entrada de água, ou ainda, pela ação da gravidade;

– Manchas

Aparecem manchas características devido à saturação de água nos materiais sujeitos a umidade, com posterior deterioração, podem ter várias origens, como, proveniente do telhado, lajes de cobertura e terraços, vazamentos;

– Mofo ou bolor

É a formação de fungos que podem causar a deterioração dos materiais, normalmente são identificados pelo exame visual e geralmente são localizados perto ou na fonte da infiltração. Aparecem e se desenvolvem em

diversos tipos de materiais, como, tintas, vidros, argamassas e materiais cerâmicos;

- Eflorescência

São manchas brancas que se depositam nas superfícies dos materiais, formando sais solúveis, que são conduzidos pela umidade que os atravessa.

- Criptoflorescência

Na criptoflorescência também é ocasionado formações salinas da mesma maneira que na formação das eflorescências. Nesta patologia formam-se grandes cristais que se fixam no interior da estrutura, ocasionando um aumento de volume do material, e por fim, a desagregação dos materiais.

- Corrosão de armaduras

É uma das principais causas de deterioração de armaduras no concreto, ocorre com a liberação de íons no ambiente e com a movimentação de elétrons no material.

Sistemas que requerem impermeabilização

Para garantir a durabilidade de uma edificação e de seus sistemas é necessário que ocorra uma correta execução dos processos de manutenção. De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a vida útil de uma edificação é o período de tempo que os elementos de um edifício levam para desempenhar as funções para as quais foram projetados.

A vida útil de uma construção e até mesmo o conforto dos usuários podem ser afetadas pela ausência ou a má execução do sistema de impermeabilização, além de ocasionar reparos e reformas com custos altos (IBI, [2020?]).

Desenvolvimento do projeto de impermeabilização

Realiza-se a análise dos locais mais afetados por fluídos na residência, em seguida executa-se o projeto de impermeabilização dessas áreas a fim de detalhar o processo. Como parte do projeto de impermeabilização será descrito e detalhado os materiais utilizados, bem como suas especificações, recomendações e métodos de aplicação.

Segundo Arantes (2007), ao especialista detalhar o projeto de impermeabilização, não se deve preocupar apenas com o desempenho isoladamente do material que será aplicado, e sim como este material procederá com o conjunto.

O autor supracitado ainda frisa que ao elaborar o projeto, faz-se necessário o fornecimento da maior quantidade possível de dados para quem executar a obra, e o repasse de normas e classificações ao contratante para uma melhor fiscalização das atividades exercidas.

Como já comentado, o projeto de impermeabilização está relacionado à durabilidade da edificação. É necessário o detalhamento dos produtos a

serem utilizados bem como a forma de execução adequada para cada caso na obra, como afirma Righi (2009). O autor alega que o ideal é que o projeto arquitetônico seja desenvolvido em paralelo ao de impermeabilização possibilitando adotar conceitos básicos já no início da concepção da proposta.

Os principais fatores a serem analisados na hora da escolha do sistema de impermeabilização são: pressão hidrostática, frequência de umidade, insolação sobre a superfície, atuação de cargas, movimentação da base e extensão da aplicação. (BARROSO et al. 2015).

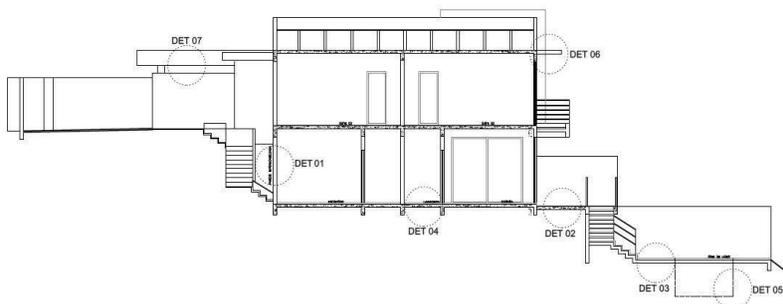
Para especificar os pontos acima elencados são apresentados os cortes das residências onde são detalhados os pontos que requerem um processo de impermeabilização detalhado. Seguindo as recomendações feitas pela ABNT NBR 9575:2010 foram elaborados os seguintes itens de projeto:

- Definição das áreas a serem impermeabilizadas;
- Definição dos sistemas impermeabilizantes a serem aplicados;
- Planta de localização com a demarcação dos sistemas de impermeabilização;
- Detalhes específicos e genéricos das soluções adequadas;
- Memorial descritivo dos materiais utilizados;
- Memorial descritivo dos procedimentos de execução.

Nos capítulos e subitens anteriores foram descritos métodos, materiais e aplicação dos sistemas de impermeabilização e explicado detalhadamente os tipos de impermeabilizantes.

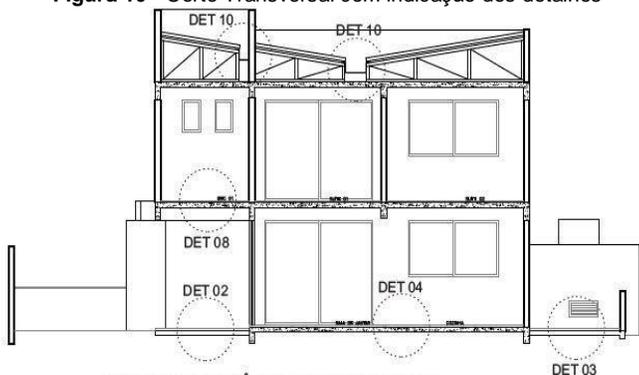
A figura 09 e 10, demonstram que na mesma residência é necessário o uso de vários sistemas de impermeabilização para garantirmos a estanqueidade de toda a estrutura.

Figura 09 - Corte Longitudinal com indicação dos detalhes



Fonte: Cristiane Compagnoni, adaptado pelo autor, 2021

Figura 10 - Corte Transversal com indicação dos detalhes



Fonte: Cristiane Compagnoni, adaptado pelo autor 2021

Nesta etapa do projeto utilizar-se-á dos subitens contidos na ABNT NBR 9574:2008 de Execução da Impermeabilização. Também será empregada as especificações contidas na ficha técnica do produto impermeabilizante.

De acordo com subitem 4.3.13.1 da ABNT NBR 9574:2008, referente a preparação do substrato das mantas asfálticas, tem-se que este deve estar firme, coeso, seco, regular e isento de corpos estranhos.

Tendo como base a Figura 11 deve-se fornecer os detalhes necessários para a correta implementação da impermeabilização na viga baldrame através de um memorial detalhado da aplicação da manta asfáltica.

Na sequência tem-se a aplicação da manta asfáltica de acordo com o manual técnico fornecido pelo fabricante.

Fundações – vigas baldrames

As vigas baldrame estando em um nível em que ocorre o constante contato com o solo úmido deve-se realizar a impermeabilização a fim de evitar as infiltrações devido a umidade ascendente do solo, está detalhada anteriormente, a qual pode acarretar insalubridade nos ambientes da residência.

Pelo fato das vigas baldrames estarem constantemente em contato com a umidade proveniente do solo, segundo Queruz (2007), são as principais responsáveis pela propagação desta através das alvenarias por capilaridade.

Esta região a ser impermeabilizada na viga baldrame deve ser estudada de forma detalhada, pois em casos de falhas no processo de impermeabilização descrito, é um local de difícil acesso e após a conclusão da residência, ocasionará dano irreparável.

Neste caso, ao longo do tempo, as impermeabilizações com argamassas rígidas demonstraram resultados insatisfatórios. A umidade por capilaridade advinda de fundações acaba sendo irreparável, assim o

projetista deve especificar uma impermeabilização comprovadamente eficiente. (PIRONDI, 1992).

Assim, adota-se a impermeabilização das vigas baldrame com tinta asfáltica, conforme figura 11, por ser uma impermeabilização flexível, esta trabalha em conjunto com as deformações e movimentações da estrutura.



Fonte: Cristiane Compagnoni, adaptado pelo autor 2021

Execução do Sistema

A tinta asfáltica protetora e impermeável, é destinada a impermeabilização de estruturas em contato direto com o solo, por isso será utilizada para as vigas baldrames.

Superfícies de concreto ou madeira, devem ser limpas para eliminar qualquer impureza e estarem devidamente secas, para a correta utilização do produto. Para uso como impermeabilizante, a primeira demão deve ser aplicada sem diluição, com auxílio do rolo de lã de carneiro, vassoura de pelo macio ou pincel. A segunda demão deve ser farta, sempre respeitando tempo de secagem de 1 a 2 horas, variando com a ventilação, temperatura local e recomendações do fabricante.

Vigas baldrames – Tratamento para umidade ascendente em paredes.

As vigas baldrames são elementos estruturais de concreto armado que tem a função de transferir as cargas dos elementos construtivos para as fundações. Segundo Rosseto (2016), também conhecida como viga de fundação, podem ser consideradas uma fundação direta ou rasa e normalmente encontram-se abaixo do nível do solo, e por esse motivo estão sujeitas a ação da umidade que podem atingir as alvenarias de vedação por capilaridade.

Um dos problemas mais comuns causados pela falha ou inexistência da impermeabilização das vigas baldrames é a ocorrência de manchas e fissurações na base das alvenarias de vedação, sendo este problema causado pela umidade do próprio solo, que percolam as estruturas por ascensão capilar, sendo demonstrado na figura 12 (SENA et al, 2020).

Figura 12: Manchas e fungos devido à umidade ascensional



Fonte: Sena et al, 2020

Righi (2009) apresenta duas soluções a serem utilizadas quando não existir impermeabilização na viga baldrame ou por falhas na impermeabilização da mesma, que são: correção para alvenaria de tijolos maciços e correção para alvenaria de tijolos furados.

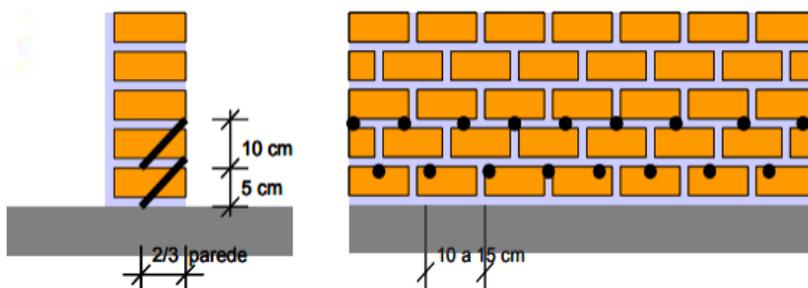
A solução descrita para alvenaria de tijolos maciços é a aplicação de cristalizantes, que terá a função de fechar os poros do substrato e impedir a umidade ascensional. Os cristalizantes são classificados como impermeabilizantes rígidos, são formados à base de cimentos especiais e aditivos minerais que entram nos capilares das estruturas por penetração osmótica, produzindo um gel que se cristaliza, na qual incorporam aos elementos compostos de cálcio estáveis e insolúveis (DENVER, 2008 apud RIGHI, 2009).

De acordo com Abatte (2003, apud RIGHI, 2009), para correção em alvenaria de tijolos maciços, a aplicação do cristalizante deve seguir as seguintes etapas:

- Delimita-se a área a ser tratada, que deve possuir uma altura de 1 m em relação ao piso; – retira-se todo o revestimento da área que será tratada;
- Executa-se duas linhas de furos, uma a 10 cm do piso e outra a 20 cm, sendo que os furos devem apresentar uma inclinação de 45°;
- Saturam-se os furos com água;
- Aplica-se o produto por gravidade;
- Executa-se novamente o revestimento da área tratada, e para obter um melhor desempenho, utiliza argamassa com aditivo hidrófugo.

O manual técnico dos produtos da Denver (2014), apresenta na sua metodologia de aplicação, que o revestimento existente pode ser retirado a uma altura de aproximadamente 50cm do piso, sendo executados com o uso de uma furadeira elétrica, onde a primeira linha de furos deve estar a 5 cm de altura e a segunda linha a 15 cm de altura. A Figura 13 apresenta a seqüência e espaçamentos das perfurações onde serão aplicados os cristalizantes.

Figura 13: Espaçamento dos furos para a aplicação do cristalizante



Fonte: Denver, 2014

Para a correção das infiltrações presentes em alvenaria de tijolos furados, utiliza-se argamassa polimérica e argamassa com aditivo hidrófugo. Righi (2009), apresenta o seguinte procedimento:

- Delimita-se a área a ser tratada, que deve possuir uma altura de 30 cm em relação ao piso;
- Retira-se todo o revestimento da área que será tratada;
- Regulariza-se o substrato com argamassa desempenada, e aplica-se uma demão da argamassa polimérica;
- Aplica-se mais três demãos, totalizando quatro demãos ao total, conferindo um intervalo de seis horas entre cada aplicação;
- Executa-se novamente o revestimento da área tratada, e para obter um melhor desempenho, utiliza argamassa com aditivo hidrófugo.

Vigas baldrames – Formas de correção

De acordo com Ripper (1996, apud ALVES; MELO, 2017), para uma efetiva eliminação da umidade decorrente da falta ou falha da impermeabilização das vigas baldrames, a substituição do revestimento por um novo com aditivo impermeabilizante não elimina a umidade, funciona apenas como uma solução de curta duração. Na qual elenca as seguintes etapas de execução para correção:

- Executam-se rasgos na alvenaria de aproximadamente 15 cm de altura e 1m de comprimento alternando com 80 cm de distância entre cada rasgo;

- Retira-se a impermeabilização existente, fazendo a limpeza e regularizando os alicerces (vigas baldrame, fundações, ou qualquer base da alvenaria);
- Aplica-se uma nova impermeabilização em toda a extensão do rasgo;
- Executa-se de camada de proteção de argamassa de cimento e areia, traço 1:4, e reconstrução da alvenaria com tijolos recozidos ou prensados no comprimento do rasgo, atentando para a devida realização do encunhamento com a alvenaria acima;
- Executa-se dos rasgos nos 80 cm alternados entre os espaços já reparados, repetindo-se o procedimento anterior realizando a impermeabilização com um transpasse de 10 cm nas impermeabilizações já executadas, em cada lado;
- Repete-se os procedimentos anteriores realizados nos outros rasgos, concluindo o fechamento da parede;
- Retira-se o revestimento úmido que existe acima da área reconstruída e deixa secar a alvenaria descoberta;
- Realiza-se o revestimento interno com emboço sem aditivo impermeabilizante, para permitir que a alvenaria respire, no revestimento externo recomenda-se utilizar no emboço um aditivo impermeabilizante para melhorar a proteção da alvenaria.

Paredes enterradas – Formas de correção

As paredes são um tipo de estrutura que podem ser construídas de modo a ficarem em contato direto com o solo, como por exemplo, os muros de arrimo. Este tipo de estrutura enterrada normalmente apresenta muitos problemas relacionados à umidade.

As alvenarias ou o concreto, não possuem propriedades, que por si só, impeçam a ação da água de aterros. Com isso os sais contidos na água do solo se depositam nas paredes, Figura 14, e com o passar do tempo, acumulam-se e cristalizam-se, degradando as paredes e os revestimentos, além de tornar os ambientes insalubres (QUARTZOLIT, 2020).

Figura 14: Degradação de alvenaria

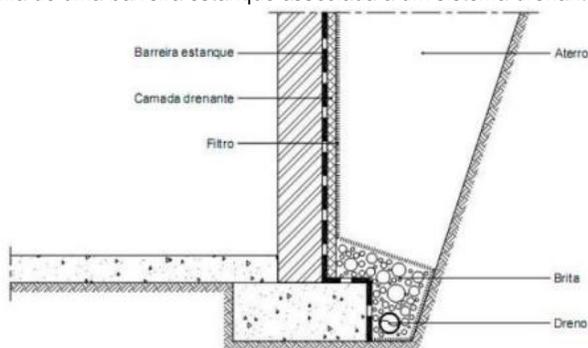


Fonte: Quartzolit, 2020

Conforme apresenta Righi (2009), normalmente existe pouco espaço para a execução de impermeabilização em paredes enterradas, logo, os sistemas mais adequados para este tipo de situação, são as membranas acrílicas ou com argamassas modificada com polímeros, ambos os sistemas devem ser aplicados no mínimo em três demãos. Outro sistema que pode ser utilizado, são as mantas asfálticas, tendo neste caso a necessidade de executar proteção mecânica, para proteção da impermeabilização.

Ainda, de acordo com Righi (2009) é necessário executar um sistema de drenagem, criando uma barreira entre o sistema impermeabilizante e o solo, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Esquema de uma barreira estanque associada a um sistema drenante/filtrante.



Fonte: Freitas (2003, apud RIGHI, 2009)

Lajes – Formas de correção

Lajes são elementos estruturais que tem a função de receber as cargas permanentes e acidentais e transmitir esses esforços para as vigas e pilares. As lajes são elementos mais suscetíveis à infiltração por terem uma área de superfície maior, além de que, em alguns casos podem estar expostas diretamente à umidade, como as lajes de cobertura.

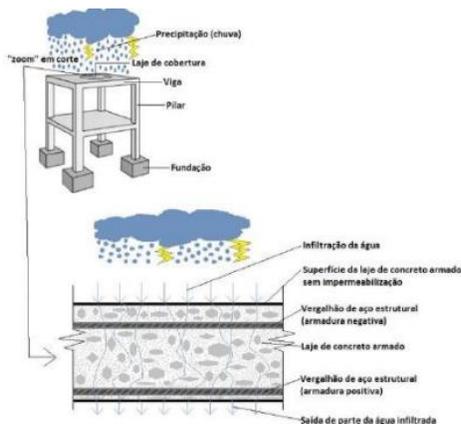
O concreto, por ser um material permeável, permite que água se infiltre caso não possua algum sistema de impermeabilização, tornando essa característica um dos principais problemas em estruturas e coberturas de concreto armado, Figura 13 (SENA et al, 2020).

A corrosão de armaduras é um dos processos com maior incidência nas estruturas de concreto armado, e para que venha acontecer é necessário um conjunto de fatores que tornam o ambiente favorável, que são: presença de água, de ar, área anódica, área catódica, condutor metálico (armadura), e um eletrólito (solução aquosa no concreto) (SENA et al, 2020).

As lajes podem ser do tipo acessíveis ou de cobertura, segundo Righi (2009) em ambos os tipos de lajes, acessíveis ou não, é recomendado o uso de mantas asfálticas, por ser um material pré-fabricado e possuir espessura constante, eliminando a etapa de secagem, e, portanto, acelerando o processo da impermeabilização. Sendo necessário, nas lajes de acesso,

além de utilizar mantas mais resistentes, a colocação de uma proteção mecânica sobre a mesma.

Figura 16: Estrutura de concreto armado sem impermeabilização.



Fonte: Sena et al, 2020

Segundo Righi (2009), antes de resolver o problema de impermeabilização em lajes de cobertura, deve-se analisar se a falha é localizada ou se houve deterioração total do sistema impermeabilizante, de acordo com o autor, caso o problema for uma falha localizada, utiliza-se o mesmo material que apresenta a falha para corrigir a impermeabilização. Caso haja a necessidade de haver uma reimpermeabilização total na laje, para qualquer tipo de sistema impermeabilizante escolhido, deve-se seguir as seguintes etapas:

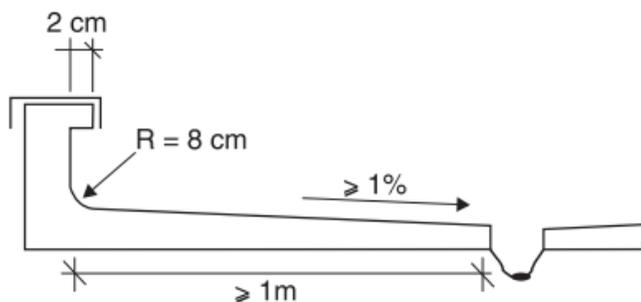
- Remoção do piso da laje;
- Remoção da impermeabilização antiga até atingir a laje;
- Regularização e arremates necessários;
- Execução de juntas necessárias;
- Nova impermeabilização;
- Teste de estanqueidade;
- Execução de proteção mecânica;
- Novo piso;
- Reposição dos revestimentos danificados.

Caso a laje em que apresenta infiltrações ou outros problemas relacionados à umidade não possua um sistema de impermeabilização, as mesmas etapas descritas anteriormente deverão ser seguidas, com exceção da segunda etapa.

De acordo com o IBI (2020), caso apareçam problemas de vazamentos em lajes após concluída a obra, as seguintes etapas devem ser realizadas:

- remover o contrapiso e tratar as trincas;
- retirar o revestimento das paredes até a altura de 30cm para que a impermeabilização suba pelos rodapés;
- regularizar a laje com argamassa impermeabilizada (cimento-areia, traço 1:4);
- executar um caimento mínimo de 1% em direção aos ralos, a impermeabilização deve descer 10 cm nos ralos;
- arredondar os rodapés em forma de meia cana, Figura 17;
- aplicar membrana asfáltica;
- executar proteção mecânica contra raios solares e tráfego de pessoas e veículos, formada por um composto adesivo (cimento, areia, água e adesivo para argamassa) e, após, aplicar argamassa com espessura de 3 cm e juntas de dilatação devidamente espaçadas.

Figura 17 - Detalhe dos cantos arredondados.



Fonte: Vedacit, 2010.

Reservatórios – Formas de correção

Os reservatórios são estruturas construídas com o objetivo de armazenar água, podendo ser construídas de concreto armado. Segundo Souza (2008), vazamentos nestes tipos de estruturas frequentemente apresentam manchas ou estalactites de carbonato, figura 18, que podem indicar o local de vazamento, geralmente o fluxo de água irá se apresentar nas juntas de concretagem, ainda segundo o autor, caso as manchas aparentem forma circular ou em elipse, normalmente o vazamento encontra-se no centro do reservatório, e caso surjam manchas lineares é uma indicação de que há fissuras na impermeabilização.

A própria água armazenada nestas estruturas pode danificá-la e penetrar no concreto, e o cloro adicionado no líquido pode prejudicar o aço presente no reservatório, figura 19, tornando assim, a impermeabilização nestas estruturas indispensável para evitar as infiltrações e a formação de fissuras e vazamentos.

Figura 18: Estalactite em fundo de caixa d'água.



Fonte: Sena *et al*, 2020.

Figura 19: Corrosão de armaduras em fundo de caixa d'água.



Fonte: Sena *et al*, 2020.

Righi (2009) apresenta que para a solução de vazamentos em reservatórios é importante refazer toda a impermeabilização para garantir sua estanqueidade. Sendo primeiramente necessário analisar qual o tipo de reservatório, se é elevado ou enterrado, para assim definir se a impermeabilização escolhida será flexível ou rígida, visto que, em reservatórios enterrados pode-se empregar impermeabilização do tipo flexível desde que seja executado junto ao sistema uma tela de poliéster para prevenir problemas relacionados a movimentação na estrutura. As etapas seguintes devem ser executadas para qualquer tipo de sistema impermeabilizante adotado:

- Remoção da impermeabilização antiga;
- Limpeza do reservatório;
- Regularização e arremates necessários;

- Nova impermeabilização;
- Recuperação do revestimento danificado

DISCUSSÕES

A seguir, serão descritos os principais locais que requerem o processo de impermeabilização implantado para evitar problemas de infiltração, bem como as principais aplicações e limitações. Também mencionamos os casos de problemas de impermeabilização que foram estudados, com indicações de causas e soluções, e o processo mais adequado para cada caso.

Tendo uma grande variedade de produtos com características diferentes, é improvável que apenas um tipo de produto possa ter um desempenho satisfatório. As soluções impermeáveis estudadas são apenas algumas das disponíveis, embora sejam as mais comuns e, portanto, as mais utilizadas e difundidas.

Caso I – Estruturas Subterrâneas

Estruturas enterradas são todas as estruturas que estão em contato permanente com a terra e a contêm. Por exemplo, podemos citar os muros de contenção.

As estruturas subterrâneas geralmente sofrem com a ausência de tratamento eficaz contra a umidade, resultando em infiltração e degeneração do revestimento.

Gabrioli (2002) enfatiza que na maioria das vezes os sistemas de impermeabilização ficarão enterrados, com sérios obstáculos técnicos e funcionais para a correção de defeitos, a impermeabilização deve ser projetada para durar a vida útil prevista para a construção.

Paredes subterrâneas podem, em algumas situações, apresentar problemas causados pela infiltração de água da Terra, que podem ter como consequência, segundo Freitas (2003):

- Degradação do revestimento da parede interna;
- A formação de eflorescências ou criptoflorescências;
- Fluxo e acumulação;
- Corrosão de elementos metálicos;
- Desenvolvimento microbiótico;
- Deterioração dos materiais armazenados.

Soluções a serem utilizadas em problemas de impermeabilização em paredes enterradas

É importante dizer que muitas vezes é impossível realizar a impermeabilização do lado de fora da estrutura, e esta é certamente a solução mais eficaz. Por outro lado, existem produtos que pelas suas propriedades e características não devem ser aplicados no interior das

habitações, pois não suportam pressões negativas, de fora para dentro, resultando no desprendimento do sistema impermeabilizante do suporte.

Solução através da parede externa

Como geralmente há pouco espaço para a impermeabilização, os melhores sistemas são membranas acrílicas ou com argamassa modificada com polímero, devendo ser aplicadas pelo menos três demãos do produto. Podem ser utilizadas tampas asfálticas, tomando-se o cuidado de realizar uma proteção mecânica para que o aterro ou drenagem que se efetua em contato com a parede não danifique o sistema.

Associado ao sistema de impermeabilização, deve ser implantado um sistema de drenagem, que fica localizado entre o aterro e a impermeabilização.

Solução através do interior da parede

No caso de uma solução de dentro, segundo Gabrioli (2002), a drenagem da água subterrânea deve ser feita em conjunto, por meio de pontas de filtro, poços de drenagem, drenos horizontais ou outros meios.

Para eliminar a infiltração, de acordo com IBI (2009), os seguintes procedimentos devem ser realizados:

Limite a área tratada marcando uma faixa com um metro de altura acima do nível do solo ao longo de todo o comprimento da parede onde a umidade aparece;

Nesta área limitada, qualquer revestimento superficial da parede deve ser removido, expondo a alvenaria;

Fechar as irregularidades com argamassa bem tratada;

Com a parede molhada, aplique uma camada de argamassa polimérica.

Após um intervalo de seis horas entre cada demão, aplicar três demãos adicionais, totalizando quatro demãos.

Após a impermeabilização da parede, o revestimento é executado novamente. Para melhor desempenho, uma argamassa com aditivo impermeabilizante deve ser utilizada neste revestimento.

Uma vez resolvido o problema, deve-se evitar perfurações no revestimento tratado, como colocar rodapés no ambiente, pois isso pode danificar a impermeabilização e permitir o retorno do problema.

Caso II – Fundações

Um dos casos mais comuns de problemas relacionados à infiltração de água ocorre através dos capilares das fundações.

O tratamento é necessário apenas em fundações retas, como baldrame e radiadores, para evitar aborrecimentos futuros, especialmente os estéticos.

Segundo Marques (2005), o tratamento cuidadoso das fundações não requer grandes investimentos ou mesmo execuções muito complexas, pois existem diversos materiais no mercado que tornam as opções acessíveis para todos os tipos de fundação.

A aplicação do sistema de impermeabilização deve ser antecipada, evitando imprevistos e garantindo um serviço bem executado.

Soluções para serem utilizadas em problemas de impermeabilização de fundações.

Se não houver boa resistência à água, o custo do reparo será muito mais alto. Segundo Marques (2005), as intervenções mais comuns são feitas por injeção de impermeabilizantes ou por argamassa polimérica, dependendo do material utilizado na execução das paredes, tijolos maciços ou perfurados.

Caso III – Boxes de banheiro

As caixas não estão expostas a grandes variações de temperatura. Na maioria das vezes as únicas medidas são na execução da laje, cuidando para uma boa cura e sua impermeabilização feita somente com cerâmica e um bom acabamento de silicone na borda do tubo de esgoto. Este tipo de execução não deve ser considerado um sistema impermeável, pois se trata de uma área molhada, deve ser impermeável.

Para melhor desempenho, algum tipo de sistema à prova d'água deve ser aplicado na caixa. Não é necessário impermeabilizar o resto do banheiro, exceto no caso das banheiras de hidromassagem, que por ser uma área mais úmida que o chuveiro, requerem maior atenção em relação à impermeabilização.

Pousa (2002) recomenda que antes de iniciar o banheiro impermeabilizante, seja pesquisado o projeto arquitetônico de marcação das paredes, seguido do projeto das instalações hidráulicas e elétricas para marcação e ancoragem de tubulações.

Se o banheiro for fechado com gesso cartonado, os pontos críticos para a impermeabilização são as juntas entre os painéis e o encontro do piso com a parede.

Segundo Pousa (2002), diferentes tipos de impermeabilizantes podem ser utilizados em banheiros, como argamassas poliméricas, asfalto ou membranas acrílicas e mantas asfálticas. No caso de argamassas poliméricas e membranas acrílicas, deve-se utilizar tela de poliéster na aplicação do produto.

Soluções para serem utilizadas em problemas de impermeabilização de cabines de banheiro.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a caracterização da ação da água em residências unifamiliares, o que pode ser resultante em ocorrências

patológicas, como forma de justificar a prevenção por meio da impermeabilização das obras.

A grande preocupação no que tange a concepção da impermeabilização, um componente das obras, é o fato de não receber, na maioria dos casos, quando se trata de edificações residenciais, objetivo de nossa pesquisa, a devida importância, resultando em aparições de defeitos que, em grande parte dos casos, são corrigidos, quando possíveis, a um valor superior ao que provavelmente seria gasto no momento de construção, ou seja, é realizada uma tentativa de economia nesta etapa, porém ao se tratar de uma situação errônea, acaba levando a prejuízos financeiros futuros, além de desgastes na relação construtor-cliente e em alguns casos, danos à saúde.

Portanto, este trabalho visa-se a melhorar a qualidade das residências ao se efetuar a etapa responsável pela impermeabilização, e de forma correta, através de informações que levem, além da conscientização dos profissionais envolvidos na construção civil, apresentar também conhecimento técnico para o entendimento da necessidade de se planejar e executar esta importante etapa construtiva.

O usuário final também tem importância na fase de manutenção da impermeabilização, evitando qualquer tipo de utilização que possa danificar a mesma e realizando inspeções periódicas para verificar a estanqueidade do sistema com o passar do tempo. A não realização de manutenções caracteriza-se em uma falha no processo e patologias poderão surgir.

Concluindo, a impermeabilização é uma importante etapa de uma obra e não pode ser relegada, devendo ser prevista em projeto e por um profissional com o conhecimento técnico para poder indicar a melhor solução, executar corretamente e supervisionar o serviço. Se isso não acontecer, será mais oneroso executar a impermeabilização e os possíveis reparos que serão necessários, além de trazer transtornos aos usuários da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. GUERRIN, ROGER C. L. Tratado de Concreto Armado. Tradução de Carlos Antonio Lauan.

ALVES, Leone Silveira; MELO, André Silva de. Patologias em residencial multifamiliar proveniente da ausência de impermeabilização: estudo de caso Edifício Moradas do Sol – Imbituba/SC. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Tubarão, 2017.

APOLINÁRIO, M. S. Danos causados por falhas na resistência à água de infraestrutura de residências unifamiliares com área de até oitenta metros quadrados. 2013, 14 p. Artigo (Pós-Graduação em Avaliações e Competências de Engenharia - IPOG). Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

ARANTES, Y.K. Uma Visão Geral sobre Impermeabilização na Construção Civil. Belo Horizonte, Brasil, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Elaboração de projetos de Edificações- Arquitetura. NBR13532. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575 - Resistência à água - Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 15575-1: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 9574: Execução de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 9575:

ATIVOS DE ENGENHARIA. Resistência à água da tampa. Goiás, 2018. Disponível em: Acesso em: 23/09/2021.

BARROS, C. Apostila de Fundações - Técnicas Construtivas. Pelotas, 2011. Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

BARROSO, G.F.; MENESES F.M.C. Sistemas de Impermeabilização (Ênfase em Manta Asfáltica). Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 5, p. 42-57. Brasil, 2015.

BASTOS, C. L; KELLER, V. Aprendendo a aprender. Petrópolis: Vozes, 1995.

BELON, Karine. Principais manifestações patológicas ocasionadas pela umidade: uma revisão bibliográfica. In: Simpósio Paranaense de patologia das construções, nº 4, 2019, Curitiba. Artigo. Curitiba: 4SPPC114, 2018, p. 112-123.

BERTOLINI, L. (2016). Materiais de Construção. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos.

BOTELHO, M. H. (2015). Concreto armado eu te amo, volume 2. São Paulo: Blucher.

CAIXA. SINAPI – Sistema Nacional de Índices da Construção Civil. Referência CARDOSO, I. (2010). Revista Arqitetonline (3ª ed.). (M. Balzano, Ed.) Arqitetonline.

CASIMPER. Sistemas de Impermeabilização na Construção Civil. 2014. Disponível em: Acesso em: 23/09/2021.

CEARÁ. Secretaria Estadual de Infraestrutura. Tabela de Custos – 2021.

COMPAGNONI, Cristiane. Cris Compagnoni Arquitetura. 2018

CONSELHOS AVANÇADOS. Sistemas de impermeabilização precisam ser considerados desde a fundação do imóvel. Cuiabá, 2018. Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

CORRÊA, R. S. (2019). POR QUE ALGUMAS OBRAS DÃO CERTO E OUTRAS NÃO? São Paulo: Oficina de Textos.

CUNHA, A.G.; NEUMANN, W. Resistência à água manual e isolamento térmico. Rio de Janeiro: Texsa Brasileira, 1979. 227p. Disponível em: Acesso em: 23/09/2021.

DARIDO, S. C., & SOUZA JÚNIOR, O. M. (2007). Para Ensinar Educação Física: possibilidades de intervenção na escola. Campinas: Papirus.

DENVER. Manual técnico – cristalizantes e bloqueadores. 2014. Disponível em: <http://www.denverimper.com.br/>. Acesso em 14 fev. 2021.

DESLAURIERS, J. & KÉRISIT, M. O delineamento de pesquisa qualitativa. In: POUPART, Jean et al. A pesquisa qualitativa: Enfoques epistemológicos e metodológicos. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008 (p. 127/153).

Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, jul. 2013.

ERTEL, Tiago. Análise do Comportamento Estrutural de Edifícios em Concreto Armado Considerando a Influência do Travamento das Vigas Baldrame. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia Curso de Engenharia Civil, Santa Maria – RS, 2016.

FERNANDES, M. d. (2011). Mecânica dos Solos. Porto: FEUP.

GABRIOLI, J.; THOMAZ, E. Impermeabilização de fundações e solos. Técnica, São Paulo, n. 67, p, 77-80, out. 2002.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

IBI. Como evitar vazamento em lajes? Orientação técnica. [202-]. Disponível em: <https://ibibrasil.org.br/biblioteca-zeno-pirondi/>. Acesso em 19 fev. 2021.

IBI. Diretrizes para elaboração do manual de uso, operação e manutenção da impermeabilização. [202-]. Disponível em: <https://ibibrasil.org.br/biblioteca-zeno-pirondi/>. Acesso em: 11 fev. 2021.

IBI. Guia de aplicação da norma de desempenho para impermeabilização. [2020?]. Disponível em: <https://ibibrasil.org.br/biblioteca-zeno-pirondi/>. Acesso em: 11 fev. 2021.

IMPERMEABILIZAÇÃO – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, nov. 2010.

IMPERMEABILIZAÇÃO. Rio de Janeiro, dez. 2008.

INSTITUTO DE PROTEÇÃO DA ÁGUA. As patologias mais comuns devido à falta de resistência à água. São Paulo, 2018. Disponível em: Acesso em: 23/09/2021.

MARLON, K. (s.d.). Fundamentos Da Mecânica Dos Solos. Forte da Casa, Portugal: ESCOLAR.

MARQUES, R. Proteção subterrânea. Técnica, São Paulo, n. 96, p. 48-49, mar. 2005.

MOHAMAD. (2015). CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL. São Paulo: Blucher.

MORAES, Claudio Roberto Klein. Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre. 2002. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2002.

PINTO, Carlos D. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3ª. ed.

PINTO, J.A.N. Patologias de impermeabilização. Santa Maria: Multipress, 1996

PIRONDI, Zeno. Manual Prático da Impermeabilização e de Isolação Térmica. IBI/PINI, 2ª Edição, São Paulo, Brasil, 1992

PORCIUNCULA, E. As patologias de combate começam pela resistência à água. 2013

POUSA, S.C. Impermeabilização de banheiros. Técnica, São Paulo, n. 61, p. 69-71, abr. 2002.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico, 2ª Ed., Novo Hamburgo - RS, Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo - ASPEUR Universidade Feevale, 2013.

QUARTZOLIT. Como prevenir umidades em paredes ou estruturas em solos. Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/impermeabilizantesquartzolit/como-prevenir-umidade-em-paredes-ou-estruturas-em-solos>. Acesso em: 05 mar. 2021.

QUERUZ, Francisco. CONTRIBUIÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS AGENTES E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO EM EDIFICAÇÕES DA VILA BELGA. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Santa Maria, 30 NOVEMBRO 2007. 150.

RECENA, F. A. (2011). Conhecendo Argamassa (2ª ed.). (J. C. Costa, Ed.) Porto Alegre, RS, Brasil: EDIPUCRS.

RECENA, F. A. (2011). Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland (2ª ed.). Porto Alegre, RS, Brasil: EDIPUCRS.

RIGHI, Geovane Venturini. Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, RIGHI, GV. Estudo de Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Ajustes - Análise de Casos. Santa Maria: UFSM, 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

RODRIGUES, J, P, P; MENDES, M, M. Patologias decorrentes de infiltrações relacionadas a métodos de impermeabilização e correção. Tubarão: UNISUL, 2017.

ROSSETO, Fernando. A importância da impermeabilização das fundações rasas. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe – UNIARP, Caçador, 2006.

SALGADO, J. C. P. Técnicas de construção e práticas de construção. 2. vermelho. rev. São Paulo: Érica, 2009.

SALGADO, J. C. (2014). Técnicas e Práticas Construtivas: Da implantação ao acabamento. Saraiva Educação S.A.

SANTOS, J. A. B. Manifestações patológicas nas edificações: análise de suas ocorrências em relação ao projeto de impermeabilização. In: Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, nº 15, 2018, São Paulo. Anais. São Paulo: IBI, 2018.

SENA, Gildeon Oliveira de et al., (2020). Patologia das Construções. Salvador: 2BSILVEIRA, M. A. (2017). Manual do Construtor Especial (4ª ed.).

SOARES, F. A Importância do Projeto de Impermeabilização em Obras Civis. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 120 p. Artigo de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas em URZEDO, L. Resistência à água de vigas Baldrame. Brasil, 2017. Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

VEDACIT. Manual técnico: estruturas impermeáveis. 6. vermelho. São Paulo, 2010. Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

ZOTTIS. Umidade doméstica: que soluções existem? 2018. Disponível em: Acesso: 23/09/2021.

