



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIATENEU

**JAIR DE OLIVEIRA SANTOS
JESSICA FERNANDES MARTINS
MARCOS AZEVEDO MENDES
ALAN LUÉCIO ALVES FILIPE
BRENDON DOS SANTOS BARBOSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO PISO DE BOX
MODULARES UTILIZANDO AÇO SAE 1010 E USI SAC 300**

**FORTALEZA
2023**



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIATENEU

**JAIR DE OLIVEIRA SANTOS
JESSICA FERNANDES MARTINS
MARCOS AZEVEDO MENDES
ALAN LUECIO ALVES FILIPE
BRENDON DOS SANTOS BARBOSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO PISO DE BOX
MODULARES UTILIZANDO AÇO SAE 1010 E USI SAC 300**

Artigo apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil e Produção do Centro Universitário Ateneu, como requisito para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC).

Orientador: Prof. Me. Thales Henrique Silva Costa

**FORTALEZA
2023**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO PISO DE BOX
MODULARES UTILIZANDO AÇO SAE 1010 E USI SAC 300
(COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL ELEMENTS OF MODULAR BOX
FLOOR USING SAE 1010 AND USI SAC 300 STEEL)**

Jair De Oliveira Santos¹
Jessica Fernandes Martins²
Marcos Azevedo Mendes³
Alan Luécio Alves Filipe⁴
Brendon dos Santos Barbosa⁵
Thales Henrique Silva Costa (Orientador)⁶

RESUMO

A construção civil é um dos seguimentos econômicos representativos em um país, contudo enfrenta desafios como produtividade, desperdício de materiais e déficit habitacional. A construção modular é uma metodologia construtiva de suma importância, a cada ano vem ganhando espaço no mercado global, por ser um processo prático, rápido e otimizado. Este artigo tem o objetivo de fazer uma análise comparativa do estado limite último e de serviço, utilizando dois tipos de aço o SAE 1010 e USI SAC 300 na estrutura do piso de box modulares e a partir dos resultados adotar medidas corretivas tais como melhoria geométrica das peças e aumento de espessura de chapa. Para realização deste trabalho foi feito uma análise bibliográfica de outros autores sobre o tema e consulta as Normas Brasileiras sobre cálculos estruturais para análises empíricas das peças desenvolvidas.

Palavras-chave: Construção modular. Aços. Cálculo. Estado limite.

ABSTRACT

Civil construction is one of the representative economic segments in a country, however it faces challenges such as productivity, waste of materials and housing deficit. Modular construction is an extremely important construction methodology, each year it is gaining ground in the global market, as it is a practical, fast and optimized process. This article aims to make a comparative analysis of the ultimate limit state and serviceability, using two types of steel, SAE 1010 and USI SAC 300, in the structure of the modular shower floor and, based on the results, adopt corrective measures such as geometric improvement of the parts and increased sheet thickness. To carry out this work, a bibliographical analysis of other authors on the topic was carried out and Brazilian Standards on structural calculations were consulted for empirical analyzes of the parts developed.

Keywords: Modular construction. Steel. Calculation. Limit state.

¹ Graduando de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: jair152198@gmail.com

² Graduando de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: jessicasantos01830@gmail.com

³ Graduando de Engenharia de Produção do Centro Universitário Ateneu. E-mail: azevedo1901@gmail.com

⁴ Graduando de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: clsconstrucoes@yahoo.com.br

⁵ Graduando de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: brendonbarbosa29@gmail.com

⁶ Orientador Mestre em Engenharia Civil. Coordenador e Docente do curso de Engenharias do Centro Universitário Ateneu. E-mail: thales.costa@professor.uniateneu.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A utilização de box modulares para construções provisórias vem sendo usualmente empregado nas instalações de diversas edificações, uma vez que podem ser combinados para criar várias tipologias diferentes, como: construções temporárias, residenciais e edifícios públicos (KOTNIK, 2013).

Segundo Savassi (2022), com o alto uso de recursos naturais combinados com elevados índices de desperdício, baixa produtividade, falta de previsibilidade orçamentária, atrasos, além de um mercado com mão de obra de baixa qualificação, o ramo da construção civil procura cada vez mais aprimorar os processos e industrializar a produção num movimento que busca o progresso e a evolução de maneira sustentável tanto nas questões ambientais, quanto nas questões socioeconômicas.

Considerando o cenário da construção civil altamente competitivo, uma das alternativas é a construção modular, que consiste em uma metodologia, no âmbito construção civil que possibilita a modulação de qualquer ambiente a partir de estruturas pré-fabricadas com medidas definidas, visando um maior crescimento do setor, sendo considerada tendência no mundo (REIS, 2020). Portanto, sendo considerada uma grande alternativa metodológica por possibilitar otimização de recursos tanto financeiros, quanto logísticos (CAIADO, 2005).

Esse estudo foi desenvolvido a partir de um box modular já fabricado na cidade de Fortaleza, onde o cálculo estrutural apresenta falha no estado limite de serviço, uma vez que o mesmo não é atendido com os perfis atualmente aplicados. Com base nisso, será feito um estudo de modificação do tipo de aço não estrutural "SAE 1010" por um aço estrutural "USE SAC 300", além disso faremos uma melhoria da geometria da peça e por fim, aplicação de uma contra flecha, buscando atender aos estados limites de serviço, visando desta forma, contribuir com melhorias dos materiais ou geometria das peças, através dos cálculos de avaliação de estrutura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordadas as definições, o histórico do método construtivo modular, como também das especificações do aço que serão aplicados na estrutura

do piso no box modular e a