Alexandre Garcia Rodrigues

UNESA

Fabício Barbosa Freitas

UNESA

RESUMO

Ao longo das décadas temos observado uma alteração constante do clima terrestre e o aumento desordenado da população mundial ocasionando numa maior demanda de consumo dos recursos naturais e na degradação do meio ambiente o que a curto prazo representa um enorme risco de "apagões" principalmente no Brasil devido à escassez de água nos reservatórios, pouco investimento em fontes alternativas para geração de energia elétrica, isso sem falar da crise institucional que provoca o afastamento de investidores em nosso país, o alto índice de desmatamentos que afetam diretamente o clima local e a escassez de chuvas, sendo assim, fica evidente que a busca por soluções mais limpas e que beneficiem a sociedade brasileira como um todo faz-se necessária. O objetivo geral deste estudo é fazer uma análise crítico-reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para a crise energética Brasileira. Sendo assim, neste estudo faremos uso de quatro métodos distintos, mas que coadunam entre si. Inicialmente, realizamos uma pesquisa bibliográfica qualitativa acerca da temática em questão. Num segundo momento, fizemos a análise crítico-reflexiva dos dados levantados na pesquisa bibliográfica dando enfoque aos resultados obtidos pelos autores estudados e no material disponibilizado pelos órgãos reguladores do setor para compreendermos a importância da implantação e de incentivos dos sistemas de energia alternativos que beneficiem a sociedade e o país nos aspectos socioeconômicos e ambientais. Na sequência, discorreremos acerca dos sistemas ON-GRID (conectados à rede) e OFF-GRID (autossuficientes) e as vantagens e desvantagens da implantação de cada um desses sistemas de energia solar fotovoltaica. E, por último realizamos um estudo de caso da implantação do Sistema ON-GRID em uma residência unifamiliar no município do Rio de Janeiro, analisando o custo de implantação deste sistema bem como o tempo de retorno do investimento, para finalmente, chegarmos à conclusão sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como alternativa para a crise energética em nosso país.

Palavras-chave: crise energética; energia solar fotovoltaica; sistemas ON-GRID e OFF-GRID.

INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas temos observado uma alteração constante do clima terrestre e o aumento desordenado da população mundial ocasionando numa maior demanda de consumo dos recursos naturais e na degradação do meio ambiente.

Com o aquecimento global vem à tona a necessidade de buscarmos alternativas mais sustentáveis de consumo afim de não esgotarmos os recursos naturais não renováveis.

Segundo Freitas *et al* (2018):

O Brasil apresenta um excelente potencial para a inserção da energia solar fotovoltaica, com valores de radiação diária que variam de 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m², segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2000), o que o coloca em vantagem aos demais países que também buscam a implantação da energia solar como uma solução alternativa (FREITAS *et al*, 2018, p.4)

Na medida em que o Brasil é beneficiado pela grande incidência de irradiação solar durante o ano inteiro, percebemos a implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como uma alternativa para a crise do setor de abastecimento elétrico brasileiro que além de apresentar um impacto ambiental muito inferior ao sistema energético tradicional, apresenta ainda a captação da energia através de um recurso renovável e limpo pois não emite poluentes, gases ou materiais radioativos.

Conforme afirma Villalva (2017 apud Worby, 2018), *Energia solar é a energia renovável, produzida pela luz e o calor do sol, e pode ser usada por diversas tecnologias em constante evolução, considerada uma fonte de energia limpa e renovável, é a fonte de produção de energia que mais cresce no mundo.* (VILLALVA, 2017 apud WORUBY 2018. P.3).

Por sua localização geográfica e aos altos índices de radiação solar anuais no Brasil, a possibilidade da implantação de projetos solares torna-se uma excelente alternativa competitiva para a crise energética do nosso país, além do que contribuirá em muito com o compromisso nacional de diminuição na emissão de gases do efeito estufa (GEE).

No entanto, o afã por buscas de energias alternativas não se pode em momento algum se desviar da preocupação com o meio ambiente e o descarte dos resíduos e/ou as formas de reciclagem dos materiais utilizados para produção e manutenção, bem como a vida útil, como por exemplo dos painéis fotovoltaicos.

Afinal, segundo Kiddee *et al* (2013 apud COELHO e SERRA, 2018),

Um modulo fotovoltaico tem vida útil entre 25-30 anos e ao longo desse ciclo de vida completo, embora em menor grau do que as

fontes de energia tradicionais, as placas fotovoltaicas também criam resíduos sólidos. Uma das principais questões para o descarte das placas são, a falta de tecnologia adequada de recuperação e o risco de liberação de substâncias perigosas que podem contaminar o meio ambiente e ameaçar a saúde humana, se a fase de fim de vida não for gerenciada sagazmente (KIDDEE et Al, 2013 apud COELHO e SERRA,2018, p.84,85).

Desde o surgimento da humanidade, a raça humana sempre fez uso dos recursos naturais para se desenvolver.

As energias fósseis, antes abundantes e de valor reduzido possibilitaram um salto no desenvolvimento humano, entretanto, o aumento do consumo e o uso indiscriminado destes recursos, principalmente após revolução industrial foram esgotando as reservas existentes.

Com a crise do petróleo na década de 70, os países do mundo inteiro voltaram seu olhar para a questão energética e ao desenvolvimento e implantação de fontes de energia alternativas e que não prejudicassem o meio ambiente, a fim de preservar nossos recursos naturais.

Devido ao agravamento da crise energética atual impulsionado pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas, muito se tem investido na busca e na implantação de novas tecnologias que não somente sejam benéficas ao meio ambiente como também sejam uma solução a curto, médio e longo prazo para o abastecimento de energia elétrica em todo o planeta e que sejam viáveis economicamente.

No Brasil, nos deparamos com umas das maiores crises no setor elétrico de nossa história, com o nível de água em nossos reservatórios baixíssimos devido as secas e as mudanças climáticas que ocorrem principalmente pelas queimadas e pelos desmatamentos, o que ocasiona na diminuição da oferta de energia e no aumento constante das tarifas de energia.

Alves (2019) afirma que:

Em janeiro de 2019, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) registrou quatro recordes consecutivos de demanda por energia elétrica no país. Anterior a esses recordes, no ano de 2014, a demanda máxima chegou a 85.708 MW. Já no último recorde de 2019, a carga atingiu 90.525 MW. Esses altos valores de demanda devem-se às altas temperaturas registradas no país. (ALVES, 2019, p.52).

Embora nosso país possua um clima privilegiado para o aproveitamento em sistemas de energia solar fotovoltaica, o investimento neste setor ainda é muito pequeno, parte disso devido a pouca pesquisa relacionada ao tema em nosso país, a falta de incentivo e esclarecimento à população acerca do uso desta tecnologia e a instabilidade política que perpassa nossa nação o que afasta investidores.

Alves (2019) destaca que:

(...) a energia elétrica por meio da fonte solar não é apenas limpa e renovável, mas também mais competitiva, ampliando a diversificação do suprimento elétrico brasileiro, uma vez que o país é muito dependente de hidrelétricas e termelétricas fósseis. Por isso, os sistemas fotovoltaicos são um alívio para os reservatórios hídricos, além de reduzir a pressão para outros usos estratégicos, como suprimento humano, agricultura, irrigação e processos industriais. De forma complementar, reduz o acionamento de termelétricas fósseis, mais caras e poluentes, além de ajudar a diminuir os altos custos de energia elétrica para os consumidores e de colaborar na mitigação dos impactos do aquecimento global. (ALVES, 2019, p.64).

Mediante a atual conjuntura onde a demanda de energia é a cada dia mais crescente e os recursos hídricos a cada dia mais escassos, urge a necessidade do incentivo, investimento e implantação de Sistemas energéticos alternativos e o sistema solar de energia fotovoltaica surge, hoje mais do que nunca como uma alternativa não somente viável, como também capaz de garantir o abastecimento de toda população por se tratar da obtenção de energia através de um recurso renovável e inesgotável que é a irradiação solar.

As usinas solares servem ainda como “escudos de calor”, pois na medida em que convertem em energia elétrica grande parte da radiação solar, esta energia deixa de sobrecarregar outras superfícies.

Outro aspecto importante de observarmos é a questão dos custos, inicialmente investir em energia solar demandava um custo relativamente alto, mas na atualidade, com a redução dos custos no valor dos equipamentos, os sistemas de energia solar tornaram-se altamente competitivos com relação às outras fontes de energia, isso sem contar que o sistema de energia solar gera energia exclusivamente a partir da irradiação solar, um recurso ilimitado e que não implica na perfuração de poços, não polui o meio ambiente, não libera gases tóxicos na atmosfera.

Tendo em vista a crise energética atual no Brasil devido à escassez dos recursos hídricos e sendo o sistema fotovoltaico o mais utilizado no processo de aproveitamento da energia solar em todo o planeta, surge o questionamento acerca da viabilidade da implantação desse sistema em larga escala como uma possível solução para o déficit no abastecimento de energia elétrica em nosso país.

O objetivo geral deste estudo é fazer uma análise crítico-reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para crise energética brasileira.

Temos por objetivos específicos neste trabalho de pesquisa monográfico:

- Apresentar um breve histórico sobre o surgimento do sistema de energia solar fotovoltaica;
- Comparar os sistemas on-grid e off-grid, seus usos, aplicações, benefícios e desvantagens a curto, médio e longo prazos;

- Compreender a importância da implantação de sistemas de energia alternativos que beneficiem a sociedade brasileira como um todo, tanto nos aspectos socioeconômicos quanto ambientais;
- Apontar o sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa viável para a crise energética brasileira, tendo em vista a grande incidência de luz solar durante todo o ano no território brasileiro e a sua implantação em países mais desenvolvidos com sucesso.

Esta pesquisa justifica-se pois diante da crise na matriz energética brasileira que a curto prazo representa um enorme risco de "apagões" principalmente no Brasil devido à escassez de água nos reservatórios, pouco investimento em fontes alternativas para geração de energia elétrica, isso sem falar da crise institucional que provoca o afastamento de investidores em nosso país, o alto índice de desmatamentos que afetam diretamente o clima local e a escassez de chuvas fica evidente que a busca por soluções mais limpas que não prejudiquem o meio ambiente e beneficiem a sociedade brasileira como um todo faz-se necessária.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas de energia solar fotovoltaica (SESF)

O sistema de energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da irradiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico.

Conforme Maroso (2019, p.52), *“o efeito fotovoltaico acontece quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvida pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica”*.

Tal conversão ocorre em células fotovoltaicas produzidas a partir de diferentes tecnologias encapsuladas e unidas eletricamente para a formação de um módulo fotovoltaico utilizado como gerador de energia elétrica.

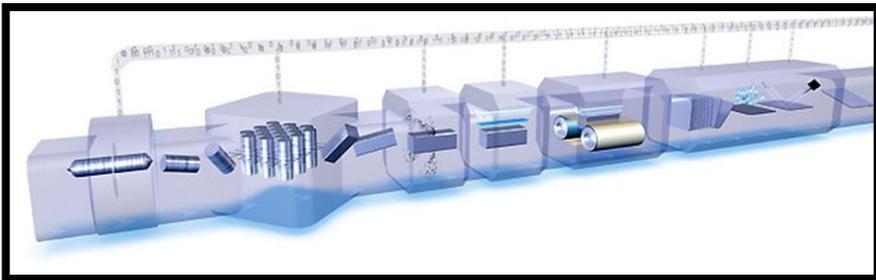
Cintra Júnior e Souza (2018), destacam que:

O efeito fotovoltaico pode ser observado em elementos conhecidos como semicondutores, que podem ser definidos como elementos que transitam energia de modo mais eficaz do que isolantes e de modo menos eficaz do que condutores, o fator que determina essa propriedade são faixas de valência (ou de energia) onde nota-se a presença de elétrons e zonas onde elétrons são totalmente ausentes, também conhecidas como faixa de condução, no meio dessas duas zonas encontra-se o hiato elétrico, sendo a dimensão desta que define se o material é um semicondutor. (CINTRA JÚNIOR e SOUZA, 2018, p.7)

Na atualidade as células fotovoltaicas mais utilizadas são as de silício que se classificam em silício cristalino, silício monocristalino, policristalino ou amorfo de acordo com a sua estrutura molecular.

As células fotovoltaicas mais comuns são as de silício cristalino (Figura1) compostas por “*fatias de lingotes de silício cristalino tratadas quimicamente para que possam produzir energia elétrica com a luz do sol por meio do efeito fotovoltaico*”. (PORTAL SOLAR, Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h).

Figura 1 - Célula de Silício Cristalino Comum



Fonte: Portal Solar, 2021.

As células de silício monocristalino (Figura 2) são as mais utilizadas como conversor direto de energia solar por serem mais eficientes, possuem cantos arredondados que são recortados em forma de octogonal e suas lâminas são cortadas a partir de lingotes cilíndricos através do processo Czochralskipeo que garante a alta porcentagem de pureza e menor densidade de imperfeições na rede, possui uma eficiência no entorno de 15% a 22%, devido a sua composição baseada em um único cristal de silício.

Figura 2 - Célula de Silício Monocristalino

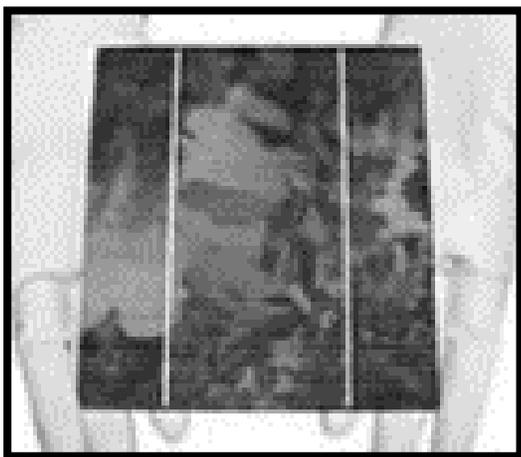


Fonte: Portal Solar, 2021.

As células fotovoltaicas de silício policristalino ou multicristalino (Figura 3) são mais baratas porque a sua produção não é realizada com tanta rigorosidade quanto as células de silício monocristalino e, embora utilizem silício purificado este é fundido em blocos.

Estas células não apresentam nem a mesma eficiência e nem a mesma pureza que as monocristalinas, entretanto são as comumente mais utilizadas em painéis fotovoltaicos.

Figura 3 - Célula de Silício Policristalino



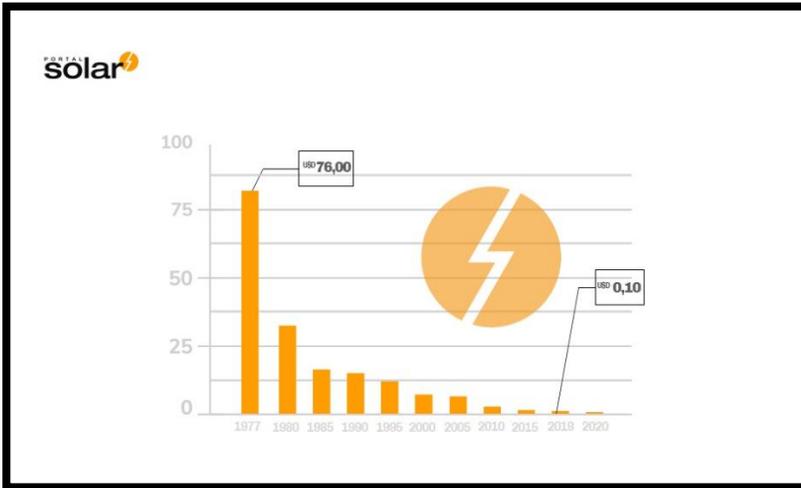
Fonte: Portal Solar, 2021.

Já as células de silício amorfo são fabricadas através do processo de “empilhamento”, ou seja, podem ser produzidas com camadas de silício amorfo e ser combinadas com diferentes substratos. Embora o custo de produção seja menor, essas células possuem pouca eficiência se comparadas as demais.

Nos últimos quarenta anos as células fotovoltaicas sofreram uma redução bastante significativa em seu preço principalmente pelo aumento da capacidade de produção em todo o mundo, aos incentivos governamentais, ao aumento da demanda de consumo ocasionada pelos aumentos constantes das tarifas de energia elétrica.

Na figura 4, podemos observar essa redução no valor das células fotovoltaicas mais especificamente.

Figura 4 - Redução do Preço das Células Fotovoltaicas nas Últimas Décadas



Fonte: Portal Solar, 2021.

A Agência Nacional de Energias Renováveis - IRENA (2021), destaca que:

Hoje, o PV é uma das tecnologias de energia renovável de crescimento mais rápido e está pronto para desempenhar um papel importante no futuro mix de geração de eletricidade global. As instalações solares fotovoltaicas podem ser combinadas para fornecer eletricidade em escala comercial ou organizadas em configurações menores para mini redes ou uso pessoal. Usar a energia solar fotovoltaica para alimentar mini redes é uma excelente maneira de levar o acesso à eletricidade a pessoas que não moram perto de linhas de transmissão de energia, principalmente em países em desenvolvimento com excelentes recursos de energia solar. (IRENA, Disponível em <https://www.irena.org/solar>. Acesso em 20 de outubro das 2021 às 23:45h).

A redução no custo das células fotovoltaicas barateou os custos dos painéis solares fotovoltaicos, tornando-os mais acessíveis e transformando-os na forma mais barata para aquisição de energia elétrica.

O sistema de energia solar fotovoltaica pode ser classificado como ON-GRID que é conectado à rede de distribuição, OFF-GRID ou autônomos e híbridos e, representam uma excelente alternativa aos sistemas de energia tradicionais que utilizam combustíveis fósseis que além de causarem alto impacto ambiental ao liberar os gases de efeito estufa em nosso planeta contribuindo para o efeito estufa e para a piora nas alterações climáticas.

Histórico e Surgimento

O primeiro cientista a observar o efeito fotovoltaico quando realizava experiências com eletrodos foi o físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839.

Em 1877, foi inventado o primeiro dispositivo de eletricidade por exposição a luz.

No ano de 1883, Charles Fritts, um inventor nova lorquino conseguiu produzir o efeito fotovoltaico com um dispositivo formado por pequena superfície feita de selênio com uma camada de ouro (Figura 5) que se tornou a origem dos painéis solares de hoje, no entanto, este dispositivo só captava 1% da energia solar.

Figura 5 - Dispositivo de Charles Fritts



Fonte: Sacyr, 2021.

Já no ano de 1905, Albert Einstein explica o efeito fotoelétrico e desenvolve sua pesquisa explicando o fenômeno da geração de energia através dos painéis fotovoltaicos o que lhe garante o Prêmio Nobel de Física pelos avanços no estudo e aplicação desta nova tecnologia.

Em 1941, Russel Ohl desenvolveu a primeira célula fotovoltaica de silício e, em 1954, é apresentada de maneira formal em Washington a primeira célula fotovoltaica de silício monocristalino por Calvin Fuller (Figura 6), químico norte-americano que dopou silício com arsênio e depois com boro, obtendo células com eficiência muito maior do que as anteriormente fabricadas. Esta célula possuía a eficiência de 6%.

Figura 6 - Calvin Fuller Dopando Silício com Arsênio



Fonte: TECHNICA COMMUNICATIONS, 2021.

Em 1958, após a falha das pilhas químicas a NASA incorpora essa nova tecnologia em seus satélites.

Durante a década de 60, a grande maioria dos sistemas de energia solar fotovoltaica tinham como objetivo apenas o gerar energia para satélites e equipamentos espaciais.

Ao final da década de 60, começaram a surgir as primeiras aplicações terrestres deste sistema, mas somente com a Crise do Petróleo de 1973, intensificou-se os estudos e investimentos a fim de tornarem as células fotovoltaicas mais eficientes e baratas, dando origem ao desenvolvimento de sistemas de energia solar fotovoltaica para o uso residencial e comercial, em aplicações autônomas e conectadas à rede elétrica.

Alves (2016, p.16) destaca que “os primeiros 25 anos da descoberta da transformação da luz solar em energia focaram-se na busca por melhores eficiências, na procura por custos melhores devido à crise petrolífera e na percepção das ameaças de alterações climáticas, efeito estufa e emissão de gases”.

A partir de 2001, com um novo aumento no custo do Petróleo e a preocupação com o meio ambiente ocorreu uma maior procura por sistemas alternativos de energia.

Componentes do SESF

Como vimos anteriormente, os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaicos podem ser classificados em ON-GRID (conectados à rede), OF-GRID (autônomos ou autossuficientes) ou Híbridos.

Em geral os componentes do SESF são:

a) Painéis Solares (Figura 7):

Existem vários tipos de módulos fotovoltaicos ou painéis solares que tem como função a transformação da energia solar em energia elétrica.

O painel solar de silício monocristalino é o mais conhecido possui forma arredondada formada a partir de um único cristal de silício, possuem eficiência entre 15% e 22%, ocupam menos espaço para gerar a mesma energia que os demais, possuem uma vida útil superior a 30 anos mais com garantia de 25 anos do fabricante, a desvantagem deste tipo de painel é o custo mais elevado devido a forma como são fabricados.

Já os painéis de silício policristalinos que chegaram no mercado em meados da década de 80, tendo seu processo de produção feito através da fundição dos cristais em blocos possuem a vantagem de serem mais baratos que os monocristalinos, entretanto, sua eficiência é de 14 e 20% e demandam uma maior quantidade de painéis para gerar a mesma energia em comparação com os monocristalinos.

Figura 7 – Painéis Solares Fotovoltaicos



FONTE: RETECKJR. 2021.

Os painéis solares de silício amorfo antes utilizados em pequenas aplicações através das últimas inovações passaram a ser utilizados também em larga escala graças a técnica de fabricação chamada de "empilhamento", através da qual várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, resultando em taxas mais elevadas de eficiência entre 6% a 9% o que é bem inferior ao percentual de eficiência dos demais, entretanto, apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo, o que não o torna mais barato pois este processo de fabricação é extremamente caro.

De acordo com o Portal Solar (2021), o painel solar de telureto de cádmio (CdTe PV) é a única tecnologia de painéis de película fina que superou a eficiência/custo dos painéis de silício cristalino.

Conforme o Portal Solar (2021)

A eficiência de painéis solares com base na tecnologia de telureto de cádmio opera normalmente na faixa de 9-16%. A First Solar instalou mais de 5 gigawatts (GW) de painéis fotovoltaicos de filme fino com base na tecnologia de telureto de cádmio em todo o mundo. A mesma empresa detém o recorde mundial de CdTe PV com uma eficiência de 16%. As instalações com os painéis de CdTe PV são tipicamente grandes campos solares (grandes usinas de energia solar). (PORTAL SOLAR. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h)

Outro tipo de painel que utilizam tecnologia de filme fino são os painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS) (Figura 8) que contém menos cádmio que a quantidade encontrada nos painéis de CdTe (material tóxico) e apresentam maior eficiência. Estes painéis começaram a ser produzidos comercialmente em 2011 na Alemanha e já são encontrados no Brasil apresentando uma eficiência média de 13%.

Figura 8 - Painéis Solares CIS/CIGS



FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

Outra inovação que devemos observar são as placas orgânicas (OPV) que estão sendo desenvolvidas no Brasil pela CSEM Brasil, em Belo Horizonte, que está desenvolvendo um processo industrial (roll to roll) de impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente com tecnologia principalmente suíça.

Em parceria com a ENERGISA, a CSEM Brasil desenvolveu o projeto de adesivação de painéis fotovoltaicos em fachadas de vidro, criando o OPV (Filmes Fotovoltaicos Orgânicos) adesivado (Figura 9) formado a partir de camadas de substrato orgânico e desenvolvido por meio da eletrônica impressa que permite a captação de energia solar e a geração de energia elétrica com mais eficiência.

Figura 9 - OPV Adesivado



FONTE: CSEM BRASIL, 2021.

De acordo com a CSEM Brasil (2021), a ideia consistia em conseguir desenvolver uma solução que fosse facilmente adaptável as superfícies já existentes. Foi assim que começou todo o trabalho de criação e, a partir dele, surgiu o conceito do projeto de OPV adesivado a vidro. (CSEM BRASIL, CSEM Brasil e Energisa uma parceria de sucesso, disponível em <https://csembrasil.com.br/energisa>, Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:50h).

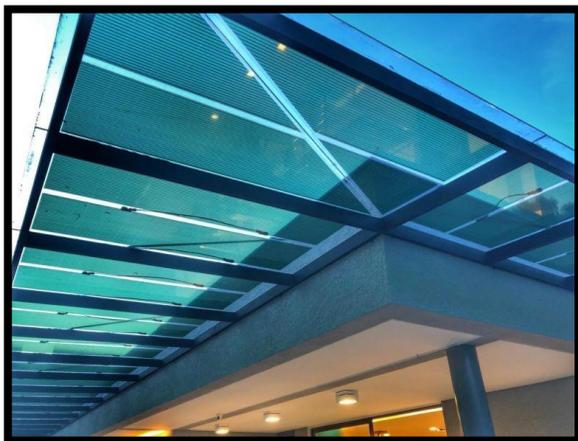
O OPV adesivado a vidro (Figura 10) surgiu em meio a demanda de se desenvolver um sistema de fachadas fotovoltaicas que fossem alinhadas ao conceito de geração distribuída e de edificações sustentáveis que reaproveitassem os vidros já existentes na estrutura para que não houvesse elevação de custos no projeto e satisfizesse as demandas da ENERGISA.

Como vantagens deste novo sistema a CSEM Brasil (2021) destaca:

- flexível, semitransparente, leve, baixo custo de produção, baixa pegada de carbono, reciclável;
- adequado para utilização em fachadas de vidro;
- facilidade de instalação;
- não exige a troca dos vidros já existentes na fachada.

Ao final do projeto de desenvolvimento desse novo sistema de painel solar fotovoltaico verificou-se que mesmo tendo sido um projeto desenvolvido para o Grupo Energisa oportunizou-se um sistema com grandes chances de comercialização e ampliação na implantação em outros locais pois mostrou-se além de esteticamente bonito, eficaz e uma ferramenta eficaz para a criação de mais uma fonte de receita de geração distribuída para a concessionária.

Figura 10 - OPV Adesivado à Vidro



FONTE: CSEM BRASIL, 2021.

Existe ainda o painel solar híbrido (HJT) desenvolvido com uma nova tecnologia de heterojunção cujo processo de fabricação embora semelhante aos dos painéis fotovoltaicos de silício monocristalinos possuem uma passivação com o silício amorfo.

Este painel possui mais resistência a temperaturas mais altas o que seria ideal para sua implantação em nosso país, produz mais energia por metro quadrado e eficiência entre 21% a 24%, mas ainda não se encontra disponível para comercialização no Brasil.

b) Controladores de Carga

Os controladores de carga têm a função de evitar sobrecargas ou descargas abruptas, aumentando a vida útil e o desempenho das baterias estacionárias sendo este, um componente fundamental para implantação de sistemas OFF-GRID ou autônomos, pois torna o armazenamento da energia excedente mais eficiente fazendo a intermediação entre os painéis solares e a bateria, compensando os diferentes fluxos de energia que ocorrem quando a bateria está sendo carregada e utilizada ao mesmo tempo, gerenciando informações sobre o funcionamento e otimizando o processo de armazenamento da energia.

Existem dois principais tipos de controladores de carga, os paralelos que derivam a corrente dos módulos para uma carga dissipativa o que permite ao acumulador manter o nível de carga máxima e os controladores em série que dependendo da tensão interrompe a corrente que chega à bateria.

A capacidade do controlador de carga deve ser sempre igual ou superior a corrente máxima exigida pelo sistema e maior que a corrente de curto-circuito de todos os equipamentos que serão utilizados somados.

Podemos calcular a corrente de carga dividindo o consumo de energia em watt/hora pela tensão de trabalho do controlador de carga solar. Conforme o site NeoSolar (2021):

Os controladores PWM (Pulse Width Modulation) são os mais utilizados, pois apesar da menor eficiência se justificam pelo custo. Já os controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking), possuem maior eficiência e são cerca de duas vezes mais caros.

Para entender a diferença, imagine um painel comum de 135 Wp abastecendo uma bateria de 12 V. Essa potência de pico (Wp) deste painel é a potência máxima produzida por ele no ponto em que gera, por exemplo, 17,7 V e 7,63 A ($17,7 \times 7,63 = 135$). Um controlador PWM, nesse momento de pico, trará os 17,7 V para 12,5 V, por exemplo, mantendo os 7,63 A. Isso significa que dos 135 Wp, estará fornecendo para a bateria somente $12,5 \times 7,63 = 95$ W, ou seja, 70% da energia fornecida pelo painel. Já o controlador MPPT, ao mesmo tempo em que traz a tensão para 12,5 V, eleva a corrente na mesma proporção, levando-a para 10,8 A neste caso. Assim, o controlador fornecerá $12,5 \times 10,8 = 135$ W para a bateria, ou seja, 100% da energia produzida pelo painel. Como a eficiência dos controladores não é de 100%, essa diferença não será de 30%, como no exemplo, porém pode realmente chegar a 20 ou 25%. (NEOSOLAR, Disponível em <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-pwm-e-mppt>. Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:45h).

É de fundamental importância antes da escolha do tipo de controlador PWM (Figura 11) ou MPPT (Figura 12) que será utilizado no sistema que se faça a comparação entre os custos de aquisição dos controladores com a redução do número de painéis que precisarão ser utilizados quando no uso do modelo MPPT já que estes demandam uma menor quantidade de painéis solares devido ao melhor desempenho e eficiência do sistema.

Figura 11 - Controlador PWM



FONTE: NEOSOLAR, 2021

Figura 12 - Controlador MPPT



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

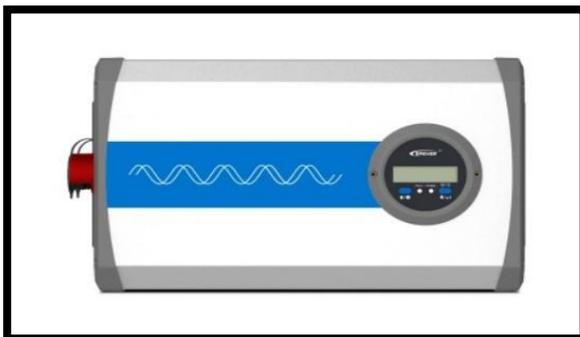
c) Inversores

É o componente responsável por transformar a corrente contínua em alternada, além de ser o responsável por levar as baixas tensões dos painéis e baterias até os 110 V, 220 V ou outra tensão utilizada por um aparelho elétrico, funcionando também como carregador de baterias quando ligados a rede ou a algum gerador.

Contamos com diferentes tipos de inversores no mercado atualmente:

- Inversores de onda quadrada (Figura 13) que embora mais baratos não podem ser utilizados em qualquer aparelho;

Figura 13 - Inversor de Onda Quadrada



FONTE: Mercado Livre, 2021.

- Inversores de onda senoidal modificada (Figura 14) que produzem onda intermediária e atendem a maioria das aplicações com exceção de aparelhos mais modernos, sendo indicados para pequenas instalações;

Figura 14 - Inversor de Onda Senoidal Modificada



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

- Inversores de onda senoidal pura (Figura 15) que produzem uma onda senoidal até mais pura que a da própria rede elétrica, podendo ser utilizados com qualquer tipo de aparelho e por isso são os mais utilizados embora sejam mais caros;

Figura 15 - Inversor de Onda Senoidal Pura



FONTE: Mercado Livre, 2021

- Inversores para sistemas conectados à rede (Figura 16) que além da produção de onda senoidal pura têm a função de sincronizar a frequência com a rede elétrica e possuem um mecanismo chamado “ilhamento”, que visa

garantir que o sistema não energize a rede quando esta for desligada a fim de evitar acidentes durante a manutenção da rede externa;

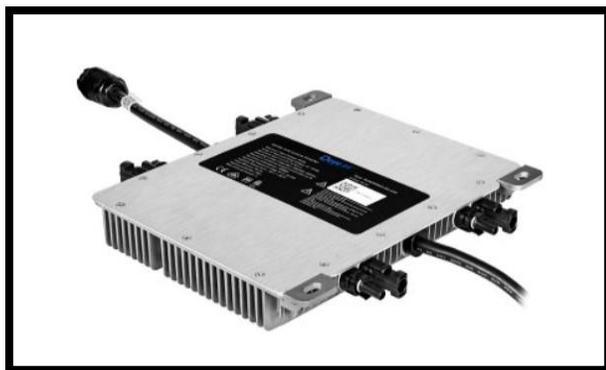
Figura 16 - Inversores Conectados à Rede



FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

- Microinversores de conexão à rede (Figura 17) que diferentemente dos inversores tradicionais funcionam com cada microinversor sendo conectado a um único painel solar, mantendo, no entanto, as mesmas proteções e, ainda apresentando como vantagem uma melhor eficiência, além da facilidade na instalação, modularidade, maior vida útil e facilidade de manutenção;

Figura 17 – Microinversor



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

- Inversor/Carregador (Figura 18) que além das funções de um inversor comum possui a capacidade de carregar as baterias reduzindo o risco de danos a elas por descarga exagerada, reduzindo assim a necessidade de uma grande quantidade de baterias para garantir o funcionamento do sistema, bem como, este tipo de inversor permite arrancar um motor ou gerador mesmo quando as baterias estão descarregadas.

Figura 18 - Inversor/Carregador



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

d) Baterias

São as responsáveis por armazenar a energia para que esta possa ser utilizada em dias sem sol nos SESFs OFF-GRID e as mais recomendadas são as estacionárias ou de ciclo profundo pois suportam grandes descargas.

É importante ressaltar aqui que as baterias automotivas não devem ser utilizadas em sistemas de energia solar pois não foram fabricadas para suportar descargas profundas.

Já as baterias estacionárias comuns (Figura 19) são mais econômicas e indicadas para sistemas pequenos, utilizam placas mais grossas que as convencionais e em geral possuem vida útil de 4 a 5 anos.

Figura 19 - Bateria Estacionária



FONTE: AMAZON.COM.BR, 2021.

As baterias OPzS possuem vida útil de 10 anos e embora sejam muito utilizadas em sistemas de energia alternativos estas baterias são ventiladas,

ou seja, demandam a reposição de água em alguns intervalos de tempo e liberam gases explosivos devendo ser armazenadas em locais apropriados.

Uma alternativa a estas, são as baterias de gel (Figura 20) que são seladas e não liberam gases podendo ser armazenadas em locais fechados além de que não há movimentação do gel dentro da bateria, possui vida útil de 10 anos e é indicada inclusive para o uso em embarcações.

Figura 20 - Bateria de Gel



FONTE: Mercado Livre, 2021.

Outra opção de baterias seladas que não liberam gás são as Baterias AGM (Figura 21) onde uma capa de vidro é utilizada para conter o eletrólito.

Figura 21 - Modelo de Baterias AGM



FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

Estas baterias embora sejam mais caras possuem excelente desempenho que compensa o investimento e têm vida útil de 10 anos.

Ao analisarmos a bateria que iremos utilizar em nossos sistemas OFF-GRID devemos levar em conta não somente o custo destas baterias, mas, também as dificuldades e os custos com a manutenção e a troca destas, vez que os sistemas são feitos para durarem em média 30 anos.

Normas e Legislação para Implantação do SESF

No Brasil, a legislação e as normas que tratam dos sistemas fotovoltaicos ainda são recentes e não possuem a mesma estrutura dos países mais desenvolvidos principalmente no que tange a tecnologia, qualidade e sistemas de armazenamento de energia.

Há uma década, mais precisamente no ano de 2011, profissionais do setor de energia solar fotovoltaica da ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica uniram-se com uma comissão de estudos do COBEI – Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações a fim de sugerir meios e normas para implantação da energia solar na matriz energética brasileira.

No ano de 2012 foi aprovada a RN (Resolução Normativa) 482 que foi atualizada posteriormente em 24 de novembro de 2015 pela RN 687, possibilitando a micro e minigeração de energia elétrica através de fontes renováveis e alternativas a partir de sistemas conectados à rede elétrica de baixa tensão.

Atualmente as Normas e Legislação que tratam do Tema são reguladas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e pela IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional, conforme se segue:

- ABNT NBR11.704/2008: Trata da Classificação dos Sistemas fotovoltaicos de acordo com a sua configuração e sua interrelação com o sistema público de distribuição de energia;
- ABNT IEC62.116/2012: Discorre sobre um método para analisar o funcionamento de parâmetros de prevenção de ilhamentos;
- ABNT NBR16.149/2013: Trata das Características da Interface de conexão dos sistemas fotovoltaicos com à rede elétrica de distribuição e das exigências.
- ABNT NBR 16.150/2013: Caracteriza as técnicas de ensaio avaliativas para verificar se os equipamentos empregados na ligação entre o SESF e a rede elétrica estão em conformidade com a NBR16.149/2013.
- ABNT NBR16.274/2014: trata dos Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho dos SESF conectados à rede.

Sistema ON-GRID

Antes de falarmos do sistema solar de energia fotovoltaica ON-GRID, precisamos compreender o conceito de geração distribuída.

Alves (2019) destaca que:

A geração distribuída é considerada a geração de energia elétrica no próprio estabelecimento consumidor ou nas proximidades do local de consumo. Dessa forma, compreende-se por geração distribuída, a usina que se conecta diretamente à rede da distribuidora de energia, em que o consumidor pode injetar potência na rede (quando não está utilizando-a) ou, então, receber potência da rede quando houver a necessidade de consumir mais energia elétrica (ALVES, 2019, p.30).

Conforme observamos no capítulo anterior, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica através da RN (Resolução Normativa) 482/2012 que foi atualizada posteriormente pela RN 687/2015, estabeleceu os conceitos acerca da mini e microgeração de energia, bem como o funcionamento do Sistema de compensação de energia elétrica e os critérios a serem observados de conexão as usinas distribuidoras.

Sendo assim, a microgeração distribuída compreende uma central geradora de energia elétrica com potência igual ou menor que 75 KW e a minigerção é uma central geradora com potência instalada superior que deve estar entre 75KW e 5MW conectada na rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras.

De acordo com Alves (2019), a geração distribuída corresponde ao total de energia elétrica que é injetada na rede que pode ser dividida em:

- própria: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) de todas as usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica e não despachadas centralizadamente pelo ONS, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015;
- adquirida de outros: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) das usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica, não despachadas centralizadamente pelo ONS e de propriedade de outros agentes, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015. (ALVES, 2019, p.31).

No Brasil, atualmente, segundo dados levantados na ANEEL contamos com 7,2GW de potência operacional de geração distribuída, através da qual a maior potência instalada é a residencial perfazendo um total de 3,6GW, seguida da classe comercial e rural com potência de 2,5 GW e 992 MW respectivamente.

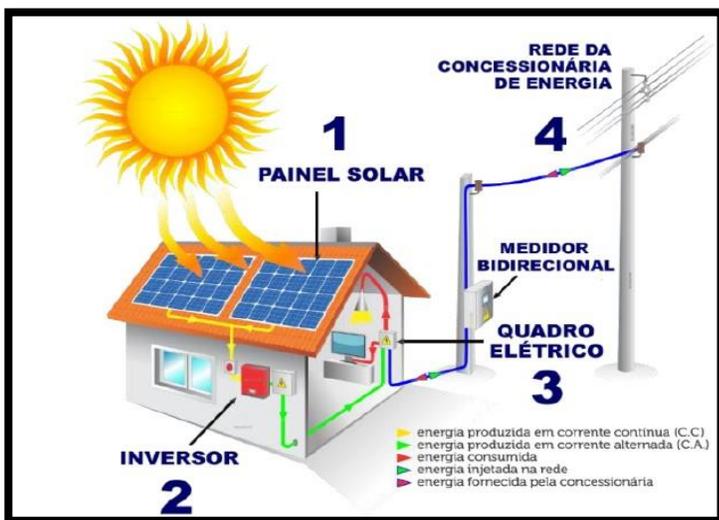
Ainda de acordo com esta agência as regiões que lideram o ranking de potência instalada de geração distribuída em nosso país são a Região Sudeste com um total de 2,69 GW, a Região Sul com 1,53GW e a região nordeste com a potência de 1,41 GW.

Vale ressaltar que é estabelecido através desta regulamentação um sistema de compensação de energia elétrica onde a energia ativa que é injetada na rede pela unidade consumidora que tem micro ou minigeração distribuída como forma de empréstimo gratuito à distribuidora local, gera créditos que são abatidos da conta de luz da unidade consumidora geradora de energia ou de outra unidade consumidora que seja do mesmo titular da unidade onde os créditos foram gerados.

O sistema de energia solar fotovoltaica ON-GRID (Figura 22) ou conectados à rede elétrica recebem especial atenção nos países mais desenvolvidos por serem considerados uma fonte de fundamental importância como complemento ao sistema elétrico existente em locais já atendidos por energia elétrica convencional.

Nestes sistemas à rede da distribuidora funciona como uma espécie de “bateria” que recebe a energia excedente gerada pelo sistema e a redistribui nos momentos de maior demanda, daí o grande potencial cada vez maior para a sua utilização em áreas urbanas de todo o mundo e, principalmente no Brasil devido a grande disponibilidade de irradiação solar anual.

Figura 22 - Sistema ON-GRID



FONTE:

ELETRÔNICA XAVIER, 2021.

Neste tipo de sistema faz-se o uso de painéis fotovoltaicos que geram energia através de uma corrente elétrica contínua que é convertida em uma corrente alternada que tanto pode ser utilizada na própria unidade consumidora ou transferida para a rede elétrica da distribuidora.

A estrutura de montagem e instalação do sistema fotovoltaico se dá através de estruturas metálicas feitas de alumínio ou aço inoxidável e possuem aplicações universais para fixação de equipamentos para diferentes tipos de telhado, como por exemplo: fibrocimento, cerâmico, concreto e metálico que dão suporte aos painéis ou módulos fotovoltaicos em telhados ou áreas apropriadas, resistentes a intempéries ambientais.

O equipamento responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para que esta possa ser utilizada pelo consumidor, deixando a tensão e frequência compatíveis para que o excedente possa ser injetado na rede elétrica, além de auxiliar na segurança e no monitoramento do sistema é o inversor. Neste sistema não são utilizadas baterias pois não há armazenamento de energia.

Conforme RETECK JR. (2021), em relação aos inversores presentes em sistemas On-Grid, podemos separá-los em três grupos:

- **Inversor de String:** nesse inversor, os módulos fotovoltaicos são ligados entre si, formando uma string, ou “linha” de módulos. Dependendo modelo, pode haver entradas para mais de uma string em um mesmo inversor. Em residências ou pequenos comércios, geralmente se faz uso de um ou dois inversores desse tipo.

- **Inversor Central:** é um tipo de inversor de potências nominais mais altas (acima de 100 kW), usados em grandes construções como usinas solares e edifícios (sistema de minigeração e de geração centralizada).

- **Microinversor:** esse inversor geralmente opera em apenas uma ou até 4 placas do sistema fotovoltaico. Desse modo, você torna a produção dos painéis mais independentes entre si, o que permite uma maior variedade nas condições do sistema (como, por exemplo, telhados com inclinações diferentes ou pontos mais sombreados que outros). Além disso, com uma produção mais interdependente, será mais fácil para aumentar o sistema posteriormente, caso o usuário pretenda fazer isso. (RETECK JR. Energia Solar. Disponível em <https://www.reteckjr.com/projetos-fotovoltaicos>. Acesso em 27 de outubro das 2021 às 22:57h).

Lembrando que nos sistemas on-grid, os inversores são projetados com o chamado “anti-ilhamento”, que é um mecanismo que permite que esses equipamentos interrompam o funcionamento do seu sistema, caso haja queda de energia na rede de distribuição como uma medida de segurança para evitar acidentes quando funcionários da distribuidora estiverem executando reparos ou manutenção.

Outro dispositivo fundamental no sistema On-Grid são os String Boxes vez que estes interrompem a energia de circuitos elétricos quando é necessário, diminuindo o risco de possíveis acidentes elétricos através do isolamento entre o sistema gerador da energia e a instalação elétrica do local.

É utilizado ainda neste sistema, um medidor bidirecional que é responsável por medir a quantidade de energia gerada pelo sistema e quanto desta energia foi direcionada à rede.

Vantagens e desvantagens

O sistema de energia solar fotovoltaica On-Grid apresenta diversas vantagens, dentre elas destacamos:

- É uma fonte de energia renovável que não gera poluição e não emite gases do efeito estufa;
- Não necessita de grandes manutenções vez que os painéis ou placas solares tem vida útil superior a 25 anos;
- A instalação do sistema é relativamente simples;
- Não contamina o meio ambiente;
- Pode ser ampliado caso haja necessidade de maior potência, com a instalação de mais painéis e também uma revisão na potência nominal do inversor;
- Funciona até mesmo em dias nublados pois a energia é produzida pela radiação solar abundante em todo território brasileiro;
- Em termos de economia, as vantagens são disparadamente atrativas, pois além de reduzir a conta de energia em até 95%, ainda através dos programas de incentivo disponibilizados pelos governos Federal, Estadual e Municipal geram isenção de alguns impostos (ICMS etc.), descontos no IPTU através do “IPTU Verde” (cada município utiliza nomenclaturas diferentes);
- Propicia ao consumidor-gerador ter um maior controle sobre seu consumo x geração de energia que está provendo através do seu sistema.

Em 2018, no IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Freitas et Al apresentaram seu estudo intitulado “O Sistema Fotovoltaico como Solução Alternativa na Produção de Energia Elétrica no Brasil” em que realizaram o estudo de caso em uma empresa da cidade de Santa Fé do Sul no interior da cidade de São Paulo com o intuito de analisar os custos de investimento para implantação do SESF ON-GRID e qual seria o tempo necessário de retorno deste, onde puderam concluir com base nos resultados obtidos inúmeras vantagens de investimento neste sistema que tem garantia de 25 anos, com retorno de investimento em 4 anos, ou seja, a empresa economizaria por 21 anos em contas de energia e ainda receberia créditos gerados por produzir mais energia do que utilizaria.

Outros pesquisadores ao longo das últimas décadas também puderam observar a questão de a cada dia estar mais cara a energia elétrica que é disponibilizada pelas concessionárias, vez que a base da matriz energética brasileira é a hídrica que com as mudanças climáticas vem sofrendo uma drástica redução de capacidade devido à escassez de água nos reservatórios que obriga as concessionárias a buscarem outras fontes como a térmica, as fosséis etc. que além de prejudicarem o meio ambiente e aumentarem a emissão de gases do efeito estufa ainda são mais onerosas e refletem diretamente no bolso dos consumidores.

De acordo com o Canal Solar (2021),

Segundo levantamento preliminar da ABSOLAR, o Brasil registrou, desde 2012 até final de setembro deste ano, a criação de cerca de 330 mil empregos pelo setor solar. De acordo com a entidade, a fonte fotovoltaica já trouxe ao país mais de R\$ 57 bilhões em novos investimentos e R\$ 15,1 bilhões em arrecadação aos cofres públicos, bem como evitou a emissão de mais de 12,4 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade. (CANAL SOLAR, Disponível em <https://canalsolar.com.br/brasil-desponta-entre-maiores-geradores-de-empregos-em-energia-solar-no-mundo>. Acesso em 30 de outubro de 2021 às 17:58h)

Mediante o exposto acima e considerando o alto índice de desemprego em nosso país aliado ao alto custo da energia elétrica devido à escassez hídrica, a energia solar e o sistema fotovoltaico de geração de energia distribuída representam uma alternativa não somente viável como indispensável a matriz energética brasileira, que auxilia também para o atingimento das metas de desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil e dos demais países.

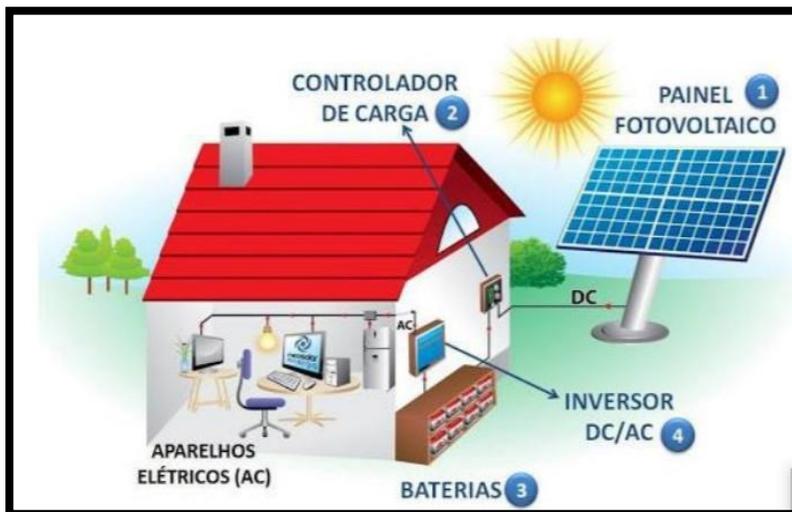
Em termos de geração de empregos o Brasil atualmente atingiu a sétima posição no ranking dos países que mais geraram empregos no mundo através da energia solar fotovoltaica no último ano assumindo um papel de destaque e se posicionando a frente até mesmo de líderes históricos do setor, como a Alemanha e o Reino Unido.

Sistema OFF-GRID

Os sistemas de energia solar fotovoltaica que não são conectados à rede da concessionária recebem o nome de sistemas off-grid (Figura 23) ou autossuficientes, ou ainda isolados.

Geralmente são implantados em zonas rurais ou em locais remotos onde a Rede elétrica convencional não está disponível, pois estes sistemas não dependem da rede para gerarem energia elétrica durante a noite ou em dias nublados onde a radiação solar não é capaz de gerar energia suficiente para o consumo, vez que estes sistemas utilizam baterias que armazenam a energia elétrica gerada.

Figura 23 - Sistema OFF-GRID



FONTE: ARQAR, 2021.

Nesse sistema a luz solar é captada através dos painéis ou placa fotovoltaicas que a transformam em energia elétrica com corrente contínua, essa energia passa por um controlador de carga que é o responsável pela proteção do sistema e das baterias contra descargas profundas e/ou excesso de carga, em seguida essa energia é armazenada em baterias e em seguida no inversor de frequência que converte a corrente contínua em corrente alternada para que esta possa ser utilizada.

Sendo assim, são componentes deste sistema:

a) Placas ou painéis solares (também chamados de módulos):

Conforme vimos anteriormente, na atualidade existem diversos tipos de painéis ou placas solares que devem ser escolhidas de acordo com a demanda de energia do sistema, a disponibilidade financeira do cliente e demais fatores do projeto para que se possa disponibilizar o melhor custo-benefício.

Os painéis solares de silício monocristalinos possuem eficiência entre 15 a 25%, ocupam menos espaço que os demais, possuem vida útil acima de 30 anos, porém são mais caros;

Os painéis de silício policristalinos são mais baratos, porém apresentam menor eficiência (entre 14 e 20%) e precisam de um espaço maior para gerar a mesma energia que os monocristalinos;

Existem outras tecnologias que chegam ao mercado cada vez mais rápido como os painéis de filme fino que apresentam uma eficiência média

de 13%, o OPV Adesivado dentre outros que estão em fase de desenvolvimento.

b) Controladores de carga:

São os responsáveis pela proteção da bateria ou bancos de baterias que serão utilizadas no sistema, nos sistemas off-grid o controlador de carga é peça fundamental pois caso ocorra alguma falha todo o sistema pode sofrer danos irreversíveis.

Este dispositivo deve estar em conformidade com as características das baterias que serão utilizadas para que quando estas estejam carregadas ele desconecte automaticamente o gerador fotovoltaico interrompendo o fornecimento de energia para as baterias nos casos em que estas atinjam um nível mínimo de segurança.

c) Baterias:

É através das baterias que a energia é armazenada nos sistemas off-grid para que se tenha energia até mesmo a noite ou em períodos de dias nublados.

Tendo em vista que estes sistemas são feitos para ter vida útil de no mínimo 30 anos é sábio que nas escolhas do tipo de baterias que serão utilizadas leve-se em conta o tempo de garantia destas baterias.

Como já visto anteriormente as mais utilizadas são as baterias estacionárias comuns por serem mais baratas, entretanto estas baterias têm vida útil de quatro a cinco anos somente, sendo necessário trocá-las após este período.

O ideal é que se invista um pouco mais inicialmente dando preferência as baterias de gel que não liberam gases e podem ser armazenadas em locais fechados ou, ainda, as baterias AGM que embora tenham um custo inicial mais alto, possuem vida útil de 10 anos e um desempenho excelente o que em termos de custo-benefício as torna a melhor opção.

d) Inversor:

Conforme já vimos anteriormente, este componente é o responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada invertendo a tensão para que possamos utilizar a energia em diferentes aparelhos elétricos.

De acordo com o Site Solar Brasil (2021):

A recomendação é que o **Inversor** seja ligado diretamente aos bornes das baterias, isso porque as correntes solicitadas pelo inversor são altas para o controlador de carga, principalmente na partida de certas cargas, o que pode danificar o controlador de

carga. Quando ligado diretamente a bateria, a mesma é capaz de fornecer estas correntes elevadas sem nenhum dano.

Normalmente **os inversores off-grid** operam com tensões de entrada de 12,24 e 48VDC que geralmente são convertidos em 120 ou 240VAC, na frequência de 50 ou 60HZ.

Para dimensionar **um inversor para um sistema de energia solar fotovoltaica off-grid** é preciso considerar tensão de entrada em corrente contínua, tensão de saída em corrente alternada, e as características da carga a ser alimentada, tais como potência, pico de partida, variação de tensão, forma de onda e frequência. Por este motivo deve-se atentar as características elétricas dos inversores tais como:

1-) **Potência nominal:** potência que **o inversor** é capaz de entregar permanentemente. Para uma melhor eficiência operacional, deve-se escolher sempre um **inversor** de potência nominal superior à potência total necessária para alimentar as cargas.

2-) **Capacidade de sobrecarga:** capacidade do **inversor** para entregar maior potência que a nominal durante certo tempo, também conhecida como potência de pico, utilizada para arrancar com elevados picos de corrente, necessárias para partida de motores, por exemplo.

3-) **Rendimento / eficiência:** relação entre as potências de entrada e saída, o rendimento de um **inversor** não é constante, variando em função da potência consumida, sendo baixo a baixas potências e aumentando progressivamente à medida em que a potência aumenta.

É relativamente difícil medir a potência de saída de **um inversor de onda senoidal modificada** em função da quantidade de harmônicos, por este motivo, para uma medição assertiva deve-se utilizar um equipamento TRUE- RMS.

A Eficiência dos **inversores** varia de 50 a 90%, o ideal é dimensionar **o inversor** para ter uma eficiência acima dos 90%.

4-) **Autoconsumo:** É esperado que **os inversores sejam** capazes de arrancar automaticamente quando detectam alguma carga e de se desligar quando não perceber que não há cargas ativas à sua saída. A maioria dos **inversores** sistema de standby para reduzir perdas de consumo quando **o inversor** trabalha sem cargas.

O inversor tem um autoconsumo quando não há cargas ativas (trabalha em vazio), este consumo normalmente é de até 2% da potência nominal de saída.

5-) **Frequência:** Geralmente 50 ou 60Hz.

6-) **Proteções:** Os Inversores utilizados em sistemas de energia solar fotovoltaicos deverão possuir as seguintes proteções:

Inversão de polaridade; Sobrecarga na saída; Subtensão; Sobre-tensão; Curto-circuito na saída; Sobreaquecimento;

7-) **Forma de onda:** A forma de onda é uma representação gráfica que demonstra a forma com que a energia evolui ao longo do tempo, com suas variações nos valores de tensão. A onda de energia que é transmitida pela rede elétrica, provida pela concessionária de seu Estado, é **senoidal**. Ou seja, é uma onda pura e harmônica. (SOLAR BRASIL. Disponível em <https://www.solarbrasil.com.br>. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 09:45h).

Sendo assim, podemos perceber que o inversor ideal para utilização nos sistemas off-grid são os inversores de onda senoidal pura que embora tenham um custo um pouco mais elevado garantem o bom funcionamento do sistema e a utilização de quaisquer tipos de aparelhos de corrente alternada ou motor, dentro da sua faixa de potência.

Vantagens e desvantagens

A primeira vantagem facilmente observada neste tipo de sistema é a autossuficiência ou independência total do consumidor que mesmo em áreas mais remotas ou onde a energia elétrica das concessionárias não atende têm garantido a sua eletricidade e o uso de aparelhos elétricos como por exemplo: televisão, geladeira, celulares, notebooks etc.

Neste sistema o consumidor assume um caráter de consumidor consciente, afinal ele é o responsável tanto pela geração de sua energia como pelo controle para que a energia gerada seja o suficiente de acordo com a sua demanda.

Outro ponto extremamente positivo é questão dos serviços de infraestrutura como atendimentos médicos, funcionamento de comércios e órgão públicos, isso sem falar no benefício proporcionado nas áreas rurais como irrigação etc.

A grande desvantagem deste sistema está diretamente relacionada ao custo, devido ao fato dele necessitar do controlador de carga e baterias para funcionar efetivamente e cumprir o seu propósito.

Impactos ambientais, descarte de resíduos gerados pelo SESF

Quando pensamos em sistema de energia solar fotovoltaica uma grande preocupação gera em torno do descarte destes painéis após sua vida útil, ou seja, de 20 a 25 anos após a sua utilização.

Segundo Duarte (2021 apud HEIN, 2021),

Mesmo após atingirem a marca da vida útil, este material ainda consegue ser sustentável, se descartado corretamente. Hoje em dia é possível aproveitar mais de 90% dos materiais que compõem a tecnologia fotovoltaica, pois eles são tão recicláveis quanto uma latinha de alumínio". (DUARTE, 2021 apud HEIN 2021 p. 1).

Em entrevista ao Canal Solar, Rodrigo Sauaia, CEO da ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica destacou que desde 2010 existe uma legislação que trata desde assunto, estabelecendo diretrizes para o descarte adequado.

Se trata da Lei 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecendo objetivos, metas, instrumentos e ações que deverão ser seguidos para o descarte e gestão adequada a fim de que se preserve o meio ambiente.

SAUAIA (2021 apud HEIN, 2021) destaca ainda que:

Hoje é possível aproveitar mais de 90% dos materiais que compõem a tecnologia FV. No Brasil, essa tecnologia deve, por lei, ser descartada corretamente atendendo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que define as diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos, atentando para a obrigatoriedade das empresas em retornarem os resíduos descartados de maneira a evitar o descarte incorreto e a poluição ambiental. (SAUAIA, 2021 apud HEIN, 2021. p. 4).

Com relação a este aspecto, ressalta-se ainda que as usinas de energia solar apresentam pouquíssimo impacto ambiental e que os materiais utilizados nos painéis solares, nos inversores e demais componentes são comuns e de fácil reciclagem.

Para Sauaia (2021 apud Hein 2021), “uma usina solar não é diferente de qualquer outro tipo de obra de engenharia. Não precisamos nos preocupar tanto com o seu descarte, assim como não nos preocupamos com o descarte dos equipamentos de usinas termelétricas e plataformas de exploração de petróleo”.

Atualmente a grande maioria dos painéis solares utilizados no mundo são fabricados a base de silício, substância encontrada em abundância em nosso planeta que não é tóxica ao ser humano e não prejudica o meio ambiente.

Nestes painéis, o chumbo pode estar presente mais em pequenas quantidades, como as que são encontradas em celulares, computadores etc.

Os painéis solares mono e policristalinos utilizados na atualidade também não possuem metais pesados e como são fabricados com a intenção de reter e não refletir a luz solar, pois o objetivo é captar a irradiação solar e transformá-la em energia elétrica, não promovem a reflexão do calor de volta para o ambiente em que estão inseridos.

De acordo com Duarte (2021 apud Araújo 2021),

(...) com um modelo de negócio voltado à redução de custos logísticos e à criação de parcerias estratégicas com integradoras, fábricas, distribuidoras e seguradoras fotovoltaicas por todo o país, nossa meta é oferecer soluções de logística reversa, coleta e reciclagem dos módulos brasileiros, reduzindo custos e processos de coleta, transporte e reciclagem para os nossos clientes. (DUARTE 2021 apud ARAÚJO, 2021 p.2).

A Empresa SunR foi a primeira empresa da América Latina a atuar com a reciclagem no setor fotovoltaico, utilizando tecnologia desenvolvida na Europa objetivando solucionar o problema ambiental que poderia vir a ser ocasionado pelo descarte dos módulos fotovoltaicos.

METODOLOGIA

Neste estudo fizemos uso de quatro métodos distintos, mas que coadunam entre si.

Inicialmente, realizamos uma pesquisa bibliográfica qualitativa acerca da temática em questão.

Num segundo momento, fizemos a análise crítico-reflexiva dos dados levantados na pesquisa bibliográfica dando enfoque aos resultados obtidos pelos autores estudados e no material disponibilizado pelos órgãos reguladores do setor para compreendermos a importância da implantação e de incentivos dos Sistemas de Energia Alternativos que beneficiem a sociedade e o país nos aspectos socioeconômicos e ambientais.

Na sequência, discorreremos acerca dos Sistemas ON-GRID (conectados à rede) e OFF-GRID (autossuficientes) e as vantagens e desvantagens da implantação de cada um desses sistemas de energia solar fotovoltaica.

E, por último realizamos um Estudo de Caso da implantação do Sistema ON-GRID em uma residência unifamiliar no Município do Rio de Janeiro, analisando o custo de implantação deste sistema bem como o tempo de retorno do investimento, para finalmente, chegarmos à conclusão sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como alternativa para a crise energética em nosso país.

DESENVOLVIMENTO

Implementação do SESF em uma residência unifamiliar

Com o intuito de analisar a viabilidade de implantação do SESF on-grid como uma alternativa para crise energética brasileira, apresentamos os cálculos e custos de implantação desse sistema em uma residência unifamiliar, localizada no bairro do Anil, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro.

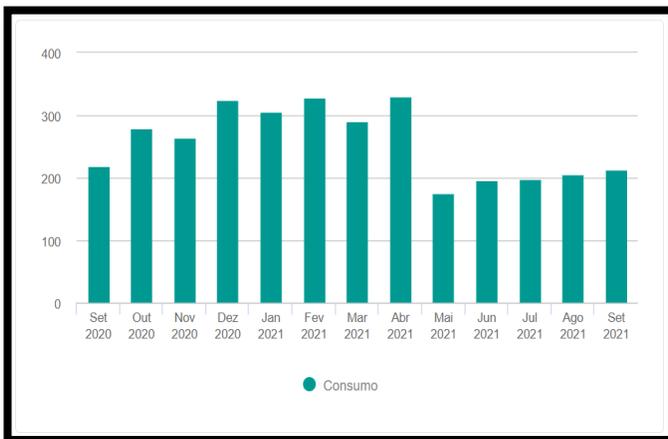
Nessa residência moram dois adultos e duas crianças e possui os seguintes aparelhos elétricos, considerados os grandes vilões no consumo de energia: máquina de lavar roupas, geladeira frost free, ferro de passar roupas, um chuveiro elétrico, um forno micro-ondas, entre outros de uso mais esporádico e consumo menos expressivo.

Vale salientar que toda iluminação da casa é composta por lâmpadas LED.

Média de consumo anual

Para dimensionar de maneira mais assertiva o projeto de implantação do SESF, utilizaremos o histórico de consumo da residência nos últimos doze meses, coletados no site da concessionária (Figura 24).

Figura 24 - Histórico do Consumo da Residência



FONTE: LIGHT, 2021.

Consultando os dados das contas acima citadas, criamos a Tabela 1 para calcularmos a média de consumo e de gasto com a energia elétrica, já levando em conta as variações de valores devido a variação tarifária.

Tabela 1 - Média de consumo e gasto com energia elétrica.

Mês de referência	Consumo (kWh)	Valor
Setembro/2020	218,00	R\$ 117,98
Outubro/2020	279,00	R\$ 163,67
Novembro/2020	265,00	R\$ 152,65
Dezembro/2020	324,00	R\$ 243,51
Janeiro/2021	306,00	R\$ 246,27
Fevereiro/2021	328,00	R\$ 246,88
Março/2021	290,00	R\$ 177,60
Abril/2021	331,00	R\$ 258,94
Mai/2021	175,00	R\$ 98,40
Junho/2021	197,00	R\$ 120,51
Julho/2021	199,00	R\$ 128,32
Agosto/2021	206,00	R\$ 139,80
Setembro/2021	213,00	R\$ 146,32
Média	256,23	R\$ 172,37

FONTE: O AUTOR, 2021.

Analisando o histórico de consumo de energia, percebemos que entre os meses de outubro de 2020 e abril de 2021, há um aumento considerável no consumo da residência, e a média calculada para orientar o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos não atenderia a demanda.

Sendo assim, redefinimos a média de consumo, baseados nos meses em que este foi mais expressivo a fim de obtermos uma média condizente com a demanda de energia elétrica da unidade consumidora, conforme podemos observar em seguida na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de Consumo Máximo Mensal

Mês de referência	Consumo (kWh)	Valor
Outubro/2020	279,00	R\$ 163,67
Novembro/2020	265,00	R\$ 152,65
Dezembro/2020	324,00	R\$ 243,51
Janeiro/2021	306,00	R\$ 246,27
Fevereiro/2021	328,00	R\$ 246,88
Março/2021	290,00	R\$ 177,60
Abril/2021	331,00	R\$ 258,94
Média	303,29	R\$ 212,79

FONTE: O AUTOR, 2021.

De acordo com os dados obtidos na Tabela 2, o nosso Projeto será dimensionado para atender a demanda de 304kWh por mês.

Custo de Implementação do SESF

A fim de obtermos o custo de implantação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica na residência supracitada, fizemos um orçamento com a empresa NeoSolar.

Neste orçamento estão incluídos os custos com todos os equipamentos necessários a implantação do Sistema, tais como:

- Projeto e Regularização do Sistema;
- Projeto Elétrico, Instalação Completa e Comissionamento;
- Homologação junto a Concessionária de energia elétrica Light S.A.
- Acompanhamento da geração por 3 meses.

Veremos na Figura 25 o detalhamento dos equipamentos, serviços e garantias fornecidos pela empresa NeoSolar.

Figura 25 - Detalhamento dos Equipamentos, Serviços e Garantias

EQUIPAMENTO	MODELO	QUANTIDADE
Painéis Solares	OSDA 450Wp	4
Inversor	Deye 2 kW c/ Wifi	1
Stringboxes	NeoSolar/Proauto	De acordo com o projeto
Cabos Solares e Conectores	Conduspar e Multicontact	De acordo com o projeto
Estrutura de Fixação	Telhado cerâmico, em aço inox e alumínio	4

SERVIÇOS		
Projeto e Regularização do Sistema	Projeto elétrico	Instalação e comissionamento
Instalação Completa e Comissionamento	Homologação garantida junto à distribuidora	Acompanhamento da geração por 3 meses

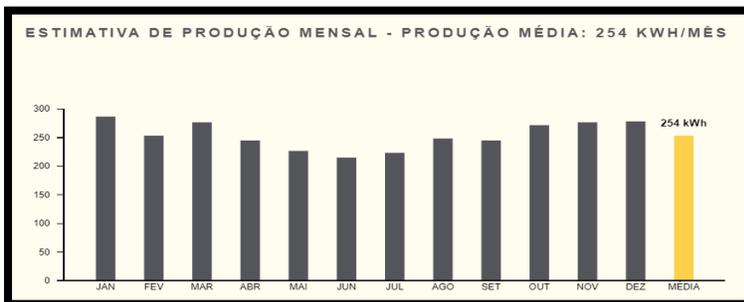
GARANTIAS

- Painéis: 25 anos contra perda de potência superior a 20% e 10 anos contra defeitos de fabricação
- Inversores: 5 anos contra defeito de fabricação
- Stringboxes, Cabos e Conectores: 18 meses

FONTE: NEOSOLAR, 2021.

Na proposta enviada, também nos foi fornecido um gráfico com a estimativa de energia produzida pelo sistema (Figura 26).

Figura 26 - Estimativa de Energia Produzida pelo Sistema



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

Tempo de Retorno do Investimento

Antes de falarmos sobre o tempo de retorno do investimento no sistema, precisamos refletir sobre alguns pontos:

- No cálculo da média do custo com energia elétrica, não foi considerada a cobrança da taxa de iluminação pública, que no município do Rio de Janeiro é cobrada em relação a faixa de consumo mensal, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Taxa de Iluminação Pública Conforme Consumo Mensal

Faixa de consumo mensal (KWH)	VALOR DA COSIP DE OUTUBRO/2021
Até 80	Isento
Superior a 80 até 100	Isento
Superior a 100 até 140	R\$ 7,30
Superior a 140 até 200	R\$ 10,40
Superior a 200 até 300	R\$ 15,28
Superior a 300 até 400	R\$ 21,41
Superior a 400 até 500	R\$ 27.53

FONTE: LIGHT, 2021.

- Conforme legislação vigente, mesmo que a unidade familiar não utilize a energia elétrica fornecida pela concessionária, é cobrada uma taxa de disponibilidade de energia, que na cidade do Rio de Janeiro hoje, equivale ao consumo de 30kwh. (Figura 27).

Figura 27 - Tarifas de Baixa Tensão

TARIFAS DE BAIXA TENSÃO - R\$/kWh - Outubro/2021							
Classe de consumo	Tarifa com PIS/COFINS e ICMS					Tarifa homologada pela ANEEL sem incidência de ICMS/PIS/COFINS	Tarifa com PIS/COFINS isenta de ICMS
	Faixa consumo						
	até 50 kWh	de 51 até 300 kWh	até 300 kWh	de 301 até 450 kWh	acima de 450 kWh		
	Residencial (isento de ICMS)	Residencial (ICMS de 18%)	Demais Classes (ICMS de 20%)	Todas as Classes (ICMS de 31%)	Todas as Classes (ICMS de 32%)		
Residencial	0,72072	0,88640	-	1,06286	1,07939	0,69405	0,72072
Tarifa Social							
- até 30 kWh	0,22069	-	-	-	-	0,21253	0,22069
- 31 até 50 kWh	0,37833	0,46530	-	-	-	0,36433	0,37833
- 51 até 100 kWh							
- 101 até 220 kWh	-	0,69795	-	-	-	0,54650	0,56749
- acima de 220 kWh	-	0,77550	-	0,92989	0,94435	0,60722	0,63055
Não residencial	-	-	0,90963	1,06286	1,07939	0,69405	0,72072
Rural	-	-	0,80047	0,93531	0,94986	0,61076	0,63423
Coop. Eletificação Rural	-	-	0,80047	0,93531	0,94986	0,61076	0,63423
Serv. Público de Irrigação Rural	-	-	0,76408	0,89279	0,90667	0,58299	0,60539
Iluminação Pública							
- Rede de Distribuição	-	-	0,50029	0,58456	0,59365	0,38172	0,39639
- Bulbo da Lâmpada	-	-	0,54577	0,63770	0,64762	0,41642	0,43242

FONTE: LIGHT, 2021.

Analisando os padrões de consumo da residência em estudo, observamos que durante 7 meses do ano a produção de energia solar não será suficiente, fazendo com que seja consumida a energia elétrica fornecida pela concessionária, gerando um custo adicional na conta.

Sendo assim, podemos dividir a economia com gastos de energia elétrica da seguinte maneira (Figura 28):

Figura 28 - Economia Com Gastos de Energia Elétrica

Média de consumo mensal de energia (Referência: Maio a Setembro)		Média de consumo mensal de energia (Referência: Outubro a Abril)	
Consumo médio mensal	256,23 KWh	Consumo médio mensal	303,29 KWh
Produção do Sistema Solar	254,00 KWh	Produção do Sistema Solar	254,00 KWh
Consumo excedente a ser pago	2,23 KWh	Consumo excedente a ser pago	49,29 KWh

FONTE: O AUTOR, 2021.

Como é possível observar, nos meses de menor consumo, a diferença entre a quantidade de energia produzida pelo SESF e a consumida pela residência, não implicará em custo adicional, haja vista que o consumo excedente está dentro da faixa de cobrança de

disponibilização de energia elétrica. Já nos meses de maior consumo, será gerado um custo adicional, devido ao fato do consumo excedente ultrapassar o cobrado na taxa de disponibilidade de energia.

Transformando toda a análise do consumo em números, podemos criar o esquema de gasto com energia elétrica (Tabela 4) da seguinte maneira:

Tabela 4 - Gastos Com Energia Elétrica

Período de menor consumo (Maio a Setembro)			
Item	Com SESF	Sem SESF	Economia
Taxa de iluminação pública	R\$ 15,28	R\$ 15,28	80% 
Taxa de disponibilização de energia	R\$ 21,60	R\$ -	
Consumo de energia	R\$ -	R\$ 172,37	
Total mensal	R\$ 36,88	R\$ 187,65	
Período de maior consumo (Outubro a Abril)			
Taxa de iluminação pública	R\$ 15,28	R\$ 15,28	78% 
Taxa de disponibilização de energia	R\$ -	R\$ -	
Consumo de energia	R\$ 35,49	R\$ 212,79	
Total mensal	R\$ 50,77	R\$ 228,07	

FONTE: O AUTOR, 2021.

Conforme podemos observar na tabela acima, é gerada uma economia mensal expressiva, em torno de 79% por mês com o gasto de energia elétrica.

Tratando-se da implantação de um novo sistema de geração de energia, precisamos analisar em quanto tempo teremos o retorno desse investimento promissor.

Para que isso seja possível, comparamos o custo anual com energia elétrica, que é exibido na Tabela 5 que segue abaixo.

Tabela 5 - Comparativo Anual dos Custos com Energia Elétrica

COMPARATIVO ANUAL DOS CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA					
Item	Quantidade (meses)	Custos Mensal		Custo anual	
		Com SESF	Sem SESF	Com SESF	Sem SESF
Período de menor consumo (Maio a Setembro)	5	R\$ 36,88	R\$ 187,65	R\$ 184,40	R\$ 938,25
Período de maior consumo (Outubro a Abril)	7	R\$ 50,77	R\$ 228,07	R\$ 355,39	R\$ 1.596,49
Total				R\$ 539,79	R\$ 2.534,74
Economia anual com o SESF				R\$	1.994,95

FONTE: O AUTOR, 2021.

Voltando para o orçamento solicitado a empresa NeoSolar, toda a implantação do sistema, incluindo todos os itens já especificados na Figura 25, o valor a ser investido é de R\$9.759,00.

Sabendo o valor do investimento e a economia anual gerada pela implantação do Sistema podemos definir o tempo de retorno, que é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Tempo de Retorno do Investimento

TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	
Item	Com SESF
Investimento inicial	-R\$ 9.759,00
Diferença de custo anual com energia	R\$ 1.994,95
Ano 1	-R\$ 7.764,05
Ano 2	-R\$ 5.769,10
Ano 3	-R\$ 3.774,15
Ano 4	-R\$ 1.779,20
Ano 5	R\$ 215,75

FONTE: O AUTOR, 2021.

A partir do quinto ano após a instalação do SESF, já é possível observar o retorno do investimento e perceber a economia gerada por ele.

CONCLUSÃO

Este ano o Brasil bateu vários recordes em geração de energia solar passando a ocupar o 14º lugar na lista dos países com maior capacidade de geração solar ao alcançar 10 GW de potência instalada que representa mais de 70% da potência gerada pela hidrelétrica de Itaipu e atingimos o 7º Lugar no ranking dos países que mais geraram empregos no mundo através da energia solar fotovoltaica.

Isso demonstra que com um maior incentivo e investimentos, devido a nossa localização geográfica privilegiada com grande quantidade de radiação solar durante todo o ano poderemos chegar a ser líderes mundiais neste tipo de geração que além de não prejudicar o meio ambiente e o planeta porque tem como fonte geradora a energia do sol que é inesgotável, ainda propicia vantagens tanto ao Governo como a sociedade como um todo.

Afinal, quando o consumidor opta por este sistema além da economia em sua conta de luz, o Governo garante inúmeros incentivos, dentre eles destacamos a isenção do PIS e CONFIS (nível federal) e ICMS (estadual) sobre a energia gerada e em âmbito municipal, várias cidades já concedem o desconto sobre o IPTU.

Ao longo desta pesquisa monográfica pudemos concluir que o sistema de energia solar fotovoltaico consiste numa alternativa viável e real para a crise na matriz energética brasileira.

Concluimos também que tanto os sistemas ON-GRID como os OFF-GRID representam uma excelente alternativa aos sistemas de energia tradicionais que utilizam combustíveis fósseis que além de ser mais caros liberaram os gases de efeito estufa em nosso planeta para a piora nas alterações climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica, 2019, 72 p.

ALVES. Nayane Carolina. **Estudo De Viabilidade Econômico-Ambiental De Um Sistema De Bombeamento De Água Para Dessedentamento Animal Por Meio De Energia Fotovoltaica Na Fazenda Ibia, Município De Colinas-To.** (Monografia) Centro Universitário Luterano de Palmas. 2016. p.64.

ARAÚJO, Ericka. **Materiais Fotovoltaicos Começam a Ser Reciclados no Brasil.** (artigo). Canal Solar, 2021. Disponível em <https://canalsolar.com.br/materias-fotovoltaicos-comecam-a-ser-reciclados-no-brasil/>. Acesso em 10 de outubro de 2021 às 12:45h.

ARQAR. **Energia Solar Viável e sem Mágica.** Disponível em <https://arqrodrigo.guedes.blogspot.com/2016/02/energia-solar-viavel-e-sem-magica.html>. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 22:47h

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 / Ministério de Minas e Energia.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011

CINTRA JÚNIOR, Anizio; SOUZA, Igor de Menezes. Células fotovoltaicas: **O futuro da energia alternativa.** TCC (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia, GO, 2018, 43 p.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade | vol.15, n.7 | jun/dez – 2018. ISSN 2319-2856.

CSEM BRASIL. **CSEM Brasil e Energisa uma parceria de sucesso.** Disponível em <https://csembrasil.com.br/energisa>, Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:50h.

ELETRÔNICA XAVIER. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em <https://eletronicaxavier.com.br/energia-fotovoltaica>. Acesso em 10 de outubro de 2021 às 21:49h

FREITAS, Taise Roberto de; SANTIN, Maria Carolina Yoshida; NASCIMENTO, José Gustavo Mateus; MARQUES, Claudia Scoton Antônio; PINTO, Bruno Henrique. **O Sistema Fotovoltaico como Solução Alternativa na Produção de Energia Elétrica no Brasil.** IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP – 26 a 29/11/2018. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-009.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2021 às 21:30h

GOETZE, Felipe. **Projeto de Microgeração Fotovoltaica Residencial: Estudo de Caso.** TCC (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre/BR-RS: 2017. 82 f.

GOLÇALVES, Livia Larissa de Carvalho. **Energia Solar: Oportunidades e Ameaças para a Geração de Energia Elétrica no Brasil.** TCC (Graduação). Universidade Federal Fluminense. Niterói/RJ:2019. 54p.

HEIN, Henrique. **Painéis solares: mitos e verdades sobre o descarte dos equipamentos.** Canal Solar, 2021. Disponível em <https://canalsolar.com.br/paineis-solares-mitos-e-verdades-sobre-o-descarte-dos-equipamentos/>. Acesso em 9 de outubro de 2021 às 10:45h.

INTER SOLAR RIO. **Energia Solar Fotovoltaica: 20 dúvidas esclarecidas de forma simples pela equipe Inter solar rio.** Disponível em <https://intersolarrio.com>. Acesso em 02 de novembro de 2021 às 16:57h

KOLOZUKI, Ronaldo; SAUAIA, Rodrigo; AVILA, Eduardo. **Energia solar como ferramenta de transformação social no Brasil.** Artigo publicado no Canal da Bioenergia. ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: 2021. Disponível em <https://www.absolar.org.br/artigos/artigo-energia-solar-como-ferramenta-de-transformacao-social-no-brasil>. Acesso em 11 de setembro de 2021 às 23:45h.

LIRA Marcos Antônio Tavares; MELO, Marina Larisse da Silva; RODRIGUES, Larissa Mendes; SOUZA, Tatiana Ribeiro Militão de. **Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO2 no Estado do Ceará.** [Artigo] Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, 389-397, 2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786343046>. Acesso em 12 de setembro de 2021 às 18:54h.

LIGHT. **Histórico de Consumo Anual.** Disponível em https://agenciavirtual.light.com.br/portal/Historico_Consumo.aspx. Acesso em 12 de outubro de 2021 às 19:45h.

MELO, Felipe Cesar. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Projeto Fotovoltaico: Estudo de Caso: Estádio Aderbal Ramos da Silva.** TCC (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis: 2020. 91 p.

NEOSOLAR. **Controladores PWM e MPPT.** Disponível em <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-pwm-e-mppt>. Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:45h.

OLIVEIRA, Ana Quézia Ribeiro de. **Sistema Fotovoltaico X Sistema Convencional de Alimentação: Uma Análise de Custo.** Monografia (Graduação). Universidade do Recôncavo da Bahia - Centro de Ciências e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade. Feira de Santana/BA:2018. 63 p.

OLIVEIRA JUNIOR, Marcelo de. **A energia solar fotovoltaica e suas contribuições nas demandas energéticas do Brasil.** TCC (Graduação). Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia. Fortaleza/CE: 2018. 62 p.

PEREIRA, Nilson Leite. **Energia solar uma perspectiva de sustentabilidade e viabilidade econômica**. TCC (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Cuiabá/MT: 2016. 46 p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em 10 de setembro de 2021 às 21:42h

PORTAL SOLAR, **Célula Fotovoltaica**. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, Acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h.

_____. **Como Escolher o melhor inversor solar para a minha casa**. Disponível em <https://www.portal-energia.com/como-escolher-o-melhor-inversor-para-o-sistema-solar-da-minha-casa>. Acesso em 02 de novembro de 2021 às 14:37h

Prêmio Secap de Energia 2019: **coletânea de monografias premiadas**/ Ministério da Economia (ME), Secretaria de Avaliação, Planejamento, Energia e Loteria (Secap). – Brasília: Enap, 2020. 358p. ISBN 978-65-88735-00-8.

RETECK JR. Energia Solar. Disponível em <https://www.reteckjr.com/projetos-fotovoltaicos>. Acesso em 27 de outubro de 2021 às 22:57h.

SACYR. Charles Frittz, The Unknown Inventor Of Solar Panels. Disponível em <https://www.sacyr.com/en/-/charles-fritts-el-desconocido-inventor-de-los-paneles-solares>, Acesso em 12 de outubro de 2021 às 15:45h.

SILVA, Luiz Felipe Muzzi. **A Viabilidade da Geração de Energia Solar em Residências no Município de Cuiabá - MT**. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá/MT: 2019. p.40

SIQUEIRA, Allan Fabio Pereira; SANTOS, Letícia Neves dos. **Estudo de Implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede (SFVCR) na Câmara Municipal de São José dos Pinhais**. TCC (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT. Curitiba/PR: 2016. 82 p.

SOLAR BRASIL. **Características de Inversores para sistemas de energia solar Off-Grid**. Disponível em <https://www.solarbrasil.com.br/blog/caracteristicas-de-inversores-para->

sistemas-de-energia-solar-off-grid. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 09:45h.

TECHNICA COMMUNICATIONS. **Calvin Souther Fuller and the Birth Of the Solar Cell.** Disponível em <https://www.technicacommunications.com/cleantech/calvin-fuller-solar-cell/> Acesso em 13 de outubro de 2021 às 22:37h.

VIDAL, Adriana Lopes. **Energia Solar no Brasil: Geração Distribuída nos Setores Comercial e Industrial.** Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto de Economia. Rio de Janeiro/RJ: 2017. p.57

WANDERLEY, Silvanney Stonny Cordeiro. **Energia Solar Fotovoltaica: potencial nordestino com enfoque em Alagoas e seus impasses políticos e econômicos para micro e minigeração distribuída.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Alagoas. Unidade de Santana do Ipanema. Santana do Ipanema/AL: 2017. 57 p.

WORUBY, Mauro Sérgio. **Sistema de Energia Solar Residencial.** TCC (Graduação). UNOPAR - Universidade do Norte do Paraná. Ponta Grossa/PR:2018. p.34

Samuel Augusto Martins Sobrinho

UNESA

Fabício Barbosa Freitas

UNESA

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo modelar um container marítimo em um espaço 3D para ser utilizado como padrão em outros projetos. Este container se utilizará de um mínimo de material possível para que possa se adaptar à quase todo tipo de desafios de moradia e terreno. Utilizando um conceito simples de modularidade onde tubos se conectam à todas as faces do container carregando em si componentes básicos para moradia como água, esgoto, eletricidade e gás. Também será feita uma análise de situação onde tem-se o objetivo de analisar os problemas de habitação atuais do Brasil e usando o container como base da construção para amenizar este problema, principalmente para a parte mais carente da população. A metodologia utilizada foi obtida por meio de pesquisa bibliográfica para fundamentação e embasamento do tema através de outros trabalhos acadêmicos. Mediante o exposto, concluiu-se um modelo minimalista de fácil utilização no software AutoCAD, podendo ser utilizado por empresas e sendo de fácil personalização.

Palavras-chave: container; modular; residencial; AutoCAD.

INTRODUÇÃO

Conforme os anos passam, a humanidade vai se modernizando e criando novas tecnologias, mas ao mesmo tempo, gerando cada vez mais resíduos e degradando o meio ambiente. A sobrevivência da humanidade depende de alterações dos hábitos de consumo, no modo de produzir e fazer negócios (JOHN & PRADO, 2010). Este estilo de vida exerce forte pressão sobre o meio ambiente, atualmente a metade dos seres humanos habitam zonas urbanas e dependem de edificações para seu resguardo e sua existência (EDWARDS, 2008). A construção civil, é responsável pelo grande espaço construído em que vivemos e para que este ambiente construído seja mantido e atualizado a indústria da construção consome 50% dos recursos mundiais, o que faz com que este setor exerça uma das atividades menos sustentáveis do planeta (EDWARDS, 2008).

O tamanho do impacto ambiental causado pela construção civil está diretamente relacionado com a extensa cadeia produtiva do setor, que se inicia pela extração de matérias-primas, produção, transporte de materiais, projeto, execução, ocupação de terras, geração/descarte de resíduos, uso, manutenção, destinação dos resíduos gerados durante o uso da edificação e ao final da vida útil, sua demolição ou desmontagem. Além disso, também é utilizada água e energia durante a construção, uso e manutenção do edifício (AGOPYAN, et al., 2011).

Segundo Edwards (2008), estima-se que a população mundial chegará em 2050 a 10 bilhões de habitantes no planeta, o que afetará diretamente o meio ambiente (recursos naturais e resíduos) e exigirá novas abordagens nos projetos de edifícios como a utilização de resíduos. Com isto eles deverão ser vistos como potenciais fontes de energia ou futuros materiais de construção com a intenção de reduzir as etapas da cadeia da construção civil.

Nos objetos que podem ser reutilizados estão os containers marítimos, que, por ter uma padronização graças a *International Organization for Standardization* (ISO), ele pode ser reutilizado de várias formas. Com o reuso do container vários problemas podem ser evitados como a extração de recursos naturais, reduz etapas na construção e diminui resíduos na obra.

A construção modular é um processo industrializado da construção que é realizado através da junção de seções ou módulos fabricados em um determinado local e posteriormente transferidos e montados na sua obra. São diversos os tipos de materiais usados na construção modular, tais como, madeira, aço, paredes de concreto pré-fabricados, etc. (FUTURENG, 2016).

O container é considerado como uma forma de construção modular, pois já é um produto pronto, que é feito de aço superdimensionado, pode ser empilhado, suporta até 25 toneladas de carga e tem medidas ideais para aplicação na construção. Ele vem sendo utilizado como uma boa alternativa para quem procura uma construção rápida, segura e, geralmente, com um valor reduzido em comparação à construção convencional (SANTOS, 2017).

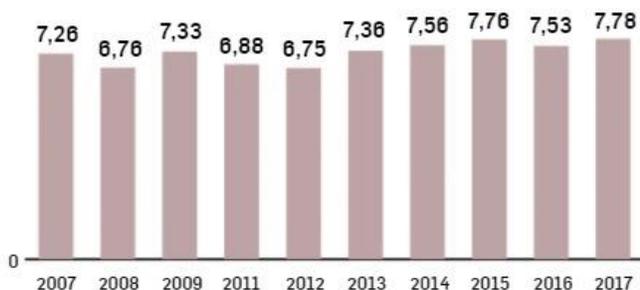
Devido a problemas de déficit habitacional e, recentemente, as grandes quantidades de despejos causados pela pandemia, vê-se a necessidade de criar novas soluções de moradias temporárias.

Segundo Cristiane (2020) o déficit habitacional que aflige o Brasil hoje, é antigo e atingiu a marca de 6,3 milhões de moradias em 2015, este dado é da Fundação João Pinheiro, que atua junto ao Ministério das Cidades. Outro levantamento mais recente, feito pela Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (Abrainc), constatou que a demanda reprimida chegou a 7,97 milhões de moradias em 2019. O estudo se baseia em dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad) Contínua, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Figura 1 – Evolução do déficit habitacional

Evolução do déficit habitacional

EM MILHÕES DE UNIDADES

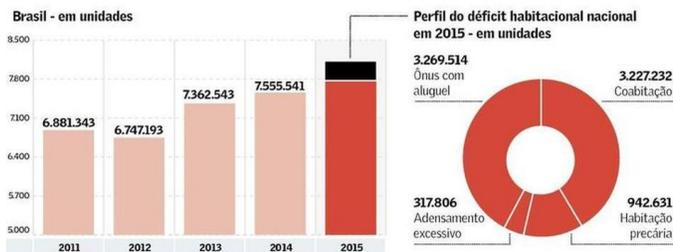


Fonte: [Engenharia 360](#), 2020.

Figura 2 – Déficit habitacional nacional

O tamanho do problema

Déficit habitacional mostra tendência de crescimento nos últimos anos



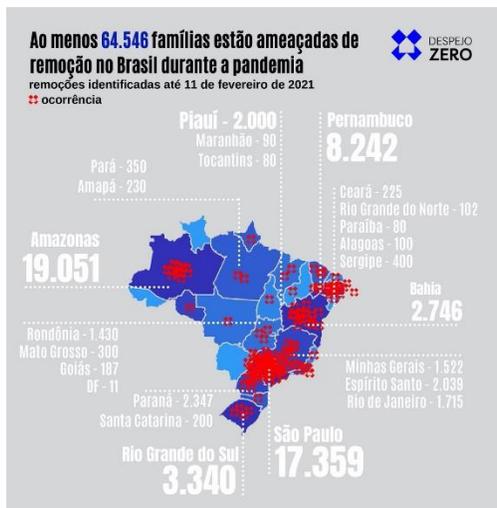
Fonte: Fundação Getúlio Vargas

Fonte: Fundação Getúlio Vargas, 2018

Ainda segundo Cristiane (2020): “Especialistas que estudam o tema apontam que praticamente todos os municípios do país têm algum déficit habitacional, o que dá a dimensão do desafio que o país tem pela frente. No ano passado, por exemplo, também chamou a atenção o número de moradias precárias, contabilizado em pelo menos 874 mil naquele período, segundo a Abrainc. A quantidade abrange contextos de habitação como, por exemplo, barracas de ruas e casas feitas com papelão e madeirite, considerados materiais não duráveis. Programas habitacionais como o “Minha Casa, Minha Vida”, por exemplo, conseguiram criar uma média de 1,5 milhão de moradias no país na história recente, mas a marca não foi suficiente para superar o problema. Um dos indicadores que sinalizam a constatação vem da quantidade de domicílios habitados por mais de uma família no Brasil, que era de 3,2 milhões em 2019, ainda de acordo com a Abrainc.”

De acordo com Lima (2021) em meio à pandemia do novo coronavírus, a habitação, que se tornou o espaço de trabalho e da vida social de diversas pessoas devido ao isolamento, vem refletindo uma desigualdade latente e um desrespeito a Constituição e acordos internacionais. Segundo dados da campanha Despejos Zero, no último ano, mais de 9 mil famílias sofreram com ações de despejos pelo país, sendo que outras 64 mil seguem correndo risco de perder seus lares.

Figura 3 – Infográfico da campanha Despejo Zero



Fonte: USP, 2021

Diversos são os problemas enfrentados por aqueles que usam containers marítimos para transportar seus produtos, desde o mais recente que é a falta de containers e o aumento no frete (BARRÍA, 2021), a queda dos mesmos no mar durante o transporte (BARBOSA, 2012) e acidentes durante seu empilhamento (SALLES, 2021).

O principal problema relacionado aos containers marítimos é que a vida útil do contêiner para o mercado náutico é de aproximadamente 8 anos tendo uma vida real de 100 anos, o que geraria uma média de 92 anos de “inutilidade forçada” segundo Rangel (2015).

Há um número enorme de contêineres vazios ao redor do mundo, apenas ocupando espaço nos portos. Uma das razões para isso é que é muito caro para reenviar os recipientes vazios de volta para sua origem, na maioria dos casos, é mais barato comprar novos contêineres da Ásia. O resultado é um excedente de contêineres sem função que podem se transformar em uma casa, escritório, escola, estúdio, abrigos de emergência e etc. (Rangel, 2015).

Com o déficit habitacional cada vez mais alto o governo brasileiro cria programas de assistência para as classes mais necessitadas, entre esses

programas está o mais popular e bem-sucedido, Minha Casa, Minha Vida, mesmo este tendo muitas vantagens, está longe de ser a solução para o problema pois as construções são demoradas e nem sempre sua faixa de preço atendem toda a população pela construção utilizar materiais caros.

O objetivo geral deste projeto é definir o protótipo de container marítimo modular residencial padrão que poderá ser utilizado e modificado para atender diferentes necessidades.

Como objetivo específico temos a formatação 3D da parte interna de um container com tubos utilizados para a modularidade do projeto.

REFERENCIAL TEÓRICO

A história dos containers

O idealizador do container foi o americano Malcom McLean em 1956 que utilizou um trailer de tamanho padrão para o primeiro transporte de cargas em um navio petroleiro. A partir dessa experiência ele foi melhorando e adaptando os containers de forma com que utilizassem o espaço nos navios de forma mais eficiente (SANTOS, 2017).

Figura 4 – Malcom McLean

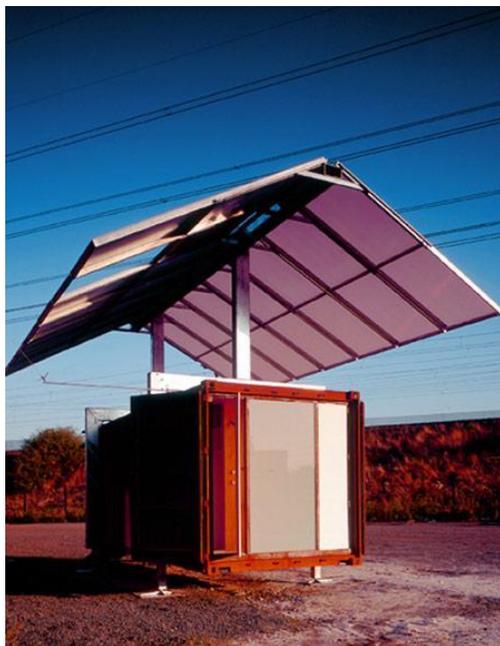


Fonte: [Choice Logistics](#), 2021.

Após o final da guerra do Vietnã em 1968, os containers foram padronizados pela ISO, com modelos encontrados até hoje como os de 10, 20, 30 e 40 pés, sendo os mais populares os de 20 e 40 pés. A partir daí, os containers passaram a ser utilizados como a alternativa mais utilizada no mundo, no que tange o transporte de cargas marítimas, ferroviárias e rodoviárias. (SANTOS, 2017).

Segundo Carbonari (2015), os primeiros projetos a utilizarem contêineres marítimos surgiram através de manifestos arquitetônicos e artísticos. O conceito desses manifestos era enfatizar a mobilidade da moradia e comprovar que era possível residir em apenas um módulo de contêiner. Um exemplo desse manifesto é a obra, Future Shack (Figura 5) projetada pelo arquiteto Sean Gospel, em 1985, na Austrália. Esse tipo de moradia era usada de modo emergencial, podendo ser armazenada e transportada para qualquer região do planeta, e também adaptar-se em terrenos acidentados.

Figura 5 – Future Shack



Fonte: Residential Shipping Container Primer (RSCP), 2016.

No Brasil a primeira casa feita com o reuso de contêiner marítimo (Figura 06) foi projetada pelo arquiteto Danilo Corbas, em 2011, localizado em Cotia, São Paulo. (CBCA, 2016). Utilizando-se de quatro contêineres, sendo construído dois pavimentos, contendo aproximadamente 196 m². Nesta casa foram utilizadas outras tecnologias para que ela se tornasse mais sustentável e agredisse menos o ambiente, como o uso de telhado verde, reutilização da água da chuva e o aproveitamento da energia solar (ENGENHARIA E ARQUITETURA, 2016).

Figura 6 – Projeto arquitetônico com containers marítimos



Fonte: Revista Casa e Construção, 2016.

Os Problemas habitacionais no Brasil

De acordo com Siqueira (2017), para entender o problema de moradia no Brasil, devemos entender primeiro como se deu a urbanização nas principais cidades brasileiras, tomando como exemplo a cidade de São Paulo. O processo de urbanização no Brasil está diretamente ligado à especulação imobiliária, principal responsável pelo déficit habitacional (número de casas que faltam para atender aqueles que precisam).

Há mais de 75 anos, com o início do desenvolvimento urbano do Rio de Janeiro e São Paulo, os trabalhadores das fábricas residiam em cortiços, pensões e vilas operárias (conjunto de casas oferecidas aos empregados, descontando de seus salários o aluguel). Sendo assim, os trabalhadores, naquela época, viviam próximos aos seus locais de trabalho, na região central da cidade. As periferias ainda não existiam (SIQUEIRA, 2017).

A partir de 1940 esse fato começou a mudar com a forte realocação populacional do campo para a cidade. Cortiços foram sendo demolidos, os aluguéis aumentaram ficando assim, inviáveis para a maioria dos trabalhadores. Vilas operárias também foram deixando de existir (SIQUEIRA, 2017).

Proprietários de terra vendiam lotes distantes da região central aos trabalhadores, começando assim o nascimento das periferias. O governo levava serviços básicos até essas regiões fazendo com que terrenos que intermediavam essa passagem fossem valorizados e com o passar do tempo se tornando bairros nobres ou de classe média. OS exemplos em São Paulo são os Bairros do Morumbi, Butantã e Vila Sônia, que ficam entre o Centro e a região do Campo Limpo (SIQUEIRA, 2017).

Estudos da Fundação João Pinheiro, utilizados oficialmente pelo Governo, mostram que em 2014, o número de imóveis vagos no Brasil ultrapassa 7,24 milhões, desse total 6,35 milhões de moradias estão em condições boas para ocupação e os outros 886 mil estão em construção ou reforma, colocando assim o Brasil como um dos países com maior déficit habitacional do mundo, ao lado de países como a Índia e a África do Sul (SIQUEIRA, 2017).

Também dito por Siqueira (2017), em 2008, ainda segundo os números da Fundação João Pinheiro, o déficit habitacional quantitativo (número de pessoas que não tem casa) chega a 22 milhões de brasileiros. Já o déficit qualitativo (número de pessoas que moram em situação extremamente inadequada) atinge 53 milhões de pessoas. Número que representa 1/3 da população brasileira. O IBGE divulgou em 2007, por meio de uma Pnad, que 90% das famílias brasileiras que não possuem casa viviam com renda menor que 3 salários-mínimos por mês. Na época o salário-mínimo era de R\$ 380 mensais. Durante a Ditadura Militar, em agosto de 1964, para tentar solucionar (ou amenizar) o problema, o Governo criaram o primeiro programa habitacional brasileiro, denominado Banco Nacional da Habitação (BNH). Entretanto, a proposta não foi suficiente e nem atendia os mais necessitados. Das cercas de 5 milhões de casas financiadas, 25% foram destinadas a famílias com renda menor que 5 salários-mínimos. Tempos depois, no Governo Lula, foi lançado em fevereiro de 2009 o programa habitacional Minha Casa Minha Vida.

O programa está ativo até hoje mesmo sobre severas críticas dos movimentos populares pois exclui aqueles que possuem renda menor do que 3 salários-mínimos, sendo estes a maior parte dos necessitados (SIQUEIRA, 2017).

Tipos de Container

Container Standard

Também chamado de Dry Box, é o modelo comum e mais barato dentre todos. Este modelo de container é utilizado para cargas secas que são produtos industrializados e não perecíveis. É ideal para transportar mercadorias como madeira, pallets, caixas, materiais de construção dentre outros.

Este modelo possui as opções de 20 e 40 pés de comprimento.

O modelo standard de 20 pés tem medida interna de 5,900 m de comprimento, 2,350 m de largura e 2,393 m de altura, com capacidade cúbica de 33,2m. Sua medida externa, é de 6,058 m de comprimento, 2,438 m de largura e 2.591 m de altura, com capacidade máxima de 24.000 kg (BUENO, 2021).

Figura 7 – Container de 20 e 40 pés



Fonte: RATUNDE, 2021.

Container Refrigerado ou Reefer

São similares nas dimensões dos containers standard e High Cube e também possuem variação de 20 e 40 pés. O container refrigerado é fabricado em duralumínio ou aço inox, materiais apropriados para suportar variados tipos de temperaturas sem sofrer alterações.

Normalmente o container refrigerado possui um sistema de refrigeração que fica na parte frontal do container, lado oposto da porta, equipado com um compressor, condensador, entrada de ar, controlador externo, dispositivo de expansão e evaporador internos.

Também possuem um conjunto de resistências para aquecimento de produtos que podem necessitar de temperaturas superiores, como vinho ou produtos farmacêuticos, por exemplo.

O segredo do container reefer está no fluxo de ar interno, que mesmo estando em condição de carga máxima, não deve ser bloqueado, para isso existem linhas vermelhas internas para demarcar o limite máximo de carga.

Uma das principais funções do container reefer é o transporte de alimentos ou qualquer produto que exija uma determinada temperatura constante, como frutas, verduras, carnes, aves, frutos do mar, bebidas, produtos lácteos, produtos químicos e farmacêuticos, eletrônicos, flores e chocolates (LIEBEL, 2019).

Figura 8 – Exemplo de container reefer



Fonte: Miranda Container, 2020.

Container High Cube

Este container tem características semelhantes ao standard diferenciando apenas a sua altura por ser maior e só é encontrado na versão de 40 pés (RATUNDE, 2021).

Figura 9 – A esquerda, um exemplo de container High Cub, à direita, um container High Cube ao lado de um modelo standard



Fonte: RATUNDE, 2021

Container Tanque

Existe uma variedade de modalidade para o container tanque. Todos são revestidos, indicados para transporte de produtos químicos corrosivos ou cargas de ácidos e vinhos.

Figura 10 – Exemplo de container tanque



Fonte: RATUNDE, 2021

Pontos positivos e negativos do container para uso residencial

Segundo J. Rangel (2015), T. Occhi e A. Romanini (2014), algumas das vantagens e desvantagens do uso de container na construção civil são:

Pontos positivos:

- Redução significativa de entulho e utilização de materiais.
- Execução rápida entre 60 e 90 dias.
- A construção pode ser montada e desmontada com certa facilidade.
- Baixo custo de aquisição e renovação do container.
- O container tem vida longa grande e já possui a característica de suportar intempéries e grandes cargas.
- Na maioria das construções feitas com containers não é necessário serviços de fundação e terraplanagem é ainda há o adicional de que esse tipo de construção mantém permeabilidade do terreno usado.

Pontos negativos:

- O terreno utilizado precisa de espaço para o uso do guindaste que irá executar o transporte dos containers.
- É necessário mão de obra especializada principalmente se houver algum tipo de corte a ser feito no container.

– O container é constituído primariamente de aço que é um ótimo condutor de calor e péssimo isolante acústico, por isso são necessárias modificações para anular tal efeitos.

– Há pouca legislação adequada por ser um tipo recente de construção.

– Dependendo da carga transportada no passado, pode haver componentes contaminantes.

– Os solventes liberados da pintura e selantes utilizados na fabricação do contêiner podem ser prejudiciais à saúde.

– Pode haver a ferrugem, é preciso tratamento adequado antes da aplicação na construção.

Legislações de Containers no Brasil

Hoje as leis que regem a construção em container são idênticas a qualquer outro modo de construção, onde são exigidos os mesmos procedimentos legais de construções convencionais. Não só isso como cada cidade possui uma variação de suas regras e documentos exigidos. Um exemplo seria que, em algumas regiões é obrigatório a autorização dos bombeiros dependendo do tamanho e tipo de construção (VIANA, 2020).

Em todos os casos, os documentos básicos são:

- Matrícula do imóvel registrada em cartório, ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), plantas baixas e de vista arquitetônica, esquema hidráulico e elétrico.

- Vistoria dos órgãos públicos para a emissão do certificado de conclusão de obra.

- Registro e Cadastro de Imóvel junto a Prefeitura. Após isso é necessário um pedido de ligação de energia e água com a distribuidora da região.

Ainda assim, a portaria SIT nº30, de 13 de dezembro de 2000 regulamenta a construção e condições de vivência na Indústria, que passa a vigorar como a seguir:

"18.4.1.3 Instalações móveis, inclusive contêineres, serão aceitas em áreas de vivência de canteiro de obras e frentes de trabalho, desde que, cada módulo:

a) possua área de ventilação natural, efetiva, de no mínimo 15% (quinze por cento) da área do piso, composta por, no mínimo, duas aberturas adequadamente dispostas para permitir eficaz ventilação interna;

b) garanta condições de conforto térmico;

c) possua pé direito mínimo de 2,40m (dois metros e quarenta centímetros);

d) garanta os demais requisitos mínimos de conforto e higiene estabelecidos nesta NR;

e) possua proteção contra riscos de choque elétrico por contatos indiretos, além do aterramento elétrico.”

Recentemente houve uma mudança na Norma Regulamentadora 18 (NR 18) onde está exige mais responsabilidade dos profissionais legalmente habilitados. Um exemplo seria que, as construções deverão elaborar e implementar um Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). A NR 18 estabelece no seu artigo 3º prazo de 24 meses, a partir da publicação da portaria, para que as empresas deixem de utilizar esses containers de transporte como área habitável em suas obras pois muitas construtoras e empreiteiras utilizam os containers como alojamentos, vestiário, escritório e etc. quando estes podem ter carregado algum componente de risco químico ou radioativo em sua vida útil e não foi devidamente acomodado para o reuso (ATIVA LOCAÇÃO, 2020).

METODOLOGIA

Para a composição desta monografia foi usada a metodologia da pesquisa bibliográfica, para a criação da estrutura 3D para exemplificação do processo foi utilizado o software AutoCAD.

Utilizando o software citado acima foram feitas análises, simplificações e modelagens que resultam em um modelo padrão e personalizado que poderá ser utilizado como base em outros projetos reduzindo custo e tempo de produção.

O material aqui utilizado foi obtido através do site de buscas Google, onde foram utilizadas informações de empresas que utilizam containers marítimos tanto para transporte e para construção. E também foi utilizado o Google Acadêmico para a obtenção de literatura acadêmica referenciada neste trabalho. As buscas para a execução deste trabalho iniciaram-se em dezembro de 2020 com término previsto para novembro de 2021.

Inicializa-se o desenvolvimento da monografia com a pesquisa bibliográfica para contextualizar o tema de forma generalizada e então, durante o desenvolvimento do estudo, demarcar o assunto abordado e responder as questões propostas inicialmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

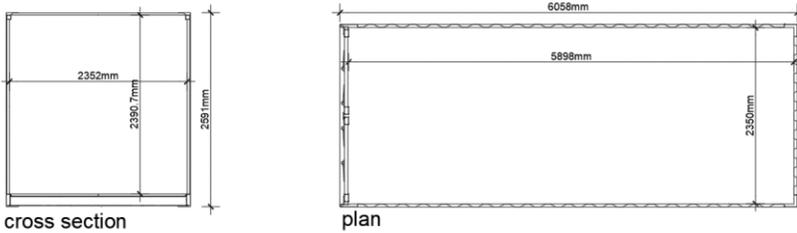
Neste trabalho serão usadas as medidas do container de 20 pés de comprimento descritas a seguir e mostrada nas figuras 11, 12 e 13:

Interna: 5.444 mm de comprimento X 2.294 mm de largura X 2.276 mm de altura, com capacidade cúbica de 28,4 m.

Neste trabalho serão usadas as medidas do container de 20 pés de comprimento descritas a seguir e mostrada nas figuras 11, 12 e 13:

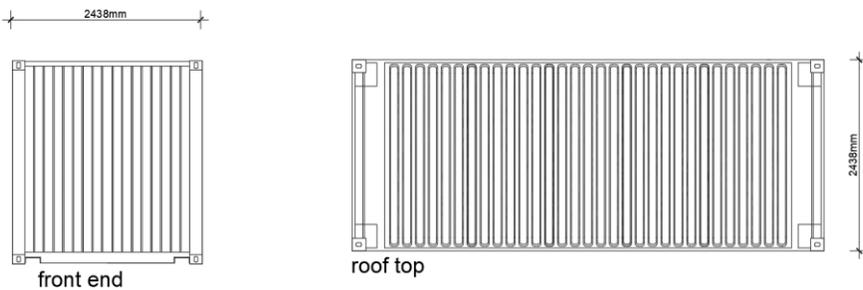
Interna: 5.444 mm de comprimento X 2.294 mm de largura X 2.276 mm de altura, com capacidade cúbica de 28,4 m.

Figura 11 – Cotas internas de um container standard de 20 pés



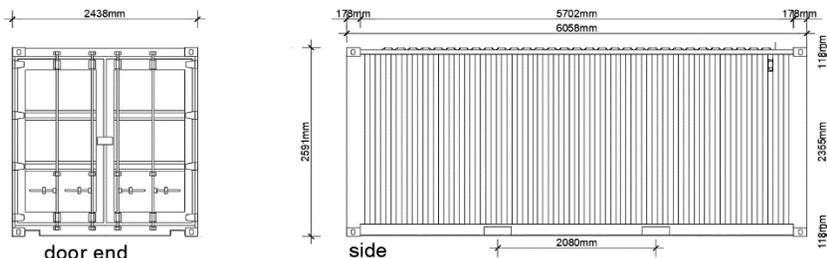
Fonte: DWGAutoCAD, 2021.

Figura 12 – Cotas frontais e superiores de um container standard de 20 pés



Fonte: DWGAutoCAD, 2021.

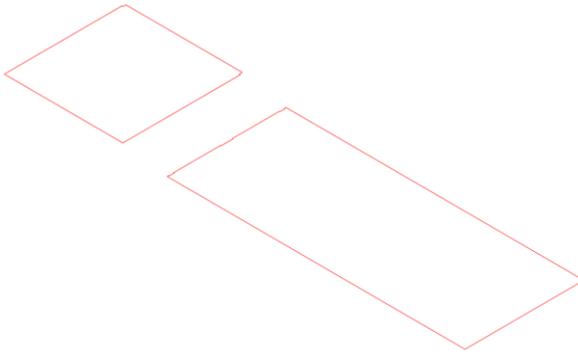
Figura 13 – Cota da porta e da lateral de um container standard de 20 pés



Fonte: DWGAutoCAD, 2021.

Nesta parte usamos o contorno da parte interna do container como mostrado na figura 14:

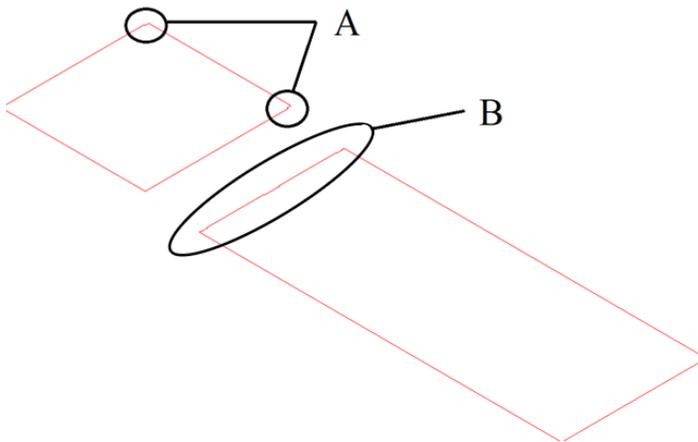
Figura 14 – Delimitação da área interna do container



Fonte: Autoria própria, 2021.

Nas áreas “A” e “B” da Figura 15, são os locais que serão simplificados para utilização neste projeto.

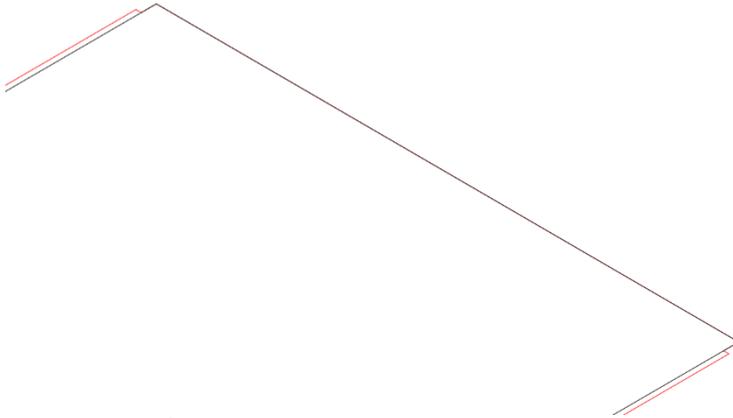
Figura 15 – Áreas a serem simplificadas



Fonte: Autoria própria, 2021.

Como apresentado na figura 16, será a parte contornada em preto.

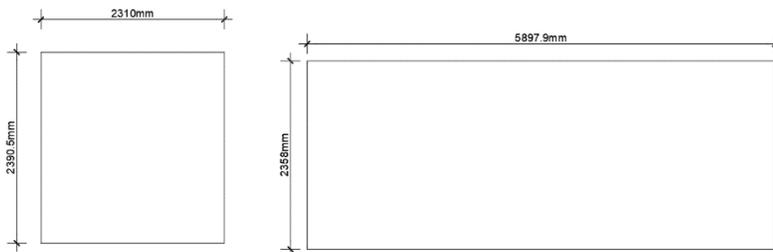
Figura 16 – Demonstrativo da área nova a ser utilizada



Fonte: Autoria própria, 2021.

O final do processo de simplificação está apresentado na figura 17, onde a altura da lateral adotada foi: 2358 milímetros.

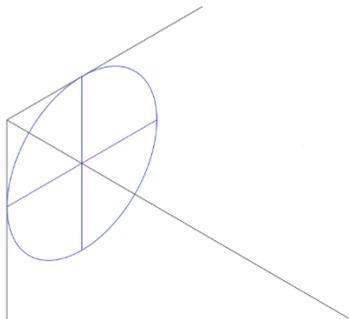
Figura 17 – Cotas das áreas internas do container após simplificação



Fonte: Autoria própria, 2021.

No topo da borda lateral é feita a primeira e uma das mais importantes marcações deste trabalho pois ela dita todas as outras partes. Aqui, todos os tubos utilizados para o exemplo possuem 50 milímetros de diâmetro, mas nessa parte, a marcação utilizada na Figura 18, tem de ser a marcação do tubo de maior diâmetro.

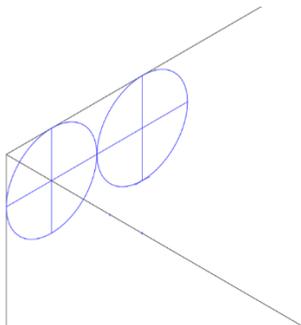
Figura 18 – Primeira marcação para a modelagem 3D



Fonte: Aatoria própria, 2021.

No exemplo da Figura 19, é colocado o diâmetro do tubo ao lado da primeira marcação para o começo da modelagem 3D.

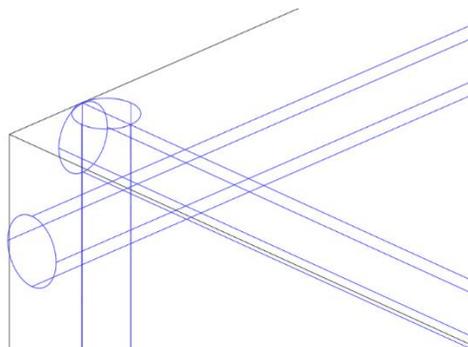
Figura 19 – Segunda marcação para a modelagem 3D



Fonte: Aatoria própria, 2021.

Para a modularidade funcionar em todo o seu potencial, precisamos que os tubos cheguem em todas as faces do container. Na figura 20, é mostrado a direção em que os tubos foram colocados obedecendo a regra principal de não passar pela marcação feita anteriormente na figura 18.

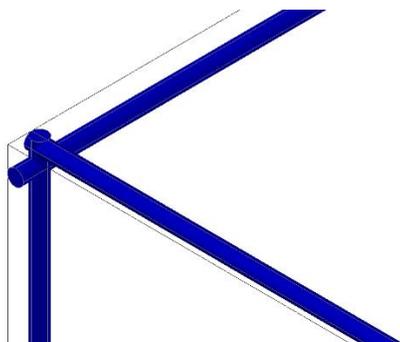
Figura 20 – Amostra da modelagem dos tubos de forma simplificada



Fonte: Autoria própria, 2021.

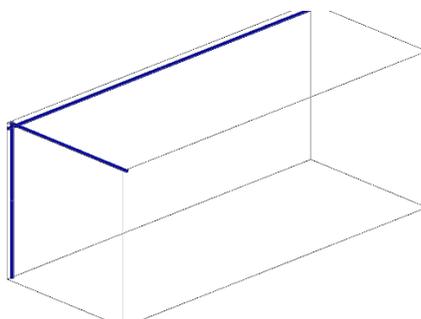
As figuras 21 e 22 mostram os tubos renderizados e suas extensões até as faces do container.

Figura 21 - Amostragem abrangente e realista do primeiro conjunto de tubos



Fonte: Autoria própria, 2021.

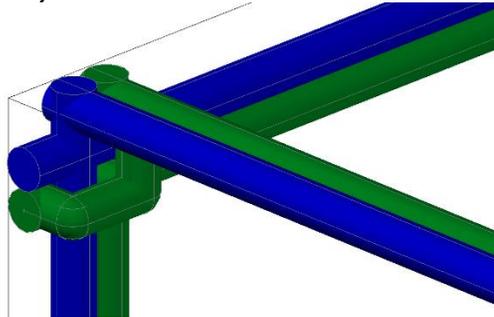
Figura 22 – Amostragem da extensão dos tubos utilizados



Fonte: Autoria própria, 2021.

A figura 23 mostra a renderização de um segundo tubo em conjunto com o tubo mostrado nas figuras anteriores. Em um certo ponto, o novo tubo (verde) precisará contornar o tubo anterior (azul), esse contorno precisa ser feito necessariamente no canto superior mostrado na figura 18.

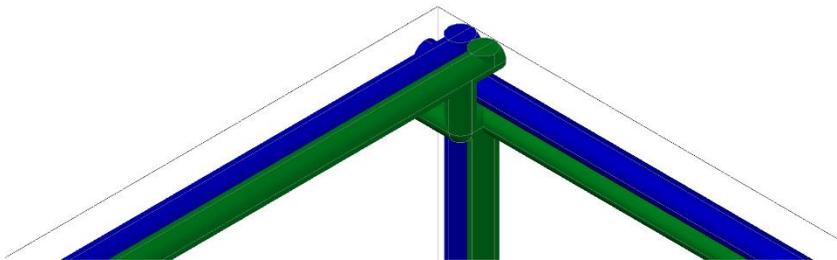
Figura 23 – Adição do segundo conjunto de tubos em verde



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na figura 24 os tubos são mostrados novamente porém sobre outro ponto de vista para melhor entendimento. Note que as saídas dos tubos são similares e tem saídas em todas as faces do container para facilitar a modularidade e o encaixe com novos containers.

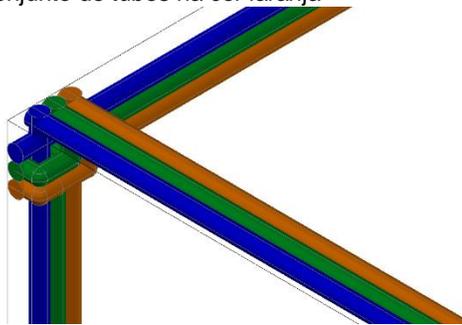
Figura 24 – Visualização dos tubos por outro ângulo



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na figura 25 foi adicionado mais uma série de tubos agora na cor laranja. O mesmo processo anteriormente aplicado será repetido neste conjunto de tubos e no próximo com sua única diferença sendo o local de saída dos tubos novos. Na figura 26 são mostrados os mesmos tubos da Figura 25, mas por outro ponto de vista para melhor entendimento do processo.

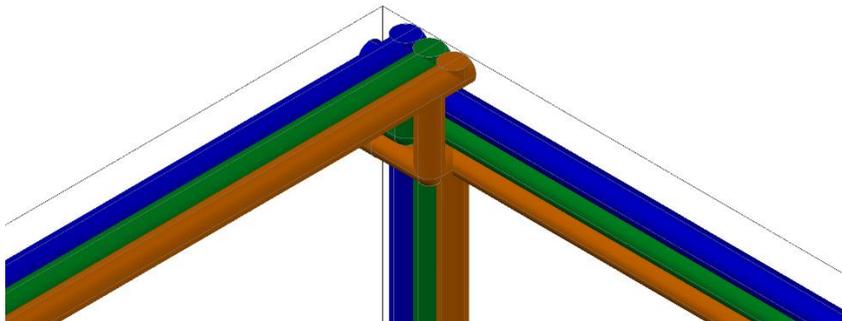
Figura 25 – Adição de um novo conjunto de tubos na cor laranja



Fonte: Autoria própria, 2021.

Mesmo que o tubo verde tenha menos espaço para alterações em relação aos outros tubos, isto foi levado em consideração, sendo assim o tubo verde ainda é de fácil acesso para futuras modificações.

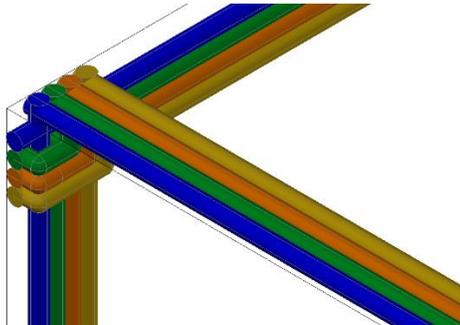
Figura 26 – Novo conjunto de tubos laranja por outra perspectiva



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para finalizar, mais uma série de tubos foi adicionada como exemplo na Figura 27 e as figura 28 e 29 mostram o mesmo exemplo por outro ponto de vista. Algumas particularidades foram deixadas de lado neste exemplo, mas foram levadas em conta durante o processo de desenvolvimento desse sistema modular: O maior tubo deve ser usado como referência para que ele e os outros tubos possam encaixar e funcionar devidamente.

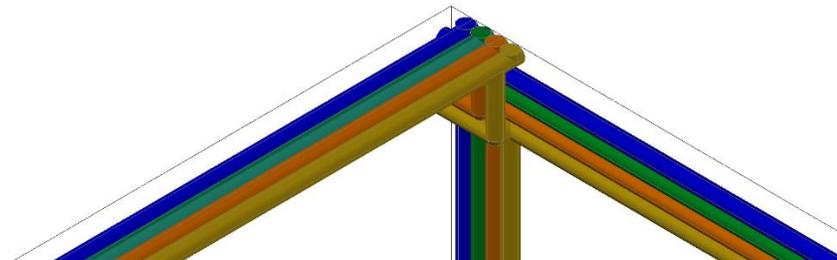
Figura 27 – Conjunto final de tubos adicionados na cor amarela



Fonte: A autoria própria, 2021.

Na Figura 28 podemos ver a parte que se fosse coberta com uma parede como dry wall por exemplo ficaria mais evidente, isto é proposital para que poucos ajustes sejam feitos e o container seja fácil de ser trabalhado.

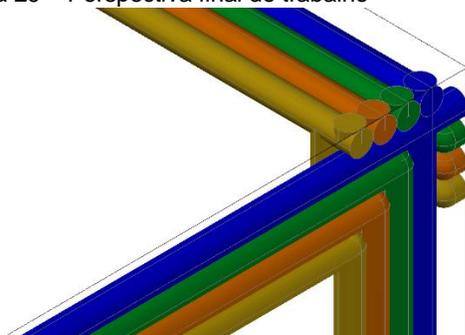
Figura 28 – Projeto visto sobre outra perspectiva com a adição dos tubos amarelos



Fonte: A autoria própria, 2021.

Todas as saídas dos tubos mostradas nesse projeto podem ser alteradas ou excluídas conforme a necessidade final, mas neste projeto foi considerado que o container seria utilizado em todos os seus lados facilitando a logística de futuros projetos.

Figura 29 – Perspectiva final do trabalho



Fonte: Autoria própria, 2021.

CONCLUSÃO

Com vista nos dados e informações coletados neste trabalho e expostos ao longo dele, concluímos que a solução aqui apresentada não pode ser utilizada na eficiência esperada para resolver o problema nacional de habitação. Até sua utilização em uma escala menor é complexa ao ponto de não conseguir simplificado o suficiente para ser utilizado com rapidez e eficiência.

O container marítimo, por ser feito e utilizado para transporte de cargas precisa passar por muitas modificações, concertos e melhorias para ser utilizado como um material de construção. Modificações mais “simples” como uma janela, uma passagem ou porta se tornam complexas de serem usadas nos containers pois estes não foram projetados para receberem esses cortes em suas estruturas, precisando de um reforço estrutural para fazê-las por exemplo. Outro problema é que normalmente os containers são descartados por participarem de algum acidente, normalmente resultando na deformação de sua estrutura. A restauração desse container normalmente é mais cara do que a compra de um container novo e este container acaba não servindo para o reuso como moradia. O transporte desses containers para locais não portuários também é um fator a ser considerado.

O container apresentado neste trabalho não contempla soluções verticais e horizontais. Na vertical seria necessária uma estrutura externa para que os indivíduos possam se mover entre os andares e a mesma estrutura seria necessária para o movimento externo horizontal. Internamente, um novo estudo seria necessário para a utilização de escadas e a utilização de dois ou mais containers para comportarem um espaço como uma sala ou quarto, por exemplo, pois a cada abertura feita em uma lateral do container, é necessário um reforço estrutural para que este não se deforme.

Dadas as situações e problemas acima, o container proposto neste trabalho é uma ótima opção de uma construção temporária ou de emergência

para regiões próximas à regiões portuárias onde sua construção consistiria de pavimentos usados como dormitórios juntos de pavimentos sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; GOLDEMBERG, J. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**: volume 5. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos- Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 6023:2002 Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

BARBOSA, D. **Navios deixam cair mais de 600 contêineres no mar a cada ano**. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/rio20/noticia/2012/06/navios-deixam-cair-mais-de-600-conteineres-no-mar-cada-ano.html>>. Acesso em 10 nov. 2021.

BARRÍA, C. **Como uma das maiores crises de transporte marítimo da história pode afetar seu bolso**. 2021. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-58454798>>. Acesso em 10 nov. 2021.

BUENO, S. **Conheça os tipos de container**. Faz Comex, 2021. Disponível em: <<https://www.fazcomex.com.br/blog/conheca-os-tipos-de-container/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

CARBONARI, L. T. **Reutilização de contêineres ISO na arquitetura: aspectos projetuais, construtivos e normativos do desempenho térmico em edificações no sul do Brasil**. 2015. 196f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/156881>>. Acesso em 10 nov. 2021.

CN01 **Bloques Contenedores Marítimos**. DWGAutoCAD, 2021. Disponível em: <<https://www.dwgautocad.com/cn01-bloques-contenedores-maritimos.html>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

FREITAS, E. **Problemas relacionados à moradia no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/problemas-relacionados-moradia-no-brasil.htm>>. Acesso em 10 nov. 2021.

GUEDES, R.; BUORO, A. B. **REUSO DE CONTAINERS MARÍTIMOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. SENAC SP, 2015. Disponível em: <https://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wpcontent/uploads/2015/12/128_IC_corre%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%B5es-do-autor.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T.A. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/manual-selo-casa-azul-caixa>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

LIEBEL, G. **Tudo o que você precisa saber sobre containers refrigerados**. Delta Containers, 2019. Disponível em: <<https://deltacontainers.com.br/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-containers-refrigerados/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

LIMA, M. **Direito à moradia: quais foram os impactos da pandemia de covid-19 na habitação? 2021**. Disponível em: <<https://www.politize.com.br/direito-a-moradia-e-pandemia-covid-19/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

OCCHI, T; ROMANINI, A. **Reutilização de containers de armazenamento e transporte como espaços modulados na arquitetura**. Rio Grande do Sul. 2014. Disponível em: <<https://www.imed.edu.br/Uploads/Reutiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20containers%20de%20armazenamento%20e%20transporte%20como%20espa%C3%A7os%20modulados%20na%20arquitetura.pdf>>._Acesso em: 10 nov. 2021.

RANGEL, J. **Construção em contêiner: Vantagens e Desvantagens. 2015**. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/construcao-em-conteiner/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

RATUNDE, M, A. **Quais são os tipos de containers**. Conexos, 2021. Disponível em: <<https://blog.conexos.com.br/quais-sao-os-tipos-de-containers/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

SAMPAIO, C. **BdF Explica | Déficit habitacional é desafio no roteiro dos próximos prefeitos. 2020**. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2020/11/29/bdf-explica-deficit-habitacional-e-desafio-no-roteiro-dos-proximos-prefeitos>>. Acesso em 10 nov. 2021.

SANTOS, C. N. **CONSTRUÇÃO MODULAR: UTILIZAÇÃO DE CONTAINERS COMO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. UFMG, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30917/1/Monografia%20Especializa%C3%A7%C3%A3o%20Carolina%20Neiva%20Santos%20-%20FINAL.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2021.

SALLES, K. **Pilha de contêineres desmorona no Porto de Itajaí**. 2021. Disponível em: <<https://ndmais.com.br/infraestrutura/pilha-de-containeres-desmorona-no-porto-de-itajai-veja-video/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

SIQUEIRA, I. **O problema habitacional no Brasil e a luta por moradia**. 2017. Disponível em: <<https://jornalistaslivres.org/o-problema-habitacional-no-brasil-e-luta-por-moradia/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

VIANA, R. **Construção em container, leis e documentação**. Itajaí Containers, 2020. Disponível em: <<https://www.itajaicontainers.com.br/blog/construcao-em-container-leis-e-documentacao/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

Ernani Michel Lima Cardoso de Oliveira
UNESA
Bruno Matos de Farias
UNESA

RESUMO

O presente estudo, visa, recomendar a proposta de reutilização dos blocos de concreto como agregados que antes virariam rejeitos para a construção civil e discutir a importância dessa prática para a construção civil e para a preservação do meio ambiente. A metodologia é voltada para uma pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, inclusive, foram utilizadas as normas técnicas do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, e demais resoluções, que abordam sobre o assunto de pesquisa. No entanto, a construção civil é o setor que mais consome recursos naturais do planeta e um dos maiores responsáveis pela exploração dos recursos naturais do mundo disponíveis no ambiente. Os especialistas e pesquisadores passaram a estudar os impactos da construção civil para o meio ambiente, e passaram a partir disso, buscar meios de reduzir o impacto sem que o setor sofresse perdas de produção. A reciclagem de resíduos possibilita a redução do impacto ambiental e gera produtos que são economicamente interessantes para o setor. Atualmente, o concreto desenvolvido com agregados reciclados é usado de forma majoritária em introduções não estruturais, como nos pavimentos, aterros, artefatos de concreto e nos blocos de vedação. Logo, o uso do concreto reciclável para o concreto estrutural inclusive é possível, porém com diferencial de acabar exigindo um grande entendimento e atenção para a dosagem do material. Concluindo que, a reciclagem de resíduos possibilita a redução do impacto ambiental e gera produtos que são economicamente interessantes para o setor. Os agregados precisam respeitar determinadas características impostas para se encaixarem nos requisitos de utilização determinados pelas normas.

Palavras-chave: construção civil; blocos; agregados.

INTRODUÇÃO

Segundo Fernandez (2011), a construção civil é um dos segmentos da indústria brasileira de maior relevância, e se apresenta como um indicativo do crescimento econômico e social do país, em contrapartida, é uma das atividades que mais geram danos e impactos negativos ao meio ambiente.

O setor ao longo do tempo, buscou o aprimoramento de suas técnicas de trabalho e caminhou em direção ao avanço tecnológico. Ainda assim, continua a crescer e a consumir um grande volume de recursos oferecidos pela natureza e gera muito resíduo, material esse que não possui, em sua maioria, boa qualidade de produção, e que se perde ainda no transporte, gerando muitas vezes falhas no processo de execução da construção de um projeto (FERNANDEZ, 2011).

Além do elevado consumo de recursos retirados da natureza, as grandes construções modificam a paisagem e geram resíduos de diferentes tipos, que podem ir desde os orgânicos às embalagens plásticas. Para Fernandes (2011) o maior problema desses resíduos classificados com grau baixo de periculosidade, é o seu volume. Visto que, os resíduos da construção civil são um problema para muitas cidades no território brasileiro.

Existem dois problemas que podem ser observados em relação a isso nas cidades, um deles é a disposição onde os resíduos estão, que geram problemas estéticos, ambientais e até de saúde pública. Além disso, podem significar sobrecarga para os sistemas de limpeza pública municipais, cerca de 50 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos (FERNANDEZ, 2011).

A escolha do tema se justifica pela importância do assunto na área da construção civil, visto que aumentou de forma considerável a procura em relação à construção civil e conseqüentemente a necessidade de obra-prima, recursos naturais extraídos da natureza. Segundo Fernandez (2011) Comprometendo o meio ambiente, além de ser uma fonte esgotável, ou seja, pode acabar um dia. Sendo assim, há uma necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a reutilização de blocos de concreto como agregados, com objetivo de diminuir o impacto no meio ambiente com o seu descarte indiscriminado.

Os blocos de concreto são elementos estruturais feitos de alvenaria estrutural e elementos de fechamento, chamados de alvenarias de vedação. Desta forma, esse material é muito usado, considerado padrão popular e que tem como resultado maior, quantidade de resíduo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2014), na Norma Brasileira (NBR) 6136 de 2014, define bloco de concreto vazado simples como: “componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta”.

As paredes são fundamentais para as construções e são responsáveis pela forma que as edificações tomam. A alvenaria, como é chamada a parede, segundo Marinowski (2011, s/p) é “um sistema construtivo formado de um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos, unidos entre si, com ou sem argamassa de ligação, em fiadas horizontais que se sobrepõem uma sobre as outras”.

A alvenaria é usada para separar os ambientes. Deve resistir à umidade, vento e possíveis infiltrações causadas pela água da chuva. É usada ainda como suporte para os revestimentos em geral, oferece isolamento térmico e acústico (MARINOSKI, 2011).

A reciclagem e a reutilização é uma alternativa, que unem dois aspectos importantes para eliminar os entulhos que ficam acumulados nas margens de vias públicas, que acabam indo parar em rios e terrenos baldios e ainda, conseguir materiais para construção, com um custo menor e ainda de boa qualidade, ou seja, é a reutilização de materiais que acabariam virando resíduo, mas que fazem parte de um processo de reaplicação, sem terem que ser transformados (BUTTLER, 2007). Nesse sentido, surge o questionamento que norteia a pesquisa e que faz com que se busque material que possa responder “De que maneira é possível reutilizar blocos de concreto como agregados na construção civil brasileira?”.

A pesquisa tem o objetivo geral, recomendar a proposta de reutilização dos blocos de concreto como agregados que antes virariam rejeitos para a construção civil e discutir a importância dessa prática para a construção civil e para a preservação do meio ambiente.

Tendo como objetivos específicos, promover a importância da observação dos impactos ambientais da construção civil, apresentar as normas legais dispostas sobre o tema, além de apresentar de que maneira é feita essa reutilização.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (2002), através da resolução nº 307, define os resíduos da construção civil no Art. 2º Inciso I e diz serem resíduos sólidos aqueles que têm origem das construções, reparos e demolições de obras e ainda os que resultam da preparação e da escavação de terrenos, como: “tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimentos, asfáltico vidro, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados entulhos de obras, calça ou metralha”.

O CONAMA (2002) define ainda o que é Agregado Reciclado na mesma resolução, ainda no Art. 2º Inciso IV e diz que ele é: “o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”.

Segundo Bastos, Cruz e Woelffel (2016) os resíduos de construção e demolição (RCD) “são provenientes das atividades de construção, reforma ou demolição sendo classificados, conforme a Resolução CONAMA nº 307, como resíduos de classe A, que abrangem os materiais reutilizáveis ou recicláveis como agregados” (p. 53). Os autores ainda acreditam que o concreto com agregados reciclados tem características diferentes dos convencionais, e o resultado vai depender da qualidade do agregado.

Lima (1999) acredita ser preciso ter cautela na produção de agregados em especial quando se trata da escolha do resíduo, classificação, eliminação de contaminantes entre outros.

Os blocos de concreto devem seguir alguns parâmetros e serem analisados a partir da sua matéria-prima, fator água/cimento, granulometria dos agregados, traço, tempo de mistura, vibração, prensagem, condições de cura, execução e manuseio do material (BASTOS, CRUZ e WOELFFEL, 2016).

Nesse sentido, a reutilização dos blocos através da reciclagem possibilita que haja economia dos custos com a compra de agregados naturais, transporte de matérias-primas e diminuição do entulho, o que, segundo os autores, ainda reduz a emissão de gás carbônico na atmosfera, além dos custos de deposição final do entulho em aterros e por fim, os impactos ambientais (BASTOS, CRUZ e WOELFFEL, 2016).

BLOCOS DE CONCRETO USADOS COMO AGRAGADOS

Segundo John (2000) a construção civil é o setor que mais consome recursos naturais do planeta e um dos maiores responsáveis pela exploração dos recursos naturais do mundo disponíveis no ambiente. Ainda segundo o autor, a construção civil consome entre 15 a 50% de todos os recursos retirados da natureza, tendo como resultado a enorme geração de resíduos das cidades.

Segundo Gomes et al. (2012), o concreto é chamado nas pesquisas de “concreto seco” sendo utilizado na fabricação de BC para alvenaria estrutural e vedação. A fabricação desses blocos passou a acontecer nos canteiros de obra, visto que os equipamentos passaram a ser adquiridos pelas construtoras. A falta de mão de obra especializada para a utilização desses equipamentos e a de conhecimento na produção do concreto e, além do desconhecimento das etapas de fabricação dos blocos, tem acarretado grande volume de resíduos de blocos de concreto nas cidades.

Os processos de produção de materiais geram resíduos. Quando não se dispõem de uma tecnologia ou de interesse para o reaproveitamento, este material acaba depositado na natureza causando inúmeros problemas ambientais. Nesse sentido, a reutilização dos resíduos de concreto como agregado, para dosagens de concreto estrutural, é em sua maioria provenientes de resíduos considerados como material de baixa qualidade, isso porque ainda há muitos desconhecimentos em relação às propriedades e da tecnologia para seu emprego.

Os especialistas e pesquisadores passaram a estudar os impactos da construção civil para o meio ambiente, e passaram a partir disso, buscar meios de reduzir o impacto sem que o setor sofresse perdas de produção. Como consequência desses problemas ambientais e da fiscalização que passou a acontecer a partir do ano de 2002 com a criação de diretrizes e normas, além das dificuldades de gerenciar os elevados custos que o setor enfrentava, o que acarretava, problemas de produção, a utilização de materiais reciclados passou a fazer parte do processo construtivo como alternativa e visando encontrar a resolução para todas essas questões. Além de proporcionar benefícios ambientais, dado que, reduz a criação de excesso

de resíduos, ajuda o setor na diminuição dos custos de produção. Ou seja, esta passou a ser uma alternativa utilizada, visto que, atende não só quem gera resíduo, mas também quem compra materiais novos.

Os resíduos das construções, demolições e de blocos pré-fabricados geram agregados reciclados que são inferiores aos agregados naturais, tais como: maior porosidade e elevada absorção de água, que afetam as propriedades das argamassas e dos concretos, o que contribui para uma menor qualidade dos produtos (POON; CHAN, 2006, 2007; BUTTLER, 2007).

A categoria de produção e como o resíduo será tratado depende de algumas características do processo construtivo, como qualidade e cultura da empresa, além de quais materiais estão sendo usados neste processo. Entre os resíduos produzidos pela construção civil, os de concreto têm grande potencial para a reutilização, devido ao conhecimento disponível a respeito de suas características básicas e do baixo grau de contaminação por outros materiais como vidro, borracha, entre outros. Os blocos de concreto são compostos pela mistura de areia, cimento e pedra e ainda apresentam alto potencial de reciclagem, segundo Carneiro et al. (2001).

Os agregados são os materiais minerais sólidos que fazem parte da composição da fabricação de produtos como o concreto. Os agregados de concreto são usados na mistura do cimento e da água para reduzir custos. Eles são usados de quatro maneiras na construção civil e são eles o miúdo, graúdo, artificial ou natural.

O processo de fabricação do concreto leva tempo e tem um custo alto por conta dos produtos que são matéria-prima. Para reduzir custos e diminuir a execução do serviço que os agregados do concreto sem que se perca a qualidade. Os agregados ajudam ainda na resistência e a diminuir as variações da retração do cimento.

Os agregados reciclados provenientes de resíduos de concretos diferem dos naturais quando se trata da sua composição, e também, porque eles são revestidos por argamassa. E esta camada usada anteriormente para a construção, pode exercer influência nas propriedades do concreto feito com os agregados.

A reciclagem de resíduos possibilita a redução do impacto ambiental e gera produtos que são economicamente interessantes para o setor. Os agregados precisam respeitar determinadas características impostas pela NBR 15116 (ABNT, 2004), para se enquadrarem nos requisitos mínimos para serem utilizados e para a aplicação em camadas de pavimentação e para o preparo de concretos sem função estrutural.

Os agregados reciclados de blocos são feitos de resíduos de blocos de concreto, e possuem poucos materiais em sua composição mineral e não devem ter contaminantes como gesso, madeira, vidros, papelão, entre outros, quando comparados aos resíduos de construção e de demolição. Esse aspecto favorece a produção de agregados reciclados mais uniformes. Segundo Poon e Chan (2007) o nível de contaminantes na composição sem que prejudique a qualidade do agregado reciclado de concreto com outros materiais pode ser de no máximo 10%. Diferentes pesquisas mostram a

eficácia da fabricação da reutilização dos blocos de concreto como agregados, e da sua qualidade quando utilizados como agregados (BOLDRIN et al., 2006; PATTO; FARIAS et al., 2005).

Os agregados podem ser definidos quanto à origem, massa unitária e as dimensões das partículas. A respeito da origem, os agregados são separados em naturais e artificiais. Já com a massa unitária os agregados podem ser definidos como leves, normais ou pesados. No entanto, o tamanho da partícula dos agregados possui nomes especiais sendo eles:

- Filer, que se trata de um material com uma dimensão da partícula inferior da malha de 75µm;
- Areia, o material achado em um estado natural que passa por uma peneira de 44,8mm;
- Pó de pedra, inclusive chamados, areia de brita ou areia artificial, trata-se de um material atribuído por uma fragmentação da Rocha que passa por uma peneira de 4,8mm;
- Seixo rolado, trata-se de um material achado fragmentado na natureza, em fundo do leito de rios em jazidas, sendo retido em uma malha de 4,8mm;
- Brita, é um material adquirido pela trituração da Rocha e retido em uma peneira de 4,8mm (FILHO, 2007).

Pelos motivos de normalização da Malha e designação comercial, as britas acabaram recebendo a seguinte classificação:

- pedrisco: de 4,8 a 9,5mm;
- brita 1: de 9,5 a 19mm;
- brita 2: de 19 a 38mm;
- brita 3: de 38 a 76mm;
- pedra-de-mão: maior que 76mm – também chamada (rachão); usada em gabiões (FILHO, 2007).

No entanto, a classificação dos agregados de acordo com suas formas e dimensões é essencial para assegurar um bom arranjo em um concreto, de modo que se possa conseguir o material com menor taxa de vazios, aperfeiçoando então todas as propriedades físicas e mecânicas. Além dos elementos físicos, tem que considerar os elementos econômicos, pois tudo tem que ser desenvolvido com materiais que possuam valor compatível com a sua vida útil prevista para a obra (FILHO, 2007).

Com base a isso, a distribuição granulométrica de agregados que desenvolve os concretos pode ser formada por duas ou mais composições, de forma que se obtenha um produto de lâmpada densidade por meio do empacotamento de partículas, desta forma os espaços que existem entre as partículas que são grandes acabam sendo preenchidas por uma classe de partículas rapidamente menores. Esse efeito de distribuição granulométrica diante do armazenamento de partículas vem sendo pesquisado desde o

começo do século XX, quando apareceu a concepção de que os agregados com uma distribuição granulométrica de forma contínua proporcionam boas propriedades para os Concretos e para as argamassas. Diante das pesquisas importantes no estabelecimento da curva de distribuição granulométrica, é destacado o estudo de Fuller e Thompson (1907), que fizeram pesquisas empíricas da correção da granulometria, de agregados naturais para o desenvolvimento de concretos e argamassas.

No entanto, estes autores finalizaram através de, experimentos empíricos de dosagens que, para uma mesma porcentagem de cimento em um determinado volume de concreto, existe há uma distribuição de tamanhos de grãos do agregado que atribuir a grande resistência a ruptura, e ainda um bom trabalho, isto é, a distribuição granulométrica acabou influenciando na compacidade da mistura, e quanto maior fosse esta compacidade, iria ser maior a resistência mecânica. Os mesmos ainda afirmaram que a característica da curva granulométrica que melhor aborda sobre a distribuição granulométrica trata-se da curva elipse (FULLER; THOMPSON, 1907).

NORMAS LEGAIS

Desde 2002 o Brasil conta com estabelecidos de diretrizes, critérios e procedimentos para o descarte de resíduos provenientes da construção e demolição (RCD) em todo o território nacional. Com elas, a fiscalização passou a ser feita pelo governo seguindo o que determina o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

Os RCD são gerados a partir das atividades de demolição, construção ou reforma. Além disso, são classificados pela Resolução do CONAMA de nº 307, como resíduos de classe A, ou seja, aqueles que abrangem tanto os materiais reutilizáveis ou recicláveis como os materiais agregados.

Esta resolução estabelece as diretrizes utilizadas na gestão dos resíduos gerados pela construção civil, com o objetivo de disciplinar ações, visando diminuir os impactos ambientais causados pelo setor, sendo desenvolvida pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Anteriormente a essa resolução, valia no país o que dizia a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1998), que classifica os resíduos da construção civil na classe II (b) como:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada, ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente (ABNT, 1998).

Porém, a Resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), buscou uma melhor definição, com o objetivo de, melhorar a fiscalização e gestão

desses resíduos e definiu como sendo os aqueles que provêm das construções, reformas, reparos e demolições da construção civil, e ainda como resultado da escavação e da preparação de terrenos, sendo eles, os tijolos, os blocos de cerâmica, o concreto de maneira geral, solo, rocha, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, etc., ou seja, todos os resíduos produzidos nos canteiros de obras.

A resolução nº 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002), classifica os resíduos descartados da construção civil e os seus destinos em 4 classes distintas.

A Classe A é composta dos resíduos que podem ser reutilizados na própria obra como agregados. Ou seja, materiais que fazem parte da construção como cerâmica, tijolos, argamassa, entre outros. Quando não forem reutilizados, podem ser encaminhados para usinas ou aterros específicos.

A Classe B: podem ser reciclados para outras utilizações, como: papel, papelão, garrafas pets, vidros, metais, madeiras, etc. Recomenda-se a separação desses resíduos em caçambas específicas e identificadas para encaminhamento dos mesmos.

A Classe C: é o conjunto de resíduos que não podem ser reciclados e nem recuperados. Devem ser descartados em aterros.

Classe D: São resíduos ditos perigosos à saúde humana e ao meio ambiente. Como exemplos de tintas e solventes. Estes materiais precisam ser encaminhados para áreas de transbordo e triagem (ATT).

Figura 1 – Classificação de Resíduos.



Fonte: Youtube.

IMPORTÂNCIA DA REUTILIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO PARA O MEIO AMBIENTE

Segundo CONAMA (1986), impacto ambiental é:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais (BRASIL, 1986).

Os números a respeito da geração de resíduos têm grande variação, visto que, diferentes fatores, como a oferta de metodologias de medição é grande, o que acaba acarretando, falta de padronização para coleta desses dados. A construção civil produz construções que ocupam as maiores dimensões físicas e, o setor que mais consome recursos naturais quando comparados a qualquer outro setor da economia (JOHN, 2000).

Segundo Pinto (1999), para fechar um número a respeito da quantidade de resíduos produzidos é preciso calcular o metro quadrado construído a partir da geração destes resíduos. O autor ainda acredita que cada metro quadrado de construção gere cerca de 150 kg de resíduos. Esta seria a “taxa de geração de resíduos de construção”. Esta soma é resultado do resíduo de construções, demolições e reformas, tanto das formais quanto nas informais, ou seja, aquelas que acontecem sem o consentimento dos órgãos de fiscalização.

Para Pinto (1997), esses resíduos correspondem a 2/3 (dois terços) do total coletado em cidades como as capitais ou centros urbanos. Para John (1998), todos esses resíduos sólidos produzidos pela construção civil, por vezes, são duas vezes maiores que os volume de lixo urbano recolhido nas cidades. O autor ainda acredita que o setor é responsável pelo consumo de 210 milhões de toneladas por ano de agregados naturais para a produção de concretos e outros (JOHN, 2000).

De acordo com Pinto e González (2005), os interesses a respeito dos impactos ambientais produzidos pelo setor de construção civil vêm aumentando por conta do despertar em relação a maior atenção dada em decorrência da geração de enormes quantidades

De resíduos como consequência do crescimento acelerado das cidades brasileiras que aconteceu nas últimas décadas. Só no Brasil, a construção gera um percentual de quase 25% do total de resíduos de toda a indústria (MENDES, 2013).

Nas reformas não há o hábito de reutilizar e reciclar os materiais que cumprem as regulamentações e este motivo é uma das principais causas da quantidade de resíduos gerado pelo processo de demolição (ZORDAN, 2002).

Os resíduos que provêm das atividades da construção civil podem ser gerados a partir de diferentes momentos durante o processo de

demolição, construção, etc. Na construção, eles estão ligados às perdas, mesmo que parte dessas perdas sejam incorporadas às operações efetuadas nas construções, a maior parte acaba virando resíduo (JOHN; AGOPYAN, 2000).

A indústria da construção civil é a maior geradora de resíduos e a quantidade de resíduos gerados é proporcional ao grau de desenvolvimento de uma cidade.

Segundo Pinto (1999), os impactos sanitários e ambientais relacionados aos resíduos de construção e demolição podem estar associados às disposições irregulares.

Os avanços sobre o funcionamento do meio ambiente e dos impactos das atividades econômicas no planeta permitem investigar os impactos causados pela não preocupação com a sustentabilidade.

O modelo de produção e a visão de desenvolvimento sustentável aparecem como consequência sobre a análise dos impactos da incapacidade do modelo vigente em desenvolver-se sem haver preservação ambiental e sem garantias com a preservação da espécie humana (CARNEIRO et al., 2001).

A partir da percepção dos efeitos das alterações do meio ambiente sobre o homem, a natureza passa a ser vista a partir do seu valor e coube aos representantes criarem regras que estabelecem os limites para a contaminação e geração de resíduos durante os processos de produção. A preservação ambiental passou a ser fator importante, com maior cuidado com a flora e a fauna natural (JOHN, 2000).

Mesmo que ainda não seja um atributo comum no Brasil, a reutilização de blocos de concreto trata-se de uma técnica que proporciona bons resultados, e diminui os resíduos distribuídos no meio ambiente que, como efeito, acabam sendo desperdiçados. No entanto, países como a Bélgica, Holanda e a Dinamarca fazem a reciclagem de mais de 90% de todos os seus resíduos no Brasil, o caso possui uma variação drástica, mesmo com essa técnica sendo conhecida e estando presente no país por mais de 30 anos, acaba faltando prática. Estima-se que a reciclagem de blocos no Brasil não ultrapassa mais de 20% de todo o concreto usado. No entanto, além de reduzir o número de entulho nos lixões e em demais lugares errados, reciclar bloco de concreto auxilia na diminuição do desperdício e na economia. Em que ocorre porque os agregados derivados de uma reciclagem do concreto podem ter até 1/4 de agregados comuns, prosseguindo com todas as suas propriedades mecânicas intactas (TECNOMOR, 2021).

Atualmente, o concreto desenvolvido com agregados reciclados é usado de forma majoritária em introduções não estruturais, como nos pavimentos, aterros, artefatos de concreto e nos blocos de vedação. Logo, o uso do concreto reciclável para o concreto estrutural inclusive é possível, porém com diferencial de acabar exigindo um grande entendimento e atenção para a dosagem do material. Além do mais, já possuem várias pesquisas e estudos que procuram viabilizar ainda mais a utilização desses resíduos para a atribuição estrutural, principalmente no Brasil, muitos países europeus já

realizam esta utilização, verifica-se, no entanto, como a reciclagem do bloco de concreto é uma realidade benéfica e alcançável por todos (TECNOMOR, 2021).

METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa em questão sobre o tema qualidade diz respeito a uma pesquisa de caráter exploratória, bibliográfica e documental, tendo como fonte de consulta os dados secundários como livros em meio físico e virtual, artigos publicados em periódicos, revistas e material disponível na rede mundial de computadores.

Como premissa explica-se na visão de Prodanov (2013, p 43), o significado de pesquisa:

A pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação. Sua finalidade é descobrir respostas para questões mediante a aplicação do método científico

Uma pesquisa exploratória, na visão de Richardson (1999), busca aprofundar os conhecimentos de determinadas características de fenômenos para alcançar explicações das suas consequências e possíveis causas.

Cervo e Bervian (2007) afirmam que a pesquisa é uma revisão de literatura sobre as principais teorias que fornecem base ao trabalho de um pesquisador, esta pode ser elaborada a partir de busca em documentos, livros, jornais dentre outros documentos.

Ainda conforme Marconi e Lakatos (2003) pesquisa é um procedimento que permite descobrir dados, a respeito de áreas de interesse do pesquisador, no caso deste trabalho o interesse do pesquisador está voltado às ferramentas da qualidade.

E Gil (2008, p. 19) complementa que a pesquisa é:

[...] procedimento racional e sistemático cujo objetivo é proporcionar respostas aos problemas propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados (GIL, 2008, p.19).

A pesquisa bibliográfica é a revisão da literatura sobre as principais teorias que norteiam o trabalho científico (PIZZANI et al., 2012), a qual pode ser elaborada a partir de um material já estruturado, incluindo livros e artigos (GIL, 2008) sendo um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório (SASSO DE LIMA; TAMASO MIOTO, 2007).

Compartilham do mesmo pensamento sobre a pesquisa bibliográfica Cervo e Bervian (2007) ao escrever que este método de pesquisa procura explicar um problema a partir da análise de livros, revistas e outros documentos relacionados ao problema.

Para Marconi e Lakatos (2003) a utilização da pesquisa documental se deve ao fato de o pesquisador trabalhar com pesquisas de cunho teórico ao invés daquelas em que estão envolvidos os estudos de caso e Gil (2008) complementa que a análise documental auxilia o pesquisador em casos que forem necessários à utilização de relatórios e documentos não publicados ainda em forma de produção científica.

Estes relatórios, matérias publicadas em sites e documentos das organizações que porventura sejam utilizados constituem a chamada base de dados secundários definidos por Gil (2008) como aqueles que já foram pesquisados, analisados e publicados, contudo podem ser utilizados em outras pesquisas com interesses diferentes.

OS IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um dos principais setores da economia brasileira, porém é uma das maiores produtoras de impactos ambientais e de geradoras de áreas degradadas do país. A degradação vai desde a destruição de áreas verdes com o objetivo de abrir espaço para construções, até a produção de produtos para as edificações, consumo de água e para as operações. Todos esses aspectos geram impactos no meio ambiente.

Figura 2 – Resíduos da Construção Civil.



Fonte: Fórum da construção.

Por conta desses impactos, a partir dos anos 70, medidas começaram a ser implementadas com vistas a reduzir o prejuízo ao meio ambiente, consequência dessas atividades do setor da construção civil nos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. As primeiras tinham relação com as ações voltadas para a economia de energia, para lidar com a crise iminente do petróleo e para melhorar a eficiência energética do setor. Já nos anos 80 com a escassez de locais para o descarte de resíduos sólidos da construção e demolição na

Europa, a reciclagem começou a ser feita visando reduzir os resíduos que passaram a receber atenção do setor da construção civil e do Estado que passaram a desenvolver políticas públicas para melhorar a relação do setor com o meio ambiente e com as cidades (BAPTISTA JUNIOR; ROMMANEL, 2013).

O uso de recursos naturais para a fabricação de materiais através da mineração para a construção civil, como argila e brita, são os principais recursos naturais retirados e geram impacto ambiental. Além da exploração, o descarte de resíduos da indústria é um dos mais poluentes do planeta, seja pela quantidade diariamente ou pelo uso desmedido desses recursos naturais.

Segundo Baptista Junior e Rommanel (2013), conforme mostram os dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, a atividade gerou a parcela predominante do volume total dos resíduos sólidos urbanos produzidos nas cidades paulistas. Em 2003, produziu uma média diária de 17.240 toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que equivale a 55% advindos da construção civil e na cidade de Campinas, essa proporção chegou a 64% no mesmo ano.

Assim como as demolições geram resíduos, grande parte dessa produção diária é proveniente do desperdício de materiais em construções novas que resultam de projetos mal elaborados, com falhas nas especificações dos materiais e detalhes, e ainda no planejamento e execução da obra (BAPTISTA JUNIOR; ROMMANEL, 2013).

A disposição sem critérios técnicos de resíduos de construção e demolição (RCD) gera impactos ambientais significativos, em especial na formação de áreas irregulares de descarte em locais de preservação ambiental, afetando a drenagem das águas, obstruindo córregos, erosão de solos entre outros.

O Governo, em especial a esfera municipal, tem papel fundamental para o que é feito em relação aos resíduos e no seu processamento, e deve utilizar instrumentos para regular, fiscalizar e oferecer condições para ser feito o tratamento correto desse descarte, para que com isso as empresas se utilizem da logística reversa.

A logística reversa é uma ferramenta que usa o redirecionamento das embalagens pós-consumo e de diferentes tipos de materiais. Na lógica do descarte de resíduo medicamentoso, ela visa o descarte adequado. Aquilo que seria descartado em aterros sanitários ou lixões, o que causaria impacto no meio ambiente, quando aplicada à logística reversa, é levado para cooperativas e faz-se o descarte correto deste resíduo, evitando contaminação ou é realizada uma triagem e reciclado ou para centrais para uso de obtenção energética ou voltando a virar matéria-prima para ciclo produtivo. Dessa forma no inciso VII da Política Nacional de Resíduos Sólidos diz que:

[...] destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama,

do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

As produções das empresas acarretam impactos ambientais extensivos a toda cadeia produtiva. A promoção humana, a equidade social e o ambiente saudável e ecologicamente equilibrado devem ser a base de uma sociedade sustentável. As práticas ambientais visam reduzir tais impactos e seus efeitos nocivos. Diferentes Leis e resoluções vigoram com o objetivo de disciplinar a prática a alcançar ações mais sustentáveis com o trato dos resíduos da construção civil. A Lei Federal nº 12.305 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e a administração de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos cabíveis. Ela não exime nenhum agente, que faz parte dos processos de geração à disposição final do resíduo, da responsabilidade pelos impactos ambientais durante o ciclo de vida destes (BRASIL, 2010).

Além dela, a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que estabelece diretrizes para uma redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades da construção civil, classifica os tipos de resíduos em classes A, B, C e D. A classe A é formada por resíduos inertes que podem ser reciclados sem processos de transformação, como, por exemplo: tijolos, cerâmicas, concreto, argamassas, telhas de barro, etc. A classe B é de resíduos que precisam de processos industriais para reinserção, tais como: plástico, papel, metal, vidro, etc. A classe C é de resíduos para os quais ainda não existem processos para reinserção, e a classe D é formada por resíduos considerados perigosos, como tinta, solvente, óleo, hospitalar, amianto, etc. (BRASIL, 2002).

A Resolução nº 308 do Conama (BRASIL, 2002) trata do licenciamento ambiental para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte, com o número de habitantes igual ou menor a 50 mil habitantes.

A Lei Estadual nº 4.829 do Estado do Rio de Janeiro de 2006, dispõe sobre a política de reciclagem de resíduos produzidos pela construção civil, incentivando a formação de redes de captação e reciclagem de resíduos.

O Decreto Municipal nº 27.078 da cidade do Rio também do ano de 2006 traça o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil, e considera o art. 4º da Resolução nº 307 do Conama e determina que todos os agentes (pessoa física, jurídica, pública ou privada) responsáveis por atividades que geram resíduos da construção civil, devendo ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, sua redução, reutilização, reciclagem e destinação final adequada (BRASIL, 2002)

Resolução nº 387 também do município do Rio de Janeiro do ano de 2006, baseada no segundo item do art. 8º da Resolução nº 307 do Conama

que fala sobre o gerenciamento de resíduos da construção civil para obras acima de 10.000 m² de área ou acima de 5.000 m³ de volume de resíduos de demolição (BRASIL, 2002).

Todas essas resoluções têm o objetivo de resolver as questões relacionadas à administração dos resíduos gerados pela construção civil, que é uma das responsáveis por grande parte da poluição e geração de resíduos das cidades, principalmente as grandes cidades.

Apesar de ser um dos principais setores da economia e com isso ser responsável por grande parte da geração de emprego das grandes cidades, a construção civil apresenta pontos negativos como ser grande poluidora do meio ambiente. Segundo Roth e Garcias (2009), os processos produtivos que envolvem as operações da construção civil são considerados ineficientes e ultrapassados, eles trazem como exemplo, a prática de quebrar os blocos depois de já terem erguido as paredes para passar as tubulações elétricas e hidráulicas, além do consumo indiscriminado de materiais pela falta de planejamento nos projetos ou da compatibilização o que gera maior consumo com a compra de materiais errados como consequência, entre outros fatores que impactam diretamente o meio ambiente.

Os geradores de entulho que separam os resíduos de construção e demolição são as obras que ocupam áreas de construção acima de 10.000 m² ou 5.000 m³ de volume de demolição, como determina a Resolução nº 387 no município do Rio de Janeiro. Elas devem apresentar um plano de gerenciamento de resíduos para aprovação do projeto à Secretaria Municipal de Urbanismo (BRASIL, 2005).

Existem dois tipos de resíduos provenientes da construção civil, os que são fruto de canteiros que separam os resíduos para reutilização na própria obra ou que disponibilizam para empresas de coleta, e os que são gerados por pequenas obras e que não recebem nenhum tipo de tratamento ou separação e que são descartados em caçambas ou lançados de maneira irregular em aterros sanitários irregulares ou em vias públicas. “Os resíduos de pequenas obras representam uma parcela que ultrapassa 50% do total de resíduos de construção civil gerados na cidade do Rio de Janeiro” (BAPTISTA JUNIOR; ROMMANEL, 2013, p. 31).

Na figura 3 e figura 4 abaixo é possível visualizar os dois tipos de descarte, o que é feito de forma correta, com separação pronta para a coleta, e o que é feito de maneira irregular e descartado em via pública.

Figura 3 – Descarte Correto.



Fonte: Site Escola de Engenharia, 2018.

Figura 4 – Descarte Irregular.



Fonte: Site Bem Paraná, 2019.

Para Baptista Junior e Rommanel (2013), os maiores empecilhos enfrentados para a reciclagem e manejo deste resíduo é a falta de separação durante o processo de produção, dado que, depois que há o transporte desse material sem isso ter sido feito, a reciclagem desses materiais de construção de pequenas obras se torna ainda mais complexa. A falta de espaço para descarte e processamento, bem como o custo do transporte das pequenas quantidades produzidas pelas pequenas obras, dificulta a prática de coleta seletiva.

Aqueles que geram o resíduo são também responsáveis por ele, como determina a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010).

A solução apresentada para esse problema apresentado por Baptista Junior e Rommanel (2013) é a implantação de uma rede de logística reversa para processamento dos resíduos da construção civil, que atenda essas pequenas construções pela cidade, com a criação de infraestrutura adequada para ser feita a separação desses materiais ainda na origem.

O atual processo industrial linear, que gera além de desperdícios, impactos ambientais nas cidades, deve ser substituído por uma logística circular, ou seja, de natureza sustentável, em que esses resíduos separados por tipo podem ser novamente usados pela cadeia produtiva.

Todo o tipo de trabalho realizado pelo homem pode ocasionar impactos para o meio ambiente, da mesma forma para o meio social e econômico, acabando sendo motivado pelo seu porte, utilidade e funcionalidade da obra em questão, podendo ter uma variação de um menor a grande significado de impacto, como barragem, aterro e amplas terraplanagens. Certas obras podem levar impactos que acabam influenciando no ecossistema, podendo até mudá-lo drasticamente ou até proporcionar a sua extinção, com base na degradação de grandes áreas, o corte das vegetações, a impermeabilização do solo e inclusive a etapa da construção que acaba proporcionando resíduos e ruídos. Os impactos além deles serem ambientais, inclusive atingem o meio social, visual e econômico. Da mesma forma que pode valorizar uma determinada área, pode inclusive desvalorizar diante de uma poluição visual, sonora, sombra da área que precisa de insolação, bloqueio para ventilação e entre outros. No campo da construção civil existem leis e diretrizes que regem e controlam todos os impactos proporcionados por meio de pesquisas de impacto da vizinhança e ambiental (SPADOTTO et al., 2011).

Os resíduos proporcionados pela construção civil normalmente são inertes, desta forma, acabam ficando por um bom tempo na natureza, elemento esse que se agrava com o número de quantidade de entulhos proporcionados todo ano pelo Brasil. Além do mais, os impactos acontecem quando estão dispostos de modo ilegal, sendo por conta de uma falta ou inexistência de políticas públicas que possam disciplinar e ordenar todos os fluxos da destinação de resíduos, ou por conta de um descompromisso de geradores no manejo e na destilação de resíduos. Toda esta disposição errônea pode ocasionar uma obstrução de córregos e também enchentes, manifestação de meios que são transmissores de doenças, obstrução das vias afetando toda a circulação, sendo elas de pessoas e de veículos, a degradação de Campos de Manancial e de proteção contínua, assoreamento dos rios e dos Córregos, obstrução dos processos de drenagem, como piscinões, bueiros e galerias, além de uma degradação visual ocasionada para a paisagem urbana (SPADOTTO et al., 2011).

Nesse sentido, a gestão de resíduos tem que integrar os três agentes com responsabilidade a respeito desse assunto sendo eles: órgãos públicos municipais, geradores de resíduos e transportadores. Onde o primeiro tem a

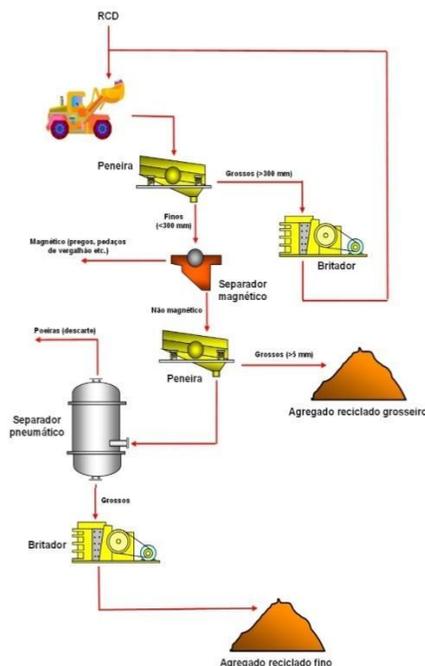
responsabilidade pelo controle e pela fiscalização diante do transporte e destinação dos resíduos, o segundo tem a obrigação pela gestão interna e externa, de forma a verificar todos os padrões legais da distribuição final, e o último ponto com responsabilidade de levar o material até a área de disposição final licenciado com uma apresentação do comprovante de destinação (GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2009).

A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NO BRASIL

O resíduo é gerado em diferentes etapas do ciclo de vida das construções, podendo ser na fase de construção, ou seja, nos canteiros, na fase de manutenção ou reformas e ainda na fase de demolição de construções (JOHN; AGOPYAN, 2003).

O processo de reciclagem do entulho para a fabricação de agregados é dividido por etapas de seleção dos materiais recicláveis do entulho, e a trituração (Figura 5). Essa prática reduz a utilização de recursos naturais como as florestas e a água e possibilita a redução da exploração das pedreiras, e ainda reduz o entulho descartado em rios, riachos, represas e mares.

Figura 5 – Sequência de operações de um processo de beneficiamento RCD.



Fonte: Domtotal, 2018.

A resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define Resíduos da Construção e Demolição (RCD) como os que são “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos [...], comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (BRASIL, 2002).

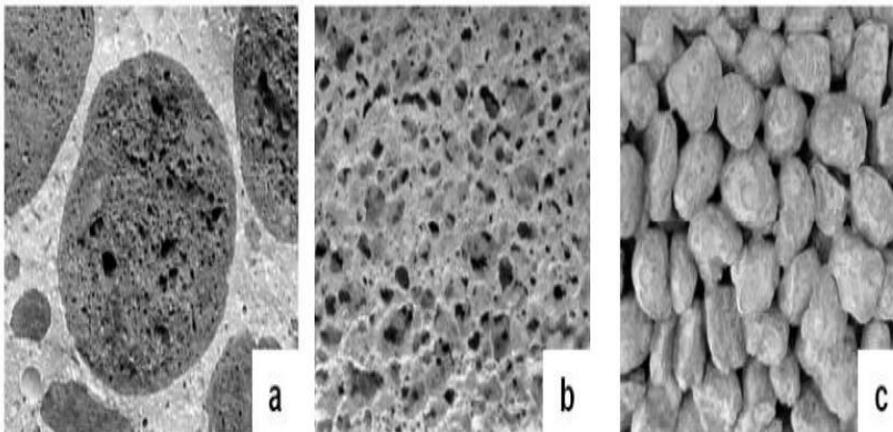
Figura 6 – Entulhos gerados por demolição.



Fonte: Site Resíduos.

A utilização dos resíduos da construção civil (RCC) como matéria-prima para produção de agregados reciclados reutiliza matérias minerais, melhora a utilização dos recursos naturais e exige que haja uma aprendizagem na hora de utilizar os recursos naturais por parte das pessoas. A produção dos agregados reciclados é feita em usinas de reciclagem e são mecanismos de redução do desperdício de matéria-prima mineral (MELO, 2011). As Elas pertencem a área industrial destinada ao processamento de RCC, classe A, em produtos que são descritos pelas NBR 15112 como agregados de resíduo de concreto (ARC) e de agregado de resíduo misto (ARM) (ABNT, 2004).

Figura 7 – Tipos de concreto leve: (a) concreto com agregados leves, (b) concreto celular e (c) concreto sem finos.



Fonte: Gomes et al., 2015.

A figura acima mostra a textura dos agregados de concreto reciclados que apresentam porosidade elevada e menor densidade. Eles são heterogêneos (o que dificulta a uniformidade de suas propriedades). Além disso, esses agregados possuem teores de finos e/ou materiais pulverulentos mais elevados, e formato mais irregular ou textura superficial mais rugosa (GOMES et al., 2015).

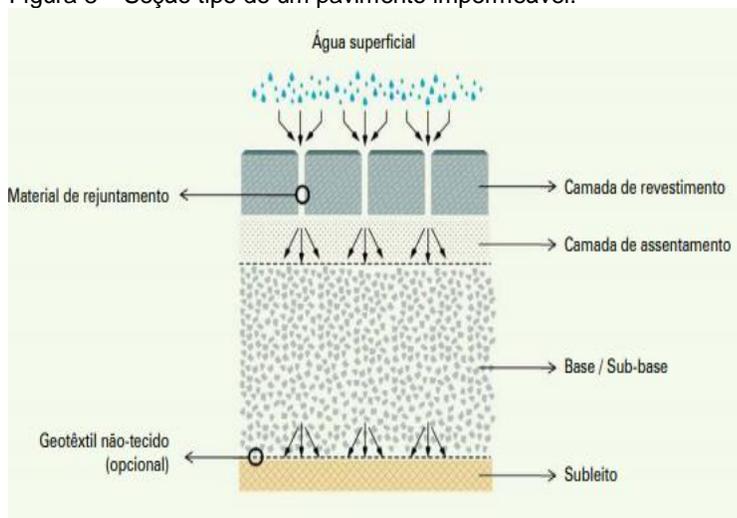
A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil, e determina que eles sejam destinados conforme sua classificação:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas; IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas (BRASIL, 2002).

Para Filho et al (2007) os resíduos sólidos da construção civil são de baixa periculosidade, mas ainda assim são geradores de um grave problema que é o acúmulo desses materiais que são mal depositados e muitas vezes ficam em vias públicas. A construção civil gera muitos desperdícios de materiais e reciclagem desses resíduos possibilita sua reutilização. Segundo Pinto (1999) o RCD gerado em atividades de reformas, manutenção e demolição marcam de 42% e 80% do total de resíduos gerados e dependem das características de cada cidade brasileira.

Segundo Silva (2006) as soluções para a reutilização dos RCD reciclados no Brasil vem sendo desenvolvidos para que o setor diminua o desperdício, a poluição e a redução de resíduos. Eles quando processados podem ser usados para pavimentações, usando os resíduos como base, sub-base (Figura 8), revestimento primário, no lugar de brita corrida ou como mistura para resíduo junto com o solo. Pode também ser usado como agregado para concreto não estrutural que são resíduos processados pelas usinas de reciclagem e substituir os agregados convencionais que são areia ou brita. E ainda como agregado para produção de argamassa que com os restos de argamassas moídos da própria obra, e em granulometrias semelhantes às da areia. Esses agregados são usados como argamassas de assentamento e revestimento.

Figura 8 – Seção tipo de um pavimento impermeável.



Fonte: ABCP – Melhores práticas Pavimento impermeável intertravado.

Segundo John e Agopyan (2003) a análise dos resíduos sólidos para os reciclados é fundamental, uma vez que ela serve para minimizar o risco de contaminação do material usado para a reutilização. A maioria dos RCD são classificados de acordo com o seu nível de pH e água absorvida. Podem, além disso, conter contaminações que afetam a qualidade técnica do produto após o processo de reciclagem. As políticas públicas desenvolvidas têm o objetivo de diminuir o impacto ambiental através da redução de geração de matérias primas, o que tem como consequência a redução a e utilização de aterros, despejo irregular e consumo dos recursos naturais não renováveis (PINTO, 1999).

A produção do agregado reciclado visa substituir os agregados naturais e deve ter aplicação imediata. Não oferecem riscos quando utilizados conforme determina a norma. As qualidades físicas necessárias ao agregado

reciclado de concreto são além da resistência à compressão, durabilidade, absorção de água, trabalhabilidade e controle de qualidade para redução de variações na produção (KIBERT, 1994).

A NBR 15116 (ABNT, 2004) dispõe sobre o controle de qualidade da profusão do agregado reciclado com frequência mínima por lotes equivalentes à produção mensal ou volume máximo de 1.500 m³. Além disso, deve ser realizado por tipificação do resíduo classe A e graduação granulométrica produzida (MELO; FERREIRA; COSTA, 2013).

Entulho é o conjunto de fragmentos ou restos que são provenientes das construções, reforma ou demolição (ABRECON, 2019). O entulho de construção é composto de restos e fragmentos de materiais, enquanto o de demolição só possui fragmentos, tendo por isso mais potencial qualitativo. Os resíduos encontrados no entulho, que são classificados como recicláveis para a produção de agregados são divididos em três grupos, segundo Altschul, Oliveira, Nóbrega (2020, p.15):

Grupo I: Materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassa, blocos de concreto.

Grupo II: Materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.

Grupo III: Materiais não-recicláveis: solo, gesso, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor. Desses materiais, alguns são passíveis de serem selecionados e encaminhados para outros usos. Assim, embalagens de papel e papelão, madeira e mesmo vidro e metal podem ser recolhidos para reutilização ou reciclagem.

Os RCD servem de matéria-prima para serem transformados em agregados e podem ser usados para diferentes processos de construção civil como confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, e etc.

No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico. O revestimento asfáltico é usado como uma camada de pavimentos rodoviário e urbano. O agregado utilizado para as misturas é extraído em jazidas através da britagem de rochas como o basalto, granito, gnaiss, calcário (Figura 7), entre outros, que são posteriormente transformados em pedra britada (Figura 8) com vários tamanhos e de graduação específica. “A construção e a manutenção dos pavimentos asfálticos requerem grandes quantidades de agregados, os quais normalmente são responsáveis por mais de 90%, em peso, das misturas asfálticas” (ALTSCHUL; OLIVEIRA; NÓBREGA, 2020, p. 19). A utilização de reciclados nesse meio reduziria grande parte da utilização dessa matéria-prima.

Figura 9 – Pedra (brita).



Fonte: Medeiros et al., 2018.

Buscando um bom uso dos agregados recicláveis como material de construção e em seguida a sua probabilidade em conseguir produtos em que na sua composição, os agregados podem ser introduzidos, diversos são os estudos que procuram essa tal viabilidade de reciclados, em um parâmetro mais técnico como é o caso de amplas rodovias brasileiras, em que pode-se incluir no seu histórico a utilização de agregados reciclados, sendo de origem da própria sessão da pista que é de grande relevância deixando assim a rodovia, ampla de dimensões a usar matéria-prima reciclável no decorrer da etapa de construção (MEHTA, 1994).

O reaproveitamento dos resíduos de construção já é feito há muitos anos, porque na época Romana já usava tijolos, telhas e as louças de cerâmicas moídas como uma pozolana (SANTOS, 1975). Nesse sentido foram amplos desastres deste século, como terremotos e as guerras, que motivaram a utilização de material reciclado (LIMA,1999). No entanto, a cientista Motta (2005) incluiu na sua tese de doutorado a respeito dos sistemas de aprendizagem como um grupo de operações que, de acordo com Luz et al., (2004), poderiam ser separados pela concentração, cominuição, peneiramento e auxiliares.

O sistema de reciclagem pode fazer várias formas de agregados, de acordo com Hendricks e Janssen (2001), podem ser desenvolvidos agregados recicláveis do concreto, alvenaria e misturado para o uso em sub-base de vias. Logo, verifica-se, o desenvolvimento de agregados recicláveis do tipo concreto, onde na sua composição estão vários materiais que pertencem à categoria "A", da resolução de CONAMA do ano de 2002 (MOTTA, 2005, p.22).

Nesse sentido, os agregados que são recicláveis podem ser usados no desenvolvimento de concreto e argamassa para vários fins como os contrapisos e os componentes de alvenaria, sendo da infraestrutura urbana como os blocos, meios-fios e bloquetes (LIMA, 1999). Inclusive no Brasil esses agregados reciclados, podem ser introduzidos na regularização e no cascalhamento das ruas de terra, benéficos neste caso, em relação com as britas corridas comuns, por uma correção proveniente das reações pozolânicas que acabam se tornando bem menos erodíveis (BRITO, 1999).

OS BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DO ENTULHO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o aumento populacional desmedido, aumentou também as demandas por bens e serviços, assim como por habitação. A sociedade de consumo com a sua prática de desperdício material, colocou em voga após tantos anos de acúmulo e descarte irregular, a questão do lixo. Com o aumento populacional, o avanço tecnológico, o crescimento da indústria com a criação e distribuição de novos produtos, tem tido como consequência o desgaste dos recursos naturais. Esses recursos eram vistos como inesgotáveis (MARQUES NETO, 2005). É preciso mudar a mentalidade e entender que os materiais reciclados não são lixo, e, além disso, são benéficas na sua realização, visto que, diminuem a possibilidade de acúmulo de resíduos em locais inadequados, e a necessidade de retirar mais matéria-prima.

Com o passar dos anos a reciclagem passou a ser adotada como prática indispensável à continuação da utilização dos recursos, dado que, com o avanço dos estudos e da tecnologia, aumentou-se a consciência de que é preciso cuidar do lixo produzido, já que ele virou um problema das grandes cidades. A reciclagem de materiais tem sido usada como um eficiente mecanismo para minimizar as questões dos resíduos e para o gerenciamento das atividades. Ganhou força pela construção civil, para substituir a exploração das matérias-primas retiradas do meio ambiente.

Os RCD tem sido utilizado como agregado para inúmeros tipos de uso na construção civil, como a pavimentação de vias (Figura 10), por exemplo, e serve para substituir às matérias-primas que antes eram retiradas e para reduzir os resíduos provenientes das atividades do setor (CARNEIRO; BURGOS; ALBERT, 2001).

Figura 10 – Agregado Graúdo.



Fonte: Mattia e Vargas, 2008.

Figura 11 – Utilização de Agregados.

O agregado reciclado é o material resultante da britagem dos resíduos da construção civil, como entulho, cimento, concreto e gesso, por exemplo.

Ele é utilizado normalmente em:

- pavimentação de estacionamentos e pátios
- calçadas e meio-fio
- terraplenagem
- drenagem
- fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, blocos para calçadas e pavimentação etc.

The infographic features several illustrations: a parking lot with cars, a sidewalk with a curb, a yellow excavator on a construction site, a crane lifting a concrete block, and a blue concrete mixer truck. The background is a solid yellow color.

Fonte: FECOMÉRCIO, 2016.

A ampla reciclagem de resíduos de classe B instalada, com depósitos que recebem material de catadores de papelão, vidro, metais, plásticos e madeiras.

Material que é posteriormente utilizado pela indústria (BAPTISTA JUNIOR; ROMMANEL, 2013).

A ABRECON (2020) define Resíduo da Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo da Construção Civil (RCC) como qualquer resíduo gerado do processo de construção, reforma, escavação ou demolição. Sendo assim, o entulho é o conjunto de fragmentos ou restos materiais como tijolo, concreto, argamassa, madeira, etc., provenientes do desperdício na construção, reforma ou demolição de construções (ABRECON, 2020). O entulho de construção compõe-se, portanto, de restos e fragmentos de materiais, enquanto o de demolição é formado apenas por fragmentos, tendo por uma maior hipótese de ter qualidade para a reciclagem do que o entulho proveniente de construções.

Para Ângulo, et al. (2013), a reciclagem de RCC é uma atividade humana que causa impactos diretamente no meio ambiente. A categoria de resíduo, a tecnologia usada, assim como o fim destinado ao material reciclado tem o potencial de tornar a reciclagem uma ação ainda mais importante do que o resíduo antes da reciclagem. Sendo assim, esse processo possui tantos riscos ambientais e por essa razão precisam ser gerenciados. Os resíduos dependem das características e da reciclagem escolhida nos quais podem ser mais nocivos que os que estão sendo reciclados. É preciso considerar a periculosidade e a complexidade da reciclagem até o final da vida útil do material (ÂNGULO, et al.,2013).

A reciclagem é usada para preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, visto que, ela possibilita a diminuição do uso de materiais despejados em aterrados ou descartados de modo irregular em vias públicas, ou terrenos baldios. As consequências desse descarte errado é a poluição do ar, do solo e das águas. A reciclagem possibilita o manejo correto de resíduos sólidos que possibilita que os problemas, vetores e doenças associadas aos resíduos sejam diminuídos ou eliminados, além de representar a diminuição dos custos de produção, dado que, a matéria-prima vem dos próprios geradores (LIMA; CHENNA, 2000).

Além das vantagens já apresentadas como a diminuição da produção de resíduos despejados na natureza de forma irregular, a diminuição de custos, a reciclagem também oferece geração de emprego e renda. Segundo Silva e Brito (2006) “resíduos da construção civil têm proporcionado aos carroceiros diversos benefícios sociais e econômicos” (p. 550). Segundo os autores, os carroceiros causavam problemas, porque recolhiam os resíduos e os depositavam de forma irregular em espaços irregulares. Em 1997 o governo então começou um processo de inserção dos carroceiros à rede receptora de resíduos através do desenvolvimento de um projeto denominado Programa de Correção Ambiental e Reciclagem com Carroceiros (SILVA; BRITO, 2006). Esse trabalho aconteceu no Estado de Minas Gerais e

possibilitou tanto um trabalho de conscientização ambiental como de marginalização da figura do carroceiro frente ao Estado e a população.

Outra medida adotada pelo governo do Estado de Minas Gerais foi a criação de fábricas de concreto com produtos reciclados da construção civil. A medida, segundo Silva e Brito (2006), é vista como uma medida não só ambiental, mas de inclusão social, já que tem como colaboradores, as pessoas que estavam em situação de rua, e que não exerciam sua cidadania por estarem excluídos do mercado de trabalho.

Figura 12 – Ecobloco.



Fonte: Secretaria Municipal de Políticas Sociais, 2012.

Essa é uma iniciativa que vem sendo realizada no Estado de MG, mas que poderia ser copiada e usada por outras cidades e estados, visto que traz diferentes benefícios para a cidade e para a população de modo geral.

A reciclagem de RCD ainda não é uma prática muito utilizada no Brasil, tendo em vista que não há muitas usinas. Na Europa a taxa de reciclagem é de cerca de 90% dos resíduos, isso porque eles dispõem de diferentes metas e a gestão municipal das cidades se preocupa com a fiscalização e com a gestão de projetos voltados com esse fim (WAMBUCO, 2006).

O Brasil no ano de 2007, contava com oito usinas de reciclagem, sendo a maioria na região sudeste do país. Segundo Burgoyne (2006), os métodos usados para a reciclagem são: segregação, reciclagem ou beneficiamento, reuso de materiais na própria obra e armazenamento. Isso quando feito na própria obra diminui custos de transporte.

Esses resíduos podem ser usados para a fabricação de concreto para a fixação de pisos, vigas e pilares. Preenchimento de buracos, degraus de escada e alicerce. Contrapisos e outros (GRIOLI, 2002).

O número de entulhos na cidade escancara o volume do material desperdiçado pela construção civil. Para Ângulo et. al. (2013), eles representam cerca de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Para Mália, (2010) a solução dessa questão pode estar na prática de desconstrução, que consiste no desmonte das estruturas construídas, ou seja, a ordem inversa do processo de construção, que possibilita a reutilização de materiais e elementos construtivos sendo em depósitos ou aterros e ganham um novo uso em outras construções.

Esse processo possibilita que os materiais sejam reutilizados dado que são retirados com cuidado durante o processo de demolição. Essa prática possibilita o crescimento de um novo mercado de materiais usados e reciclados, e diminui os gastos de energia no beneficiamento de novos materiais, reduz o consumo de matérias-primas e gera emprego e renda, com a necessidade de mão de obra (MÁLIA, 2010).

ANÁLISE DO USO DE RECICLADO EM EMPRESA FABRICANTE DE BLOCOS DE CONCRETO

Segundo o artigo científico realizado por especialistas da Universidade Federal de Alagoas Maceió - AL – Brasil, denominado “Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos”, foi implementada no próprio canteiro de obra, a fábrica de BC, para suprir a necessidade da construção de edificações populares. Os BC que eram produzidos na fábrica destinavam em simultâneo, seis obras, sendo quatro condomínios contendo casas e dois condomínios de edifícios. (Figura 13).

Figura 13 – Empreendimento da construtora e localização da fábrica de BC.



Fonte: Google, 2016.

O fluxograma mostrado na Figura 14, relata o procedimento que aconteceu em uma fábrica de concreto montada no canteiro de obras, aproveitando os resíduos de blocos de concreto para a fabricação de blocos reciclados de concreto.

Figura 14 – Etapas da Fabricação.



Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

Os Blocos de Concreto (BC) e os Blocos Reciclados de Concreto (BRC) têm praticamente o mesmo modo de fabricação, visto que os blocos reciclados de concreto, existe a adição dos agregados reciclados de blocos (AGRG), que são por sua vez, obtidos da fabricação dos BC, figura 15.

Figura 16 – Fabricação dos Blocos.



(a) Blocos recém-moldados



(b) Blocos sendo colocados em armários para cura



(c) Bloco fissurado



(d) Blocos quebrados durante o processo de produção



(e) Armazenamento no pátio de estocagem



(f) Blocos paletizados prontos para serem transportados

Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

A criação de resíduos em todas essas etapas, que foram calculadas perdas na produção, foi encontrado 28% de resíduos em relação ao todas de matéria-prima, 7% desses resíduos eram utilizados, no entanto 21%, em torno de 30 metros cúbicos eram deixados de lado. Os resíduos de blocos de concretos eram armazenados por meios próprios.

Figura 17 – (a) Coleta dos resíduos de bloco por meio da minicarregadeira e (b) estocagem dos resíduos coletados.



Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

Objetivando um custo reduzido, sabendo que a construtora não possuía maquinário de britagem para a estocagem do resíduo, os equipamentos já no canteiro foram usados, como uma minicarregadeira e peneiras. O resíduo estava em fase inicial de endurecimento, possibilitando uma menor dificuldade no rompimento e peneiramento.

Figura 18 – Processamento dos Resíduos.



Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

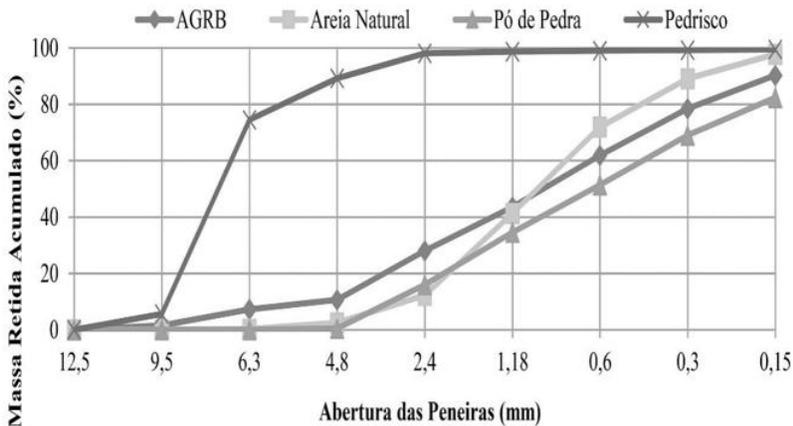
Conforme com as normas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 45 (ABNT, 2006) foram dadas as características dos agregados de forma a sua granulometria e módulo de finura e massa unitária. É mostrado na tabela 1 informações do módulo de finura e massa unitária e curvas de distribuição granulométrica dos agregados utilizados na fabricação dos blocos na figura 19.

Tabela 1 – Módulo de finura e massa unitária dos agregados utilizados na produção dos blocos.

Características	Areia Natural	Pó de pedra	Pedrisco	AGRB
Módulo de finura	3,14	2,54	5,89	3,12
Massa unitária (kg/dm ³)	1,47	1,50	1,40	1,53

Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

Figura 19 – Granulometria dos agregados utilizados na produção dos blocos.



Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

Foi notado que o peneiramento usado resultou a um agregado reciclado de blocos com granulometria menor a do pedrisco, com espessura aproximada a de uma areia grossa. Apesar de relativamente próxima dos outros materiais utilizados, foi maior, levando a uma melhor condição de preenchimento dos vazios. Essa aproximação foi aumentada na distribuição granulométrica.

Foram utilizados para determinação e análise das composições das misturas os métodos de Fernandes (2011), Pfeiffenberger (1985) e Wilk e Grant (1948). A dosagem dos componentes do concreto seco com AGRG (CAGR) foi baseada no traço dos concretos secos de referência (CREF) utilizados na fábrica com os agregados naturais. O procedimento de medidas para determinação do volume dos agregados utilizados foi o mesmo usado para o CREF, com padolas de 63 L ou 126L.

Em sacos de cinquenta quilogramas o cimento foi dosado, utilizando os métodos indicados pelo fabricante. O agregado natural foi substituído pelo reciclado, considerando suas semelhanças nas distribuições granulométricas e foram feitas as substituições nas frações referentes ao pó de pedra e à areia

natural. Na formulação dos concretos secos com agregados reciclados foram determinadas três composições: CARB, com 85,7% de substituição do agregado natural por AGRG, substituídos 100% do pó de pedra e da areia natural; CARB, com 57,0% de substituição, substituído 100% o pó de pedra e 50% da areia natural; e CAGPRB, também com substituição de 57,0%, substituído 100% da areia natural.

São apresentadas na tabela 2 as seguintes composições utilizadas:

Tabela 2 – Composição dos concretos secos para fabricação dos blocos.

Materiais	Composição em volume (Litros)			
	CREF	CAGR	CARB	CARB
Areia natural	252	-	126	-
Pó de pedra	126	-	-	126
Pedrisco	63	63	63	63
AGRB	-	378	252	252
Água	28	36	36	36
Relação A/C (kg/kg)	0,37	0,48	0,48	0,48

Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

No final, tinha como resultado um total por traço o equivalente a 500 litros de concreto seco, resultando em 60 blocos.

Os BRC eram levados para armários e em seguida para a primeira cura, a sombra. Já na segunda cura, eram encaminhados a uma área descoberta e recebiam uma aspersão de água, em intervalos de 4 h, nas primeiras 48 h após a moldagem. Após 48 h, os blocos eram paletizados até o transporte para o estoque.

Figura 20 – Processo de Cura dos Blocos.



Fonte: Artigo: Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.

Objetivando o custo e otimização, a reciclagem de resíduos do BC é considerada uma excelente alternativa nos canteiros de obras de construção civil.

No caso apresentado, o agregado reciclável de blocos resultado de procedimentos simples resultou agregados semelhantes aos que já eram utilizados anteriormente, agregados com características granulométricas semelhantes às do pó de pedra.

Os requisitos de resistência da NBR 6136 (ABNT, 2007) foram atendidas e valendo-se da possibilidade de produzir blocos de concreto estruturais com agregados reciclados oriundos do processo de produção desses blocos

A importância desse estudo é verificada pela possibilidade de diminuição de resíduos como também seu aproveitamento, resultando na diminuição de matéria-prima original.

CONCLUSÃO

A construção civil é o setor que mais explora e consome recursos naturais do planeta. Os recursos retirados da natureza sem gerenciamento têm como resultado uma enorme geração de lixo e resíduos que contaminam o ar, o solo e as águas, além de ficarem dispostos em vias públicas ou terrenos abandonados pelas cidades, principalmente as maiores.

Assim como as demolições, os resíduos são provenientes do desperdício de materiais em construções novas que resultam de projetos mal elaborados, com falhas nas especificações dos materiais e detalhes, e ainda no planejamento e execução da obra, além disso, as construção e demolição (RCD) geram impactos acabam contribuindo para a formação de áreas irregulares de descarte em locais de preservação ambiental, afetando a drenagem das águas, obstruindo córregos, erosão de solos entre outros.

Existem dois tipos de resíduos provenientes da construção civil, os de canteiros que separam os resíduos para reutilização na própria obra ou que disponibilizam para empresas de coleta, e os que são gerados por pequenas obras e que não recebem nenhum tipo de tratamento ou separação e que são descartados em caçambas ou lançados de maneira irregular em aterros sanitários irregulares ou em vias públicas.

A reciclagem de resíduos possibilita a redução do impacto ambiental e gera produtos que são economicamente interessantes para o setor. Os agregados precisam respeitar determinadas características impostas para se encaixarem nos requisitos de utilização determinados pelas normas.

Os agregados reciclados provenientes de resíduos de concretos diferem dos naturais quando se trata da sua composição e também, porque eles são revestidos por argamassa quando colocados, e esta camada usada anteriormente para a construção, pode exercer influência nas propriedades do concreto feito com os agregados.

A natureza do resíduo, assim como o processo, influencia nas características dos agregados reciclados. O descarte de resíduos de

construção civil em aterros sanitários, lixões e aterros clandestinos é uma realidade que precisa da elaboração de projetos mais eficientes baseadas em conceitos de sustentabilidade, evitando desperdícios, através do planejamento de reuso de materiais, e com a preocupação com todo o ciclo de vida do empreendimento, englobando desde a fase de construção, passando pela utilização de recursos e demolição.

Os resultados alcançados conforme o estudo, proporciona vantagens para a área científica e para a sociedade, métodos da funcionalidade dos blocos de concretos feitos em RCD, deixando a disposição então novas compreensões científicas, apresentando os benefícios de reciclar os resíduos da construção civil e usados como um agregado no desenvolvimento dos blocos, sendo que, foi analisado o atendimento de certos meios de resistência a respeito do reaproveitamento desta forma de resíduo, diminuindo então, os grandes graus de população para o meio ambiente proporcionado pelo descarte feito de forma incorreta.

Conclui-se então, que o uso do RCD aos desenvolvimentos dos blocos de concreto é permitido e o mesmo, pode ser um modo eficaz de poder ser reaproveitada esta forma de resíduo diminuindo então, os graus níveis da poluição do meio ambiente, em que, é proporcionado pelo descarte feito de forma errada.

A pesquisa conseguiu chegar em seus objetivos, pois tudo o que era esperado foi realizado, onde se destaca a procura por a efetivação dos resíduos na construção civil nos blocos de concreto que procuram atender com o desenvolvimento acústico conforme a que padroniza a NBR 6136 (ABNT, 2007), ressaltando o seu meio socioambiental deste estudo. Depois, da apresentação do desenvolvimento, destaca-se então, que o uso do RCD no desenvolvimento de blocos de concreto é viável de forma técnica, considerando que pode concluir todos os requisitos mínimos para as construções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br>. Acesso em: 13 set. 2021.

ALTSCHUL, Joyce Sholl; OLIVEIRA, Isabel Pereira Vidigal de; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da. **Resíduo da construção e demolição: Tecnologias e problemas: um estudo de caso**. TC-USU. Rio de Janeiro. V. 3. N.1. p. 113-31. Jan/jun, 2020.

ANGULO, S.C.; ULSEN, C.; KAHN, H.; JOHN, V. M. Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD. In: V **Seminário de Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil**. IBRACON CT 206/IPEN. Anais. São Paulo. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738:2015: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6136:2014: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: **agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

BAPTISTA JÚNIOR, Joel Vieira; ROMANEL, Celso. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras., **Rev. Brasil. Gest. Urbana**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 27-37, Dec. 2013.

Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692013000200004&lng=en&nrm=iso>. acesso 22 set. 2021. <https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.SE02>.

BASTOS, Isadora Andrade; CRUZ, Leandro Faria Da; WOELFFEL, Anderson Buss. Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras. **Revista Científica Faesa**, Vitória, ES, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Brasília. **Diário Oficial da União**, de 30 de agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, DF, 5 jul. 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 308, de 21 de março de 2002. **Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte**. Brasília, DF, 21 mar. 2002.

BRASIL. RIO DE JANEIRO (Município). Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Resolução SMAC n. 387, de 24 de maio de 2005. **Disciplina apresentação de projeto de gerenciamento de Resíduos da Construção Civil — RCC**. Rio de Janeiro, RJ, 24 maio de 2005.

BRITO FILHO, J. A. **Cidades versus entulho**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 – Meio Ambiente, p.56-67, 1999.

BOLDRIN, A. J. et al. **Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto Com Resíduos de Construção e Demolição Empregados na Produção de Blocos de Concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., Rio de Janeiro, 2006. Anais...São Paulo: IBRACON, 2006.

BUTTNER, A. M. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos de Alvenaria Estrutural**. São Carlos, 2007. 535 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BURGOYNE, Dan. Construction and demolition (C & D) waste diversion in California. Estados Unidos, **Integrated Waste Management Board**. Disponível em: <http://www.ciwmb.ca.gov/condemo/casestudies/dgsdiversion.pdf>. Acesso em set..2021.

CARTILHA DA SMMA. **Plano de Gerenciamento de Resíduos do Município de Curitiba**. 2004. Disponível: <http://sindusconpr.com.br/gerenciamento-de-residuos-daconstrucao-civil-1960-p>.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S. BRUM, I.A.S. Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção. **Projeto entulho bom**. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CARNEIRO, A. P; BURGOS, P. C; ALBERTI, E. P. V. Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. **Projeto Entulho Bom**. Salvador: EDUFBA/ Caixa Econômica Federal, 2001, 188-227 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002: **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

FARIAS, R. S. et al. Análise de Propriedades de resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade em Prismas de Blocos de Concreto Produzidos Com Agregados **Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., Recife, 2005. Anais... São Paulo: IBRACON, 2005.

FERNANDES, J.A.B. (agosto de 2011). **Resíduos da Construção Civil**. 05-08.

FILHO, R. P. CHIAVINI, P. P. R. CIMINO, R. J. P.; GUIMARÃES, S. A. V. **Gestão de resíduos da construção civil e demolição no município de São Paulo e normas existentes**. 2007. Disponível em:

http://www.ipep.edu.br/portal/publicacoes/revista/rev07_01/art6_gestao.pdf. Acesso em set. 2021.

FILHO, José Américo Alves Salvador. **Blocos de Concreto para Alvenaria Em Construções Industrializadas**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29012009-104204/publico/2007DO_JoseAmerico.pdf. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

FULLER, W. B. THOMPSON, S. E. **A lei do concreto de proporção**. Transport American Society of Civil. Engenheiros. Vol. 23, n. 9 de março de 1907.

GOMES, P. C. C.; ALMEIDA, L. H.; PEREIRA, F. A. Avaliação de Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de Grandes Geradores. **Concreto & Construção**, São Paulo, v. 1, p. 80-88, 2012.

GOMES, Paulo César **Correia et al. Obtenção de concreto leve utilizando agregados** reciclados. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, Sept. 2015.

Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212015000300031&lng=en&nrm=iso>. accesson 22 set.. 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300024>.

GRIGOLI, Ademir S. O uso de entulho de obra na própria obra como parâmetro de organização de canteiro e redução de custos. In: **Encontro Nacional de Tecnologia no ambiente construído**, IX, 2020, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR. 2002.

HENDRICKS, F., JANSSEN, G. M. T. **Reutilização de resíduos de construção e demolição na Holanda para a construção de estradas**. *Heron*, v.46, n.2, p.109-117, 2001.

KIBERT, Charles, et al. **First International Conference On Sustainable Construction**. Flórida: 4. CIB, 1994.

JOHN, V. M. AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. 2000. São Paulo. Anais eletrônicos. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LIMA, E. S. CHENNA, S. I. M. **Reciclagem de entulho**. Viçosa, CPT, 2000, 90p.

LUZ, A. B. et. al. **Tratamento de minérios**. 4ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2004.867p.

MÁLIA, M. A. B. (2010) **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. Lisboa – Portugal, 17 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa.

MARQUES NETO J. C. **Gestão de Resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: Editora Rima, 2005. 162p.

MARINOSKI, Deivis. **Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20>. Acesso em 16 de setembro de 2021.

MELO, Adriana Virgínia Santana; FERREIRA, Emerson de Andrade Marques; COSTA, Dayana Bastos. **Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil**. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 99-115, sept. 2013. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212013000300007&lng=en&nrm=iso>. accesson 22 Oct. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000300007>. Acesso em set. 2020.

MENDES, H. **A construção civil e seu papel no meio ambiente**. 2013. (Online). Disponível em: <<http://www.neutralizecarbono.com.br>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: ed. PINI, 1994. 573p.

MOTTA, R. dos S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego/ R.S**. Mota – São Paulo, 2005. 134p.

PATTO, A. L.; OLIVEIRA, M. J. E. **Produção de Blocos de Concreto Com Agregado Reciclado e Minimização de Impactos Ambientais**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 7., São Paulo, 2006. Anais. São Paulo: IBRACON, 2006.

PINTO, T. P.; GONZÁLEZ, J.L., R. **Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos da construção**. São Paulo: CEMA, 2005. 3 p.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo. 1999. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, USP, São Paulo.

POON, C.S.; CHAN, D. **EffectsofContaminantsonthePropertiesof Concrete PavingBlocksPreparedWithRecycled Concrete Aggregates**. *ConstructionandBuildingMaterials*, v. 21, p. 164–175. 2007.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Desenvolvimento em Questão Construção Civil e a Degradação Ambiental Caroline das Graças Roth 1 Carlos Mello Garcias 2 DESENVOLVIMENTO EM QUESTÃO Editora Unijuí • ano 7 • n. 13 • jan./jun. • 2009 p. 111-128.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas: Aplicação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1975. V.2.

SILVA, Paulo José; BRITO, Mozar José de. Práticas de gestão de resíduos da construção civil: uma análise da inclusão social de carroceiros e cidadãos desempregados. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 13, n. 3, p. 545-556, Dec. 2006. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2006000300015&lng=en&nrm=iso>. accesson 23 Oct. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000300015>. Acesso em set. 2020.

SILVA, J. F. P. **Reciclagem de resíduos sólidos**. 2006. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos2/reciclagem-residuos/reciclagem-residuos.shtml>

SPADOTTO, Aryane. et al. **Impactos ambientais causados pela construção civil**. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 173-180, jul./dez. 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/235124968.pdf>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

TECNOMOR. **Diferentes maneiras de reciclar concreto e contribuir com o meio ambiente**. Blog: Tecnomor Aditivos e Desmoldantes, 2021. Disponível em: <https://tecnomor.com.br/blog/como-reciclar-concreto-e-contribuir-com-o-meio-ambiente/>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

WAMBUCO, Projeto. **Manual Europeu de resíduos da construção de edifícios**. v. 1-3. União Européia. Disponível em: <http://www.ceifa-ambiente.net/portugues/projectos/concluidos/wambu>. Acesso em set. 2020.

Caroline Camila Rodrigues dos Santos
UNESA
Bruno Matos de Farias
UNESA

RESUMO

Este artigo propõe-se a apresentar Viaduto Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ, construído em 1969. Para desenvolvimento do estudo de caso utilizou-se a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), que consiste basicamente em três etapas: levantamento de subsídios, através de vistoria do local, identificando a natureza e origem das patologias; diagnóstico da situação, buscando o entendimento dos fenômenos em termos de interpretação das relações de causas e efeitos que caracterizaram as manifestações patológicas da estrutura de concreto armado. Optou-se por esse método por ser disponível e conhecido, além de contar com vários exemplos práticos para pesquisa. O viaduto em estudo tem como objetivo principal expor as principais causas do aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto em viadutos e propor soluções para as manifestações detectadas no viaduto em questão. Notou-se no decorrer dessa pesquisa que as principais manifestações patológicas estão ligadas a projetos deficientes de detalhamento e incompatibilidade entre eles, falhas durante a execução e falta de vistoria dos profissionais, resultando em diversos problemas nas estruturas comprometendo o desempenho delas. Chegou-se ao entendimento que um programa eficiente de inspeção/manutenção constante traz possibilidades de assegurar a durabilidade das edificações, permitindo determinar prioridades para as ações necessárias ao cumprimento da vida útil prevista.

Palavras-chave: patologia; estrutura; concreto armado.

INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização o homem vem utilizando materiais naturais como elementos constituintes da construção civil. Porém, com o passar dos anos, tem-se preocupado cada vez mais com a estabilidade e segurança das edificações e com o desenvolvimento de materiais, técnicas e métodos, consolidando cada vez mais a tecnologia das construções, abrangendo a análise, o cálculo e o detalhamento das estruturas bem como as respectivas técnicas construtivas. Esses processos de alterações e

aprimoramento proporcionaram, dentro de certos limites, a construção de estruturas adaptadas as necessidades dos usuários, sejam elas habitacionais, laborais ou de infraestrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

No Brasil, a falta de programas voltados à manutenção de pontes e viadutos é um dos maiores problemas enfrentados pelo sistema rodoviário. Um dos fatores que contribui para isso, é a ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras, que, por sua vez, estão sendo sobrecarregadas pelo grande fluxo de veículos pesados e com sobrepeso (VITÓRIO, 2006 apud BASTOS; MIRANDA, 2017).

De acordo com a norma brasileira atual, NBR 6118:2014, se todas as suas prescrições, deveres e condições relativas à durabilidade, ao Estado Limite Último e ao Estado Limite de Serviço forem atendidas, se houver as manutenções preventivas como definidas em projeto e contando que não haja alterações das condições ambientais para as quais a estrutura de concreto foi projetada, essas estruturas terão sua durabilidade garantida, observadas também as manutenções essenciais definidas durante o projeto (ANGELO, 2004).

Para uma completa análise das patologias, Machado (2002, p. 5) afirma que é necessário verificar e interpretar “as manifestações patológicas; os agentes causadores dos problemas; as origens dos problemas; os erros de projeto”. Considerando a importância do tema, foi realizado um estudo das patologias encontradas nas estruturas de concreto do Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ, procurando saber especificadamente essas manifestações para determinar quais os fatores influenciadores de patologias nessas estruturas de concreto.

Justifica-se a escolha do tema pela importância que o mesmo abrange em relação aos gastos para os cofres públicos, já que, a falta de manutenções nas obras públicas faz com que pequenos problemas – que a princípio teriam baixos custos de recuperações, evoluam para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspecto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação (ANTONIAZZI, 2009).

No ano de 2016, um táxi foi atingido por um bloco de reboco na altura da Praça Condessa de Frontin, próximo à Rua do Bispo no Rio de Janeiro. Na ocasião, nenhuma pessoa ficou ferida, mas o vidro traseiro do veículo foi destruído.

Quase todos os anos surgem notícias de viadutos sem manutenções, desabando ou interditados devido a deslocamento de suas partes de concretos. A falta de pessoal especializado disponível para contratação, em razão do aquecimento do mercado de construção, a conivência do Estado e a carência de informação da população são elementos que corroboram essa situação (FERREIRA, 2015).

Hipóteses

Segundo a ABNT NBR: 6118:2014 referente a Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, na parte 14 refere a Análise estrutural vai determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações dos estados-limites últimos e de serviço. No item secundário 14.3 referente as hipóteses básicas sobre as condições de equilíbrio, condições de compatibilidade e carregamento monotônico. São utilizadas nos dimensionamentos de vigas de concreto. Na parte 15 refere a Instabilidade e efeitos de 2ª ordem. No item secundário 15.2 referente ao campo de aplicação e conceitos fundamentais.

Se aplica principalmente a estruturas constituídas por barras submetidas à flexão composta, onde a contribuição da torção, nos efeitos de 2ª ordem, possa ser desprezada.

Condições de equilíbrio

As condições de equilíbrio devem ser necessariamente respeitadas. As equações de equilíbrio podem ser estabelecidas com base na geometria indeformada da estrutura (teoria de 1ª ordem), exceto nos casos em que os deslocamentos alterem de maneira significativa os esforços internos (teoria de 2ª ordem).

Condições de compatibilidade

Quando as condições de compatibilidade não forem verificadas no estado-limite considerado, devem ser adotadas medidas que garantam ductilidade adequada da estrutura no estado-limite último, resguardado um desempenho adequado nos estados-limites de serviço.

Carregamento Monotônico

Admite-se carregamento monotônico até o estado-limite considerado, nas estruturas usuais, desde que a resposta a ciclos de carga e descarga, em serviço, não solicite o concreto a tensões de compressão acima de $0,5 f_{ck}$.

Campo de Aplicação e Conceitos Fundamentais

Esta parte se aplica principalmente a estruturas constituídas por barras submetidas à flexão composta, onde a contribuição da torção, nos efeitos de 2ª ordem, possa ser desprezada.

Os princípios desta parte podem ser aplicados a outros tipos de elementos estruturais, como cascas, paredes e vigas-parede.

Nas estruturas de concreto armado, o estado-limite último de instabilidade é atingido sempre que, ao crescer a intensidade do

carregamento e, portanto, das deformações, há elementos submetidos a flexo-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da sollicitação.

Existem nas estruturas três tipos de instabilidade:

- a) nas estruturas sem imperfeições geométricas iniciais, pode haver (para casos especiais de carregamento) perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio (flambagem);
- b) em situações particulares (estruturas abatidas), pode haver perda de estabilidade sem bifurcação do equilíbrio por passagem brusca de uma configuração para outra reversa da anterior (ponto - limite com reversão);
- c) em estruturas de material de comportamento não linear, com imperfeições geométricas iniciais, não há perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio, podendo, no entanto, haver perda de estabilidade quando, ao crescer a intensidade do carregamento, o aumento da capacidade resistente da estrutura passa a ser menor do que o aumento da sollicitação (ponto-limite sem reversão).

Fonte: ABNT NBR: 6118:2014.

Os casos a) e b) podem ocorrer para estruturas de material de comportamento linear ou não linear.

Efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos em uma análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada.

Os efeitos de 2ª ordem, em cuja determinação deve ser considerado o comportamento não linear dos materiais, podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10 % nas reações e nas sollicitações relevantes na estrutura.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as manifestações patológicas no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ.

Esse projeto de estudo tem por objetivo específico:

- Analisar quais são as origens das manifestações patológicas do concreto armado;
- Apontar as principais e mais comuns manifestações patológicas em estruturas de concreto armado encontradas, mostrando quais são as características de cada uma para que possam ser reconhecidas, reforçadas e recuperadas;
- A partir do diagnóstico e compreender as causas das patologias, apontar a recuperação estrutural.

PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Conforme relata Trindade (2015), após o advento do concreto e as vantagens que apresentava sobre as demais técnicas e materiais utilizados na época, registrou-se intensa aceleração no uso deste material. E, durante muitos anos, o concreto armado foi considerado um material perene, que não necessitava de cuidados e dispensava manutenção. Entretanto, começaram também a serem identificadas as manifestações patológicas que este pode provocar devido ao desleixo, a sua má utilização, à mão de obra desqualificada ou pela falta de conhecimento de como utilizá-lo apropriadamente.

CONCEITO PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Entende-se por Patologias de Estruturas de Concreto Armado a ciência que estuda as causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências dos erros nas construções civis ou nas situações em que a edificação não apresenta um desempenho mínimo preestabelecido pelo usuário.

O crescimento muito acelerado da construção civil provocou a necessidade de inovações, trazendo também a aceitação de certos riscos, que demandam um maior conhecimento sobre estruturas e materiais. Esse aprendizado provém das análises dos erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou acidentes. Apesar disto tudo, tem sido constatado que algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório, confrontando-as com os objetivos as quais se propunham (SOUZA e RIPPER, 1998).

No caso das estruturas, vários problemas patológicos podem surgir em virtude do que já foi comentado. Uma fiscalização deficiente relacionada a uma baixa capacitação dos profissionais envolvidos pode levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, escoramento, formas, posicionamento, qualidade das armaduras e concretagem, desde a sua fabricação até a cura. Botelho (1996) afirma que:

[...] a ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção que é em muito prejudicado por refletir de imediato os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional (BOTELHO 1996, p.43).

De acordo com Clímaco (2016), as construções existem, desde a Antiguidade, para se adequarem ao estilo de vida do homem, tanto para abrigo como para trabalho ou expansão territorial. Os materiais estruturais foram evoluindo junto com a civilização, começando pela pedra e a madeira,

que datam de, pelo menos, três mil anos, até chegar nas ligas metálicas, há alguns séculos.

SEGURANÇA

Conforme ABNT NBR 15575:2013, parte 1, as exigências do usuário relativas à segurança são expressas pelos seguintes fatores:

- Segurança estrutural;
- Segurança contra o fogo;
- Segurança no uso e na operação.

Segurança Estrutural

Em relação à estabilidade estrutural deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 6118:2007, em relação aos estados limites de serviço e estados limites últimos.

Segurança Contra o Fogo

Em relação à segurança contra o fogo, deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 15200:2012 (Esta Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento, conforme requisitos de resistência ao fogo estabelecidos na ABNT NBR 14432:2001).

VIDA ÚTIL

Segundo declara Ângelo (2004), definir a vida útil da estrutura de concreto não é tarefa simples, pois este estudo abrange conhecimentos multidisciplinares como as engenharias de estruturas, de materiais, de construção, de manutenção, de química, economia e estatística. A vida útil de uma estrutura está intimamente ligada ao processo de deterioração dos materiais utilizados na obra, dos esforços a que os elementos estão sujeitos, bem como das condições ambientais e dos agentes agressores. Mas, por meio de modelos estatísticos, podem-se encontrar valores aproximados da duração da vida útil de uma ponte ou viaduto.

A autora afirma que utilizar métodos estatísticos e matemáticos é adequado para aferir a vida útil da estrutura de concreto, porém, os resultados não são precisos devido ao grande número de variáveis e de imprevistos. Não se calcula a vida útil e durabilidade de uma estrutura, mas, ao definir um cobrimento de concreto e uma relação água-cimento, pode-se, com razoável confiabilidade, fixar a vida útil da estrutura em, por exemplo, 40 anos. Desse modo, é possível seguir certo número de condições para se alcançar uma estrutura com boa durabilidade, sem determinar o número de anos.

Para Rohan et al (2016), algumas medidas são valiosas à preservação das funções para as quais a construção foi planejada e o prolongamento da vida útil da estrutura de pontes e viadutos que estão sob os efeitos de mecanismos de deterioração. Para isso, os autores defendem que a manutenção eficiente inclua os procedimentos indispensáveis ao bom estado da ponte e a recuperação emergencial, com o objetivo de evitar o desgaste da estrutura.

No entanto, Almeida e Sales (2018) entendem que a vida útil de uma estrutura de concreto armado está vinculada à sua durabilidade, enquanto esta é a capacidade de os elementos estruturais suportarem as agressões ambientais no qual está inserida. Assim, é fundamental conhecer e avaliar as influências e os efeitos que os diversos tipos de ambientes causam às estruturas de concreto. Segundo Mendes et al (2012), este conhecimento é essencial, pois sabe-se que, ao longo da vida útil das estruturas ocorrem mudanças de capacidade de carga, geometria dos veículos da frota, bem como alterações dos trens-tipo. Sob estas condições, muitas apresentam sinais de deterioração do concreto e da armadura.

DURABILIDADE

Entende-se como durabilidade a medida em anos da vida útil de uma estrutura ou sistema.

A durabilidade das estruturas de concreto, conforme a NBR 6118:2007, item 5.1.2 é — A capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Para a NBR 6118:2007 da ABNT, item 5.1.2.3, durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir as influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. No item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil”.

De acordo com Medeiros et Andrade an Helene (2011, p. 786) para evitar envelhecimento precoce e satisfazer às exigências de durabilidade devem ser observados os seguintes critérios de projeto:

- Prever drenagem eficiente;
- Evitar formas arquitetônicas estruturais inadequadas;
- Garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- Garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- Detalhar adequadamente as armaduras.

O termo vida útil e durabilidade segundo Silva (2011) são tão próximos que, por vezes, são utilizados de maneira errada. A durabilidade é uma qualidade da estrutura e a vida útil é a quantificação desta qualidade.

Nos últimos anos, vários trabalhos têm confirmado a importância econômica da consideração da durabilidade, a partir de pesquisas que demonstram os expressivos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos da Europa, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Gastos em países desenvolvidos com manutenção.

país	gastos com construções novas	gastos com manutenção e reparo	gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Nota: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Fonte: Silva, 2011.

Verifica-se, pelo quadro acima, que dentre os países da Europa relacionados o que mais está investindo em novas construções é a Alemanha (99,7 Bilhões de Euros) e também em gastos com manutenção e reparo (99,0 Bilhões de Euros). Assim, por conta dos crescentes problemas de degradação precoce verificados nas estruturas,

[...] no setor da construção civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido. (MEDEIROS et. ANDRADE an HELENE, 2011, p 773).

Neville e Brooks (2013) define durabilidade do concreto como sendo a capacidade do concreto de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura.

Considerações Iniciais Referentes aos Projetos

Em relação ao desenvolvimento dos projetos, a ABNT NBR 15575:2013, parte 1, estabelece que: — do ponto de vista da segurança e estabilidade ao longo da vida útil da estrutura, devem ser previstas nos projetos considerações sobre as condições de agressividade do solo, do ar e da água na época do projeto, prevendo-se as proteções aos sistemas estruturais e suas partes.

Além disso, prescreve que:

“Salvo convenção escrita, é da incumbência do incorporador, de seus prepostos e/ou dos projetistas envolvidos, dentro de suas respectivas competências, e

não da empresa construtora, a identificação dos riscos previsíveis na época do projeto, devendo o incorporador, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com as informações necessárias. Como riscos previsíveis, exemplifica-se: presença de aterro sanitário na área de implantação do empreendimento, contaminação do lençol freático, presença de agentes agressivos no solo e outros riscos ambientais”.

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

A ABNT NBR 15575:2013, estabelece que devem ser tomadas precauções com relação à implantação e descreve o seguinte:

“Para edifícios ou conjuntos habitacionais com local de implantação definido, os projetos de arquitetura, da estrutura, das fundações, contenções e outras eventuais obras geotécnicas devem ser desenvolvidos com base nas características do local da obra (topográficas, geológicas etc.), avaliando-se convenientemente os riscos de deslizamentos, enchentes, erosões, vibrações transmitidas por vias férreas, vibrações transmitidas por trabalhos de terraplenagem e compactação do solo, ocorrência de subsidência do solo, presença de crateras em camadas profundas, presença de solos expansíveis ou colapsíveis, presença de camadas profundas deformáveis e outros”.

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

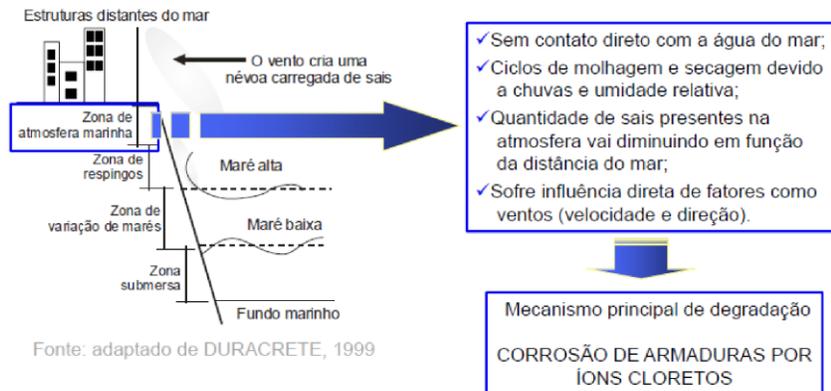
Há ainda que considerar as condições do entorno durante a realização dos projetos, conforme determina ABNT NBR 15575:2013, parte 1. —Os projetos devem ainda prever as interações entre construções próximas, considerando-se convenientemente as eventuais sobreposições de bulbos de pressão, efeitos de grupo de estacas, rebaixamento do lençol freático e desconfinamento do solo em função do corte do terreno.

A durabilidade das estruturas de concreto, conforme a NBR 6118:2007, item 5.1.2 é —A capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Lima (2011) apresenta, de forma bastante didática, a caracterização dos diferentes ambientes em contato com as estruturas, de tal forma que é possível identificar, de forma apropriada, as interações entre o meio ambiente e as estruturas.

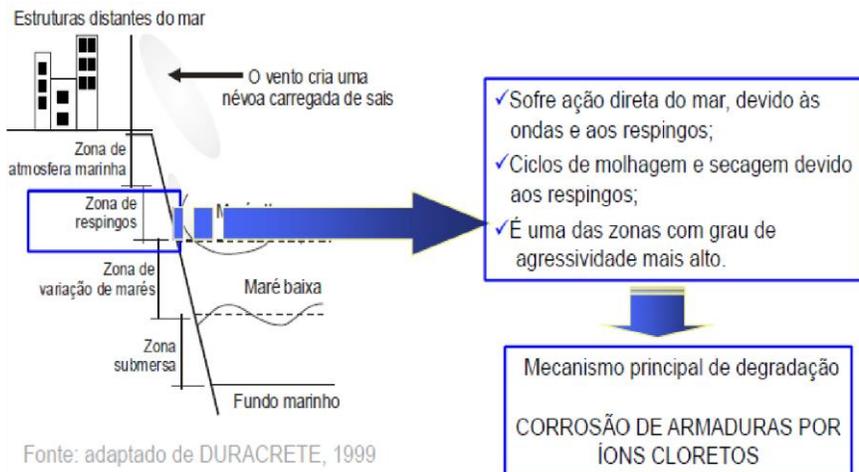
A Figura 1 apresenta as interações entre o ambiente marinho e as estruturas de concreto distante do mar, com os efeitos produzidos.

Figura 1 – Interação entre zona de atmosfera marinha e estruturas de concreto armado distantes do mar.



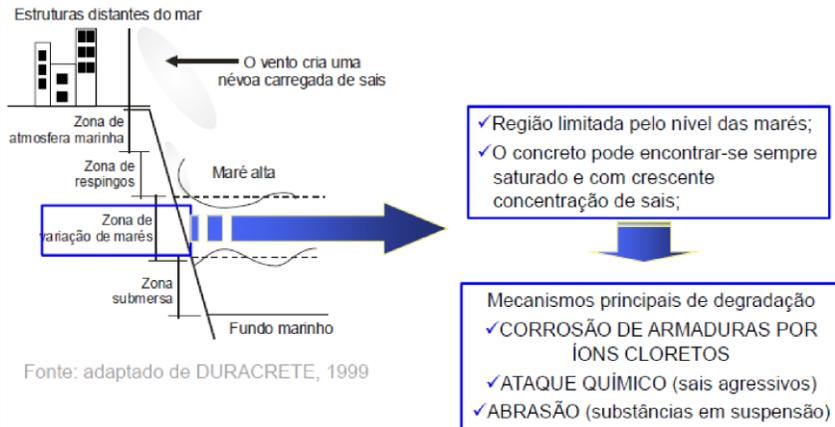
A Figura 2 apresenta a vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação da estrutura de concreto armado.

Figura 2 – Vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado.



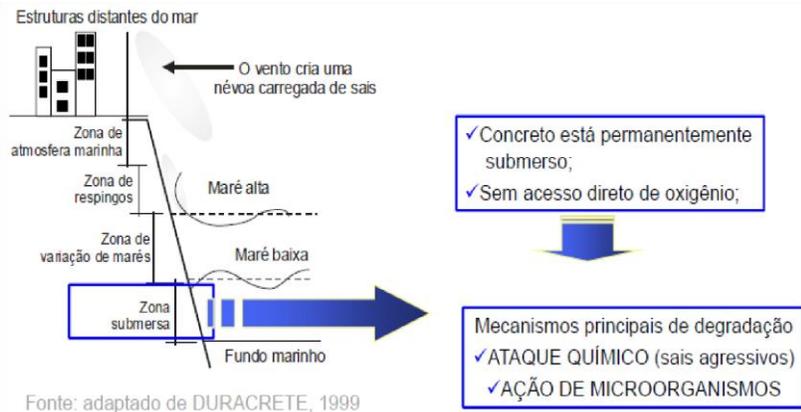
A Figura 3 apresenta a íntima relação entre variação das zonas das marés e os mecanismos de degradação do concreto.

Figura 3 – Relação entre zona de variação de marés e os mecanismos principais de degradação do concreto.



A Figura 4 apresenta-se a relação de causa e efeito em que a estrutura encontra - se submersa e os mecanismos de deterioração do concreto.

Figura 4 – Estruturas submersas e principais mecanismos de degradação do concreto.



Faz-se necessário considerar, ainda na etapa de projeto, climas e ambientes específicos, que conforme Lima (2011) podem ser apresentados esquematicamente, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Relação entre climas e ambientes específicos e mecanismos de degradação do concreto.

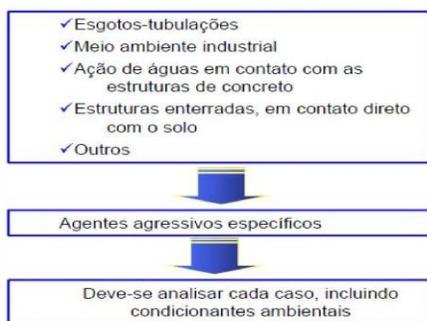
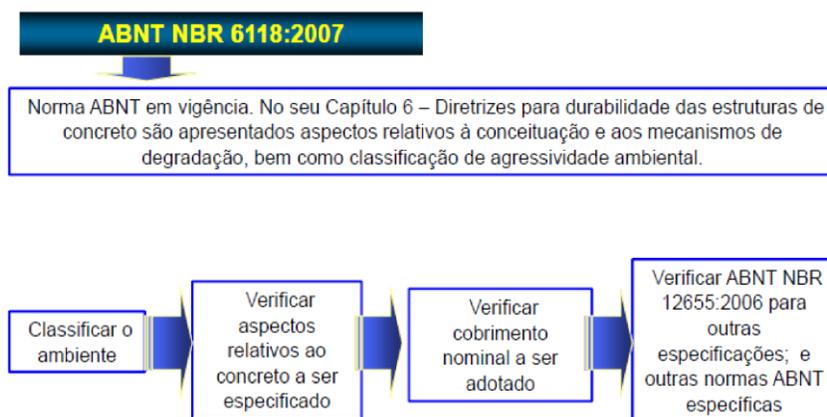


Figura 26 – Degradação apresentada em pilar de estrutura em contato com produtos químicos para fabricação de fertilizantes
Foto: Maryangela Geimba de Lima, 1991

A seguir, apresenta-se na figura 6 fluxogramas proposto por Lima (2011), o qual auxilia no entendimento dos procedimentos propostos pela ABNT NBR 6118:2007 para a definição da classe de concreto, cobrimento de armadura e tipo de cimento, cujo objetivo é garantir a vida útil de projeto.

Figura 6 – Fluxograma de procedimentos a serem adotados quando da escolha classe de concreto, relação água/cimento, cobrimento nominal de armadura e tipo de cimento.



Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 2 estabelece a relação entre a classe de agressividade ambiental, o tipo de ambiente, a agressividade e o risco de deterioração. Com base nessa tabela é possível definir em projeto a classe de resistência, a relação água/cimento mais apropriada, o adequado cobrimento de armadura e o mais apropriado tipo de cimento.

Quadro 2 – Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2007).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 3 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência do concreto.

Quadro 3 – Relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência, conforme ABNT NBR 6118:2007.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 4 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.

Quadro 4 – Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

MANUTENÇÃO

Os pontos vulneráveis de uma estrutura precisam ser identificados na etapa de projeto, e também na etapa de construção, a fim de que seja preparado um sistema de manutenção. Para Souza e Ripper (1998), é a soma das ações para reduzir os gastos e manter o desempenho. É preciso definir as metodologias de operação, controle e execução da obra e a análise custo-benefício da mesma. Com a evolução modernista da construção civil, no campo das responsabilidades, surgiu a figura do usuário que participa da etapa da utilização, colaborando para o bom desempenho e para a durabilidade da obra, seguindo os princípios definidos no projeto. Na corresponsabilização, proprietário, investidor e usuário devem estar de acordo e preparados para arcar com o custo do sistema de manutenção idealizado pelos projetistas. O sistema funcionará com inspeções rotineiras tendo o usuário como ator essencial, iniciando na fase de concepção, seguindo os critérios de projeto de estruturas duráveis, com um programa sistemático de inspeções técnicas aos elementos estruturais.

Conforme Souza e Ripper (1998), a manutenção estratégica, ou cadastral, é projetada prevendo as intervenções corretivas e emergenciais.

São os casos em que são estabelecidos o ritmo e a forma dos procedimentos; as inspeções técnicas informativas e os sistemas que acompanharão o comportamento das partes vulneráveis identificadas na fase do projeto e da construção. A manutenção preventiva é realizada observando os dados obtidos nas inspeções regulares, atendendo aos critérios preestabelecidos para minimizar as probabilidades de ruína ou degradação da estrutura. A manutenção esporádica é fruto da necessidade de correção ou de reforço e não tem plano de ação predeterminado. O custo com um ou outro sistema varia segundo a localização geográfica e no entorno da estrutura.

Estas informações são importantes, contudo, Mascarenhas et al, (2019) acrescentam que a manutenção pode ser definida como todos os métodos que assegurem o desempenho satisfatório da estrutura, condutas que visam oferecer à estrutura maior tempo de vida útil.

INSPEÇÕES

Segundo a ABNT NBR 9452:2019 refere - se a Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Na seção 4 determina os 4 tipos de inspeções. Os tipos de inspeções considerados nesta Norma são:

- a) cadastral;
- b) rotineira;
- c) especial;
- d) extraordinária.

Inspeção cadastral

É a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário.

Deve também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

A inspeção cadastral deve conter:

- a) as informações do roteiro básico;
- b) registro fotográfico;
- c) desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro, e das seções típicas transversal e longitudinal, com suas respectivas medidas principais;
- d) a classificação da OAE;
- e) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

O registro fotográfico de caracterização da estrutura deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura,

quando aparentes, e os detalhes julgados necessários. As fotos devem permitir a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural. Deve conter também o registro das anomalias detectadas que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da obra. As fotos da obra devem ser datadas. O registro fotográfico deve ser apresentado juntamente com os dados coletados em conformidade com o roteiro.

Inspeção rotineira

Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

A inspeção rotineira deve conter:

- a) introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs;
- b) a classificação da OAE;
- c) comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior;
- d) Ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias;
- e) registro fotográfico;
- f) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

Inspeção especial

A inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que se enquadre concomitantemente aos seguintes casos:

- a) obras com classificação de intervenção de longo prazo (notas de classificação 4 e 5, conforme Tabela 1);
- b) obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente e sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares.

Para elementos submersos, a inspeção subaquática deve ser realizada conforme.

A inspeção especial deve ser feita antecipada quando:

a) a inspeção anterior indicar uma classificação de intervenção em curto prazo (notas de classificação 1 e 2, conforme Tabela 1) nos seus parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade;

b) forem previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação de classe portante.

O procedimento para a inspeção especial deve seguir o roteiro apresentado.

Inspeção extraordinária

A inspeção extraordinária é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas ou não:

a) necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;

b) ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;

c) ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

A inspeção extraordinária deve ser apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura.

Para elementos submersos, a inspeção subaquática deve ser realizada.

O fluxograma de inspeção orienta os passos decisórios para as inspeções a serem realizadas.

Parâmetros de avaliação das OAE

Conforme a Parte 5 Critério de classificação das OAE, no item 5.1 Parâmetros de avaliação das OAE, nos subitens 5.1.1 e 5.1.3 descreve sobre os Parâmetros estruturais e Parâmetros de durabilidade das inspeções. De acordo com ABNT NBR 6118:2014.

Parâmetros estruturais

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme ABNT NBR 6118:2014.

Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.

Parâmetros de durabilidade

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço. Conforme ABNT NBR 6118:2014.

Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra-ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras.

A relevância dos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que se situam, com o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

Notas de Classificação

A classificação da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 1, que correlaciona essas notas com a condição da OAF e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 1 – Classificação da condição de obra de arte segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Nota de Classificação	Condição	Caracterização o estrutural	Caracterização o funcional	Caracterização o de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.

4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

Tabela 1 (continuação)

2	Ruim	<p>Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.</p>	<p>OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.</p>	<p>A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.</p>
1	Crítica	<p>Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e</p>	<p>A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.</p>	<p>A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.</p>

		associada instrumentação, ou não.		
--	--	--	--	--

Fonte: ABNT NBR 9452:2019.

No caso das inspeções especiais, que são mais detalhadas, cada elemento da obra é inspecionado e suas anomalias são registradas. A classificação deve seguir os referenciais de classificação apresentados no subitem 2.7.1.

A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, conforme Tabela 2.

A classificação final deve ser apresentada conforme o modelo apresentado na Tabela 2, por componente estrutural e com uma classificação para cada um dos parâmetros considerados estrutural, funcional e de durabilidade, com base nas notas da Tabela 1.

Tabela 2 – Modelo de ficha de classificação.

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota Final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: ABNT NBR 9452:2019.

DEFINIÇÃO DA PATOLOGIA NO CONCRETO ARMADO

Segundo Helene (2002), as patologias normalmente apresentam características externas a partir das quais se pode conhecer sua origem, natureza e os mecanismos dos acontecimentos envolvidos. Certos problemas têm maior incidência, devido a necessidade de cuidados que geralmente são ignorados, seja no projeto, na execução ou até mesmo na utilização. Pode-se dizer que os problemas de maior importância nas estruturas em concreto armado, que requer atenção pelo seu evidente risco à integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as flechas excessivas das peças estruturais e as fissuras patológicas nestas.

Ainda de acordo com o mesmo autor, é importante salientar que uma análise correta dos problemas, é aquela que nos permite definir claramente a origem, causas, consequências, a intervenção mais adequada e o método de intervir. Mais adiante, alguns problemas serão apresentados e tratados individualmente.

Causas das Patologias

Para identificar as causas das patologias do concreto é preciso observar suas manifestações que ocorrem normalmente nas partes externas das estruturas. No entanto, existem partes externas que não são normalmente visualizadas, como os totais ou parcialmente enterradas (fundações, arrimos, piscinas); as faces internas das juntas de dilatação; e as do interior de galerias e reservatórios. “Nesses locais, os chamados danos ocultos só são detectados se forem programadas e executadas inspeções específicas”, afirma PIANCASTELLI (2014).

As manifestações a seguir podem indicar a existência de patologias do concreto.

- Fissuras e Trincas
- Desagregação
- Erosão e Desgaste
- Disgregação (Desplacamento ou Esfoliação)
- Segregação
- Manchas
- Corrosão
- Eflorescência
- Calcinação
- Flechas Exageradas
- Perda de Aderência Entre Concretos (nas juntas de concretagem)
- Porosidade
- Permeabilidade

“Vale ressaltar que algumas enfermidades são erroneamente consideradas sintomas, como o caso clássico da corrosão das armaduras, que caracteriza a enfermidade ‘falta de homogeneidade’, e cujos sintomas são fissuras e desagregação do concreto”, diz PIANCASTELLI (2014).

Origem das Patologias

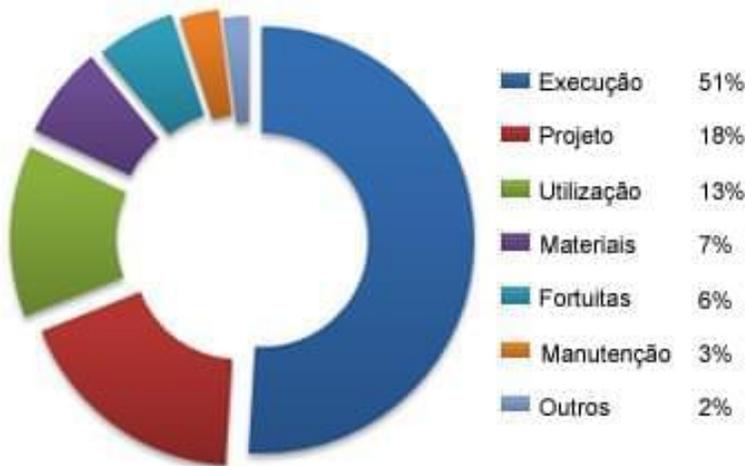
A origem de uma patologia está relacionada com a etapa da vida da estrutura em que foi criada a predisposição para que agentes desencadeassem seu processo de formação. Conheça as origens das enfermidades do concreto:

- Defeitos de projeto
- Defeitos de execução
- Erosão e Desgaste
- Má qualidade dos materiais ou uso inadequado
- Sinistros ou causas fortuitas (incêndios, inundações, acidentes etc.)
- Uso inadequado da estrutura

- Manutenção imprópria
- Outras, incluindo origens desconhecidas

No Brasil, as principais causas das patologias estão relacionadas à execução. A segunda maior causa são os projetos que pecam por má avaliação de cargas; erros no modelo estrutural; erros na definição da rigidez dos elementos estruturais; falta de drenagem; ausência de impermeabilização; e deficiências no detalhamento das armaduras. A Figura 7 apresenta resultados relacionados com incidências e origens de manifestações patológicas, segundo estudo de PIANCASTELLI (2014).

Figura 7 – Incidências e origens de manifestações patológicas.

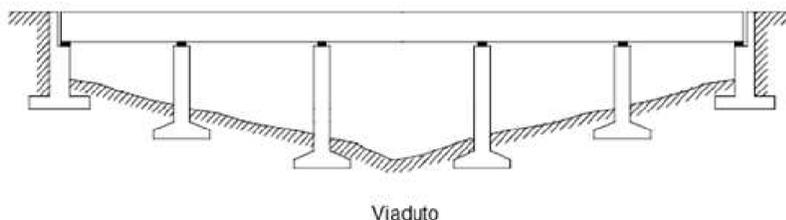


Fonte: Piancastelli, 2014.

VIADUTO

Segundo a ABNT NBR 9452:2019. No item 3.3, viaduto: estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo é constituído por rodovia, ferrovia, vale, grota, contorno de encosta. Esta estrutura destina-se também à substituição de aterros. No item 3.8 estabelece viaduto como obra de arte especial (OAE): estrutura classificada como ponte, pontilhão, viaduto ou passarela. E no item secundário 3.17 esclarece sobre as patologias: estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como das alterações por esta trazida ao elemento em análise e à OAE.

Figura 8 – Esquema de Viaduto.



Fonte: DEBS e TAKEYA, 2009.

Histórico

No Brasil, o DNIT (2004) afirma que as primeiras normas para a construção de pontes e viadutos são datadas da década de 40, período em que a malha rodoviária federal foi implantada. Como as estruturas construídas naquela época eram elaboradas em normativas que se modificaram ao longo dos anos, algumas obras sofreram processos de restauração e/ou reforço em sua estrutura. Essas modificações foram necessárias para acompanhar o desenvolvimento da sociedade e possibilitar a construção de novas estruturas mais seguras e com melhor desempenho mecânico.

METODOLOGIA

O presente capítulo pretende apresentar os procedimentos, ferramentas e estratégias para o desenvolvimento do trabalho. Serão descritos o método de estudo, os instrumentos de coleta e de análise de dados qualitativa com referência bibliográfica. Fachim (2005), afirma que toda pesquisa científica tem início com o método observacional. Este método baseia-se em processos de natureza sensorial, como produto do processo em que se empenha o pesquisador no mundo dos fenômenos empíricos.

O MÉTODO DE ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado o método de estudo de um caso no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

Segundo Lichtenstein (1985), o levantamento de subsídios e a etapa onde as informações essenciais e suficientes para o entendimento completo das manifestações patológicas são organizadas. Estas informações são obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento histórico do viaduto e do problema e o resultado das análises.

A vistoria do local foi contemplada com a coleta de dados através do levantamento fotográfico das patologias de um viaduto na cidade do Rio de Janeiro através de um smartphone “*Samsung Galaxy S8*”.

CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

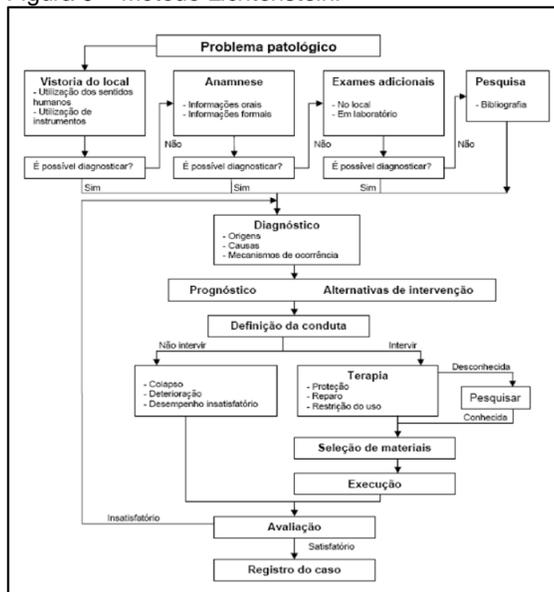
O trabalho foi realizado no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Optou-se por esse Viaduto devido aos diversos e grandes números de patologias encontradas, se comparado a outros viadutos com mesma ou diferença de idade. Além disso, por ele estar localizado na cidade do Rio de Janeiro – RJ, tornou-se de fácil o acesso para realização de vistorias, fotografias e observações patológicas.

O critério de escolha de ambientes para estudo foi dado as diversas presenças evidentes as manifestações patológicas e por meio de relatos jornalísticos ligados aos ambientes. Foram vistoriados cada um dos ambientes, em todos neles foram detectadas as patologias. A partir daí, os ambientes que mais apresentaram as patologias com mais significativas, fazem parte do presente estudo.

MÉTODO PARA LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para diagnosticar os problemas patológicos no presente estudo de caso foi utilizado em partes o método de *Lichtenstein*. Foi escolhido esse método porque é disponível e conhecido, além de possuir vários exemplos práticos para pesquisa. Ele tem seu desenvolvimento explicado na Figura 9.

Figura 9 – Método Lichtenstein.



Fonte: Lichtenstein, 1985.

A identificação das patologias e a vinculação de suas causas tem o objetivo de aplicar o método em estudo e possivelmente contribuir para uma correção na trajetória de busca de durabilidade nas construções.

Lichtenstein no ano de 1985 propôs uma estrutura para a análise de problemas patológicos que consiste em uma sequência de três etapas:

Primeira fase: consiste no levantamento de subsídios, fazendo parte desta, a vistoria do local, o levantamento da história do problema e do edifício (*anamnese do caso*), ensaios complementares e pesquisa. Entendido o caso, parte-se então para a segunda fase.

Segunda fase: que é a elaboração do diagnóstico da situação, que compreende entender — os porquês e os cosmos a partir de dados conhecidos.

Terceira fase: caracteriza-se por ser a definição de conduta. Na presente pesquisa não será realizado estudo das alternativas de intervenção.

Levantamento de Subsídios

Para examinar o objetivo, realizou-se o levantamento através de vistoria no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet do Rio de Janeiro, no dia 27 de setembro de 2020, buscando observar minuciosamente cada uma das manifestações patológicas, para levantamento do maior número de dados possível. Também foram efetuados registros fotográficos das patologias detectadas, pesquisa bibliográfica relacionada a cada um dos problemas encontrados.

Diagnóstico da Situação

O diagnóstico da situação, segundo *Lichtenstein* (1985), é a compreensão dos fenômenos, buscando identificar as relações de causa e efeito que normalmente caracterizam uma patologia. Cada subsídio, segundo este autor, obtido na vistoria do local, na anamnese ou nos exames complementares deve ser interpretado no sentido de compor um quadro de entendimento de como trabalha o edifício, como reage à ação dos agentes agressivos, porque surgiu e como se desenvolveu o problema patológico.

DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será demonstrado o local de estudo das patologias, com as informações sobre o histórico do viaduto, os casos analisados dentro da estrutura proposta, com descrição e análise de três casos conforme a metodologia de *Lichtenstein* (1985), detalhada para cada tipo de ocorrência.

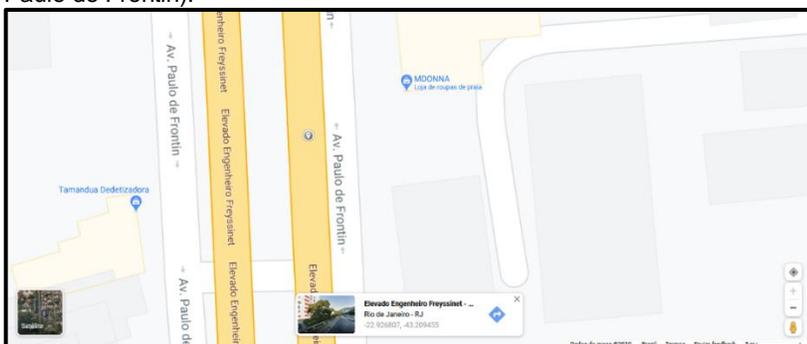
VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN) – HISTÓRICO DO VIADUTO

No ano de 1962, foi idealizado o projeto como a primeira parte da Linha Vermelha, em 1969 deu início a construção do viaduto pelo engenheiro civil de estruturas Eugène Freyssinet, mais conhecido como Viaduto Elevado Paulo de Frontin.

O Viaduto é conhecido como Paulo de Frontin porque embaixo dele passa uma avenida com esse nome.

O elevado liga o Túnel Rebouças à Linha Vermelha, com saídas em direção à Ponte Rio-Niterói e à Avenida Brasil. Em um grande trecho, ele acompanha todo o traçado da Avenida Paulo de Frontin, no bairro do Rio Comprido.

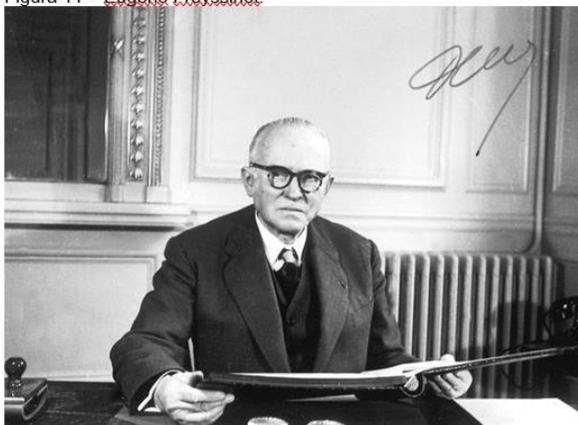
Figura 10 – Localização do Viaduto Elevado Eugène Freyssinet (Viaduto Elevado Paulo de Frontin).



Fonte: Google Maps, 2020.

Este Viaduto Elevado Eugène Freyssinet, recebeu esse nome em homenagem ao francês e engenheiro civil de estruturas Eugène Freyssinet.

Figura 11 – Eugène Freyssinet.



Fonte: Diário do Rio, 2020.

Em 20 de novembro de 1971, numa manhã de um sábado, um trecho de 50 metros do Elevado Engenheiro Freyssinet mais conhecido como viaduto Paulo de Frontin desabou sobre o cruzamento da Rua Haddock Lobo com a Avenida Paulo de Frontin, na Tijuca, matando 29 pessoas e ferindo outras 18.

O desabamento ocorreu quando um caminhão betoneira de 2,5 toneladas carregando 8 toneladas de concreto e pedras tentou atravessar o vão da Haddock Lobo. O peso fez a construção quebrar, com as vigas e o concreto desabando sobre os carros que aguardavam no sinal. Depois do desastre, num trecho de 122 metros do elevado, sobraram apenas as colunas, era possível ver que a estrutura do elevado se partira formando um “V”.

Figura 12 – Desabamento, no início dos anos 1970.



Fonte: Diário do Rio, 1971.

Figura 13 – Desastre. O desastre aconteceu quando um caminhão betoneira de 2,5 toneladas, carregando oito toneladas de cimento, tentou atravessar o vão da Haddock Lobo. O peso fez a construção ceder, com as vigas e o concreto desabando sobre os carros que aguardavam no sinal. Depois do desastre, num trecho de 122 metros do elevado, sobraram apenas as colunas.



Fonte: AGÊNCIA O GLOBO, 1971.

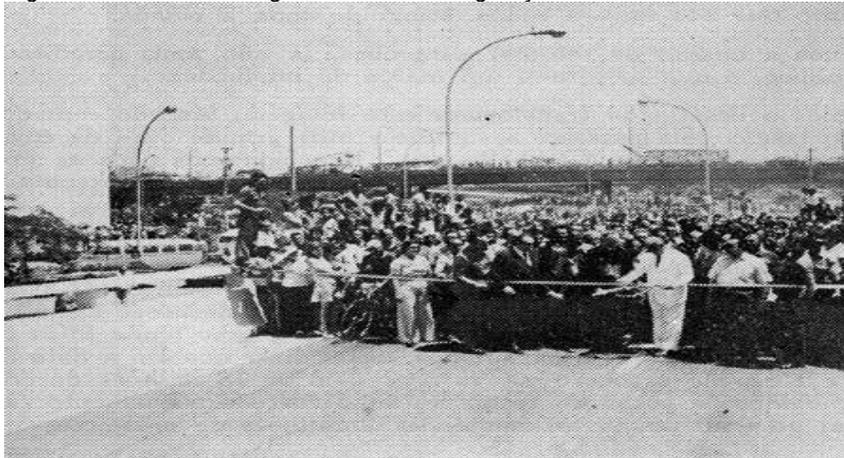
Posteriormente, ao episódio trágico, o governador Chagas Freitas ordenou a revisão completa do projeto do viaduto com teste de cargas feito com caminhões cheios de concretos, o viaduto só retornou a funcionar normalmente em 1974.

Figura 14 – Teste de carga feito antes de inauguração em 1974.



Fonte: Rio Comprido, 1974.

Figura 15 – Multidão e o governador na inauguração do Elevado Paulo de Frontin.



Fonte: Rio Comprido, 1974.

Hoje em dia, o Viaduto segue operando normalmente, apesar de alguns engarrafamentos e das placas de concreto que caem.

AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NO VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN)

Patologia de Fissuras

- Problema Patológico:

O aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado e em alvenarias é uma patologia de incidência relativamente frequente que pode implicar em uma série de danos às edificações. Comprometimentos estéticos que transmitem ao usuário a sensação de insegurança, infiltrações que põem em risco a salubridade dos ambientes, e a redução da durabilidade da estrutura, são algumas consequências desse problema.

Além do próprio risco que trazem para a segurança da edificação, as fissuras podem tornar a estrutura mais suscetível outra patologia, a corrosão das armaduras. “Por isso, ainda que algumas fissuras sejam toleradas pelas normas técnicas, toda e qualquer abertura deve ser tratada de forma a não permitir a entrada do agente agressivo que irá tirar a proteção passiva da armadura”, alerta o engenheiro José Ricardo Pinto, do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (Ibape-SP).

- Tratativa da Patologia:

Para tratar as fissuras há diversas soluções disponíveis, como injeção de resinas estruturais de base epóxi e poliuretano, resinas flexíveis,

sistemas cimentícios e selantes à base de poliuretano e à base de polímero. A estratégia de intervenção deve ser adequada ao problema específico e depende de um diagnóstico preciso feito por especialista.

Em alguns casos, a correção da fissura deverá ser precedida por uma ação para evitar que ela apareça novamente, como o reforço estrutural e de fundações. “A recuperação não pode ser apenas corretiva. É importante diagnosticar-se a origem das patologias”, diz Martins.

Figura 16 – Fissuras encontradas no guarda-corpo.



Fonte: O autor, (2020).

Patologia de Trincas

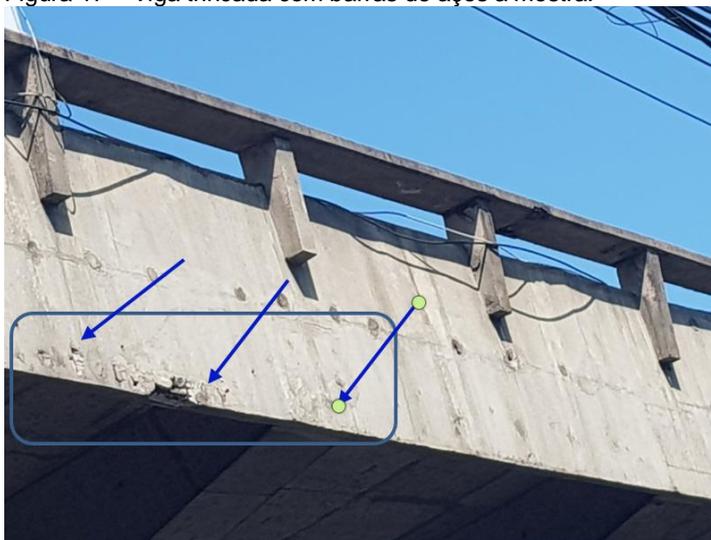
- Problema Patológico:

As trincas podem ocorrer devido à vários fatores, dentre eles: mal dimensionamento da viga (erro na bitola ou no número de barras de aço), aplicação de sobrecarga no decorrer da obra que não foi prevista em projeto, carregamento precoce da estrutura e finalmente por erros de concepção estrutural.

- **Tratativa da Patologia:**

O procedimento para a recuperação de elementos estruturais não se dá de maneira tão trivial. Após feita a verificação das trincas e fissuras na viga, uma verificação de cálculo estrutural deverá ser feita por um projetista estrutural para avaliar o tipo de reforço e tratamento que o elemento deverá ser submetido.

Figura 17 – Viga trincada com barras de aço a mostra.



Fonte: O autor, (2020).

Patologia de Biodeterioração

- **Problema Patológico:**

Segundo Marcelli (2007), algumas estruturas apresentam trincas sem qualquer indício de falha da parte estrutural tanto na execução como projeto. Isso pode ocorrer devido a um fator externo que pode ser as raízes de uma árvore plantada próxima à edificação de modo que, passado algum tempo, penetram o solo até atingirem as fundações, podendo levantar a construção quando for leve ou causar recalques diferenciais que geram trincas como mostrado nas Figuras 17 e 18.

- **Tratativa da Patologia:**

A biodeterioração do concreto pode ser reduzida com a execução e a manutenção das superfícies de concretos o mais lisa possível, e os elementos de concreto devem ser projetados visando o mínimo contato com

água e/ou providas de inclinação adequada, bem como árvores próximas devem ser cortadas e o solo drenado (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Figura 18 – Árvore crescendo entre a fenda.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 19 – Árvore crescendo entre a fenda.



Fonte: O autor, (2020).

Patologia de Corrosão da Armadura

- Problema Patológico:

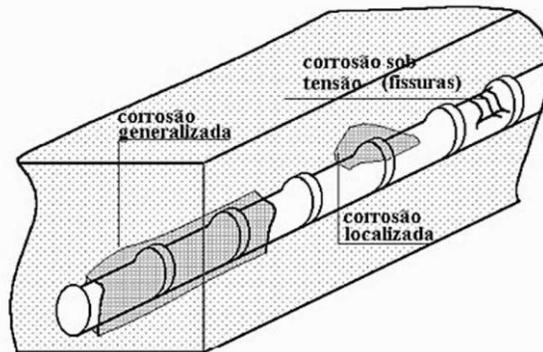
Souza e Ripper (2009) configurado, assim, o ambiente para a convivência salutar entre as barras de aço e o meio concreto, resta indicar seus mecanismos de desativação, ou seja, de geração de corrosão, por destruição da camada óxido de revestimento protetor das barras:

- Corrosão por tensão fraturante: é o caso dos aços que são submetidos a grandes esforços mecânicos (protensão) e que, em presença de meio agressivo, podem sofrer fratura frágil, resultando na perda de condição para a sua utilização; corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- Corrosão por pite, que pode revelar-se segundo duas formas: localizada, caracterizada pela ação de íons agressivos

(cloretos, em especial), sempre que haja umidade e presença de oxigênio;

- Corrosão generalizada, função da redução do pH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação dissolvente do CO_2 existente no ar atmosférico - transportado através dos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado. É a chamada carbonatação.

Figura 20 – Os três tipos de corrosão acima relacionados estão esquematicamente representados na Figura 1.43.



Fonte: Souza, V.; Ripper, T. (2009).

- **Tratativa da Patologia:**

Uma vez iniciado o processo corrosivo das armaduras não se pode mais detê-lo, a menos que se utilize uma proteção catódica, que apresenta um custo elevado. A maioria dos métodos de recuperação baseia-se na substituição do concreto deteriorado e limpeza das armaduras, com substituição, se necessário.

a) **Eliminação do concreto deteriorado.** Deve-se retirar o concreto de forma manual ou mecânica até uma profundidade de 2cm por trás das armaduras, sem deixar partículas soltas. É importante ter acesso a toda circunferência da armadura, pois caso uma parte da armadura fique em contato com o concreto velho estaremos criando uma pilha de corrosão eletroquímica, pois parte da armadura continuará contendo produtos da corrosão, e esta parte atuará como ânodo e a parte recuperada como cátodo, fazendo com que o processo corrosivo se torne mais acelerado.

b) **Limpeza das armaduras** Todo o produto da corrosão que esteja aderido à armadura deve ser removido através de lixamento ou escovação. Sempre que houver uma redução de seção transversal da armadura superior a 15% deve-se executar um reforço estrutural, colocando-se novas barras de aço para repor a área de armadura necessária. Após a limpeza das

armaduras pode-se fazer uma pintura de proteção. Existem estudos deste procedimento, no entanto sem resultados definitivos sobre sua eficiência e compatibilidade com o concreto.

c) Reconstituição do concreto. Para realizar a reconstituição da seção transversal da peça deve-se aplicar uma ponte de aderência entre o concreto velho e o novo e fazer a reconstituição da seção utilizando-se um concreto adequado, graute ou argamassa à base de epóxi ou polimérica. O material utilizado para reparo deve restaurar o meio alcalino que proporciona a passivação das armaduras e fazer uma proteção física ao aço, assim sendo, não pode sofrer retração.

Figura 21 – Pilares com deslocamento do concreto, exposição das barras de aços e corrosões nas armaduras.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 22 – Pilar esquerdo com deslocamento do concreto, exposição das barras de aços e corrosão na armadura.



Fonte: O autor, (2020).

Patologia de Infiltração

- Problema Patológico:

Conforme esclarece Miotto (2010), a infiltração acontece quando a quantidade de água é maior e ela pode pingar ou fluir. De acordo com Oliveira (2018), esta manifestação patológica ocorre na presença de umidade e da penetração de água nas áreas edificadas. Esta penetração de água é promovida pelas frestas, abertura de vãos, fissuras, falta de estanqueidade e

também falta de impermeabilização adequada, além de avarias em instalações hidráulicas e pluviais. Na construção civil, as patologias mais comuns resultam da penetração de água ou por causa da formação de manchas por umidade. Estes problemas podem gerar graves implicações para edifícios e outros tipos de obras como pontes e viadutos.

Igualmente Alves (2012, p. 66), afirma que as infiltrações ocorrem devido à falta de capacidade da estrutura de vedar a passagem da água. A infiltração, gerada do solo acima, atravessa pelos poros, fissuras ou aberturas da superfície do concreto armado, “em vazão tal que promova a sua saída em forma de veios escorrendo pela superfície. Com isso a estrutura fica susceptível aos malefícios da umidade”. A durabilidade das estruturas de concreto armado é afetada e influenciada pela água, uma vez que esta é a gente deteriorante e veículo de transporte de substâncias agressivas. A falta de pingadeiras e os drenos de águas pluviais muito curtos são corresponsáveis por provocarem a maioria das manifestações patológicas nas lajes em balanço das Obras de Arte Especiais (OAE), por causa da facilidade de infiltração e percolação d’água pela face inferior da estrutura.

- Tratativa da Patologia:

As fissuras devem de origem térmica nas vigas de coberturas aparentes devem ser recuperadas com tratamento superficial de pintura flexível em conjunto com tela de náilon ou de polipropileno (THOMAZ, 1989).

Figura 23 – Danos causados pelas infiltrações no tabuleiro devido a umidade.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 24 – Danos causados pelas infiltrações na laje devido a umidade.



Fonte: O autor, (2020).

Patologia de Lixiviação

- Problema Patológico:

Para Neville e Brooks (2013) a lixiviação excessiva do hidróxido de cálcio aumenta a porosidade do concreto tornando-o mais fraco e propenso a ataques químicos.

- Tratativa da Patologia:

Para Silva (1995), as manchas provenientes de fungos ou bolor, deverão ser eliminadas com a aplicação de uma solução composta por 30g de detergente caseiro para roupa, 90g de fosfato trisódico, 0,25g de lixívia e 0,75g de água. Para tal procedimento utiliza-se de trincha para aplicar a solução e segue com posterior lavagem.

Figura 25 – Laje com lixiviação.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 26 – Laje com lixiviação.



Fonte: O autor, (2020).

CONCLUSÃO

O Viaduto Engenheiro Freyssinet (Elevado Paulo de Frontin) localizado no Rio de Janeiro – RJ, que possui 49 anos de existência. Apresentando diversos tipos de patologias nas estruturas, entre elas são: fissuras, trincas, infiltração, vegetação, corrosão na armadura e lixiviação.

Desde a sua inauguração no ano de 1971 até os dias de hoje, o viaduto apresenta diversos tipos de desabamentos de partes das suas estruturas. Ele faz parte da lista de 28 viadutos do estados e municípios do Rio de Janeiro, que estão sem as devidas manutenções desde a sua construção. Fazendo parte também da lista de obras de artes, consideradas em péssimo estado, correndo risco de desabar novamente e definitivamente. Além do risco de desabamento, a obra ainda representa ameaças à integridade de pedestres e motoristas.

Em suma importância destaca-se a norma NBR 9452:2019 em relação a Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Ela diz a respeito da inspeção que fica na seção 4 determina a existência de 4 tipos de inspeções. Sendo os tipos de inspeções considerados nesta Norma são: a) cadastral; b) rotineira; c) especial e d) extraordinária.

A inspeção ideal para o viaduto é a rotineira, pois, na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou

recuperações efetuadas no período. E ela contém introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs; a classificação da OAE; comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior; ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias; registro fotográfico e demais informações consideradas importantes para a inspeção.

No item 5 refere-se sobre parâmetros de avaliação das OAE e as notas de classificações da OAE. As classificações da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação varia de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A nota de classificação para esse viaduto é 1, essa nota refere-se a condição crítica que ele se encontra. Nele há danos que geram grave insuficiência estrutural. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial ou total ao tráfego e escoramento provisório, associada a monitoramento por instrumentalização, ou não. A obra de arte encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional. Com a sua durabilidade acima dos 40 anos, faltando exatamente 1 ano para completar 50 anos.

Portanto, a Lei Federal nº 8429/92 artigo 5º, descreve que o não cumprimento da obrigação de conservação e manutenção dos bens públicos pode representar ato de Improbidade Administrativa pela prática de atos lesivos ao patrimônio público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Fernando do Couto R; SALES, Almir. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto: efeitos e considerações para projeto.** In: RIBEIRO, Daniel Vêras (coord.). Corrosão e degradação em estruturas de concreto. Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, p. 97-123.

ANGELO, Ana Margarida Vieira. **Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto – Mineirão.** (Dissertação). Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte, 2004, 439 f. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/286M.PDF>> Acesso em 09 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 14432:2001. **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118:2007. **Projetos de estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15200:2012. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15575:2013. **Desempenho de edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118:2014. **Projetos de estrutura de concreto – Procedimento** (atualizada). Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 9452:2019. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento** (atualizada). Rio de Janeiro, 2019.

ANTONIAZZI, J. P. **Patologia da construção: abordagem e diagnóstico**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO_TCC_JULIANA.pdf < >. Acesso em 13 out. 2020.

BASTOS, Érick C. do N., MIRANDA Mateus Z. **Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais**. *Revista CONSTUINDO*, Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, p. 93 – 101, Jul – dez., 2017.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado, fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

FACHIM, O. **Fundamentos de Metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

FERREIRA, G. J.; **Recomendações para licenciamento e Legalização de pequenas obras**, Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

LIMA, Maryangela Geimba de. **Ações do meio ambiente sobre as estruturas se concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. v.1. São Paulo: Ibracon, 2011.

MACHADO, A. de P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MASCARENHAS et al. **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. **Revista Engevista**. v. 21, n. 2, p. 288-302, mai., 2019. Disponível em: <file:///D:/Usuario/Downloads/27125-98638-1-PB.pdf>. Acesso em 25 out. 2020.

MEDEIROS, Marcelo. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412>.

Acesso em 01 set. de 2020.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. In. ISAIAS, Geraldo (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

MENDES, Luiz Carlos et al. **Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto**. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 5, n. 3, jun. 2012, p. 388-419.

MIOTTO, Daniela. **Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco-PR**. (Monografia). Especialista. Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná, 2010, 63 f. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34353/MIOTTO%20%DANIELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Acesso em 01 set. 2020.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

PEREIRA, Caio. **O que é Concreto Armado? Escola Engenharia**, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>.

Acesso em: 30 set. 2020.

PIANCASTELLI, Elvio M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160p.

RIPPER, T; MOREIRA DE SOUZA, V. C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1998.

ROHAN et al. **Agressividade ambiental em estruturas de pontes e os impactos negativos ao meio ambiente dessas construções: análise PER-Modelo Pressão-Estado-Resposta**. Inorvase. XII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 29-30 set. 2016, 27 p.

SILVA, Moema Ribas; PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Biodeterioração do concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo: Editora Pini, 1995.

SILVA, Turibio J. Da. **Mecanismos de transporte de massa de concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo. Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1989.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Monografia. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM-RS. Santa Maria-RS, (Monografia). Engenheiro Civil. 2015, 88 f.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistórias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Disponível em:

<http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_Engenharia.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

Sobre os Organizadores

Prof MSc. Bruno Matos de Farias



Doutorando em Desenvolvimento Local (Ciências Ambientais), Mestre em Desenvolvimento Local pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM). Possui Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Especialização em Docência OnLine: Tutoria em EAD pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM). Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, atuando principalmente no seguinte tema: Autovistoria Predial, Perícia e Assistência Técnica. Especialista em Registros de Patentes, Marcas e Programas de Computador. Professor Auxiliar na Universidade Estácio de Sá (UNESA) no Curso de Arquitetura e Urbanismo e

Engenharia Civil. Coordenador e Professor Auxiliar no Centro Universitário Gama e Souza (UNIGAMA) no Curso de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Ambiental e Sanitária.

Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8157069396993825>

Profª DSc. Vanessa da Silva de Azevedo



Engenheira Civil formada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2006) com ênfase em Construção Civil. Mestre em Engenharia Civil formada pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PGECIV UERJ (2010) com ênfase em Estruturas. Doutora em Engenharia Civil formada pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PGECIV UERJ (2018) com ênfase em Estruturas. Coordenadora de Curso de Graduação em Engenharia Civil - Unidade Norte Shopping da Universidade Estácio de Sá (2015/2020). Membro da Banca Avaliadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) em Engenharia

Civil da Universidade Estácio de Sá - Unidade Norte Shopping. Membro da Banca Avaliadora do Seminário de Pesquisa da Estácio. Membro do NAPRE - Núcleo de Pesquisa de Reaproveitamento de Resíduos, focado no estudo e aplicabilidade de resíduos sólidos e biomassa aplicados no desenvolvimento de concreto e argamassa com fins não estruturais. Orientadora de Projetos de Iniciação Científica. Professora

Titular da Universidade Estácio de Sá. Atuação Profissional em Planejamento e Gerenciamento de Içamento e Movimentação de Cargas Especiais (Logística de Transporte e Movimentação de Cargas Pesadas - Rigging and Lifting), Viabilidade de Transporte de Cargas Especiais, Construção Lean e Construtibilidade. Trabalhou como Engenheiro nas empresas Locar Guindastes e Transportes intermodais, Superpesa CIA de Transportes Especiais e Intermodais, Transreta Logística e Locação de Guindaste, como engenheiro consultor na empresa Transportes Carvalho LTDA e foi sócio - diretor técnico na empresa Viabilize Logística e Engenharia.

Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8314584366367794>

Prof^ª MSc. Michelle Paiva dos Santos



Doutoranda em engenharia química, Mestre em engenharia química e graduada em engenharia química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente é Técnica do Departamento de Físico-Química da UERJ com experiência em Físico-química, Análise instrumental, Termodinâmica aplicada e Fenômenos interfaciais. Coordenadora do curso de Engenharia Civil e Coordenadora do Curso de Engenharia Civil na Universidade Estácio de Sá. Docente na Universidade Estácio de Sá- RJ nas disciplinas de Resistência dos Materiais, Química Biológica, Bioquímica Aplicada, Sistemas Hidráulicos Sanitários, Fenômenos Físicos e Hidráulica.

Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5279611195953472>

Publicação em capítulo de livro

A coletânea de artigos em livro digital visa democratizar o acesso dos pesquisadores brasileiros à publicação de suas pesquisas, teorias e métodos. A Editora Epitaya recebe os textos e após a revisão por pares, o material é publicado.

Todos os livros possuem registro de ISBN e os capítulos são registrados no DOI (Digital Object Identifier System)

Verifique os textos aceitos para publicação como capítulo de livro

- Trabalho apresentado em congresso internacional, nacional, regionais e/ou encontros de pesquisa;
- Trabalho de Conclusão de Curso / Monografia;
- Dissertação de Mestrado;
- Tese de Doutorado;
- Relatório de Pesquisa;
- Relatório de Pesquisa Pós-Doc;
- Artigo de Pesquisa original;
- Artigo de Revisão;
- Artigo de Opinião;
- Artigo de Relato de Experiência;
- Demais formatos, verificar com a assessoria editorial

Para maiores informações, entre em contato!

contato@epitaya.com.br 

www.epitaya.com.br 

@epitaya 

<https://www.facebook.com/epitaya> 

(21) 98141-1708 



ENGENHARIA NA PRÁTICA:
CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO
VOL.4

BRUNO MATOS DE FARIAS
VANESSA DA SILVA DE AZEVEDO
MISCHELLE PAIVA DOS SANTOS


epiplay
Editora

ISBN: 978-65-87809-39-7

TC



9 786587 809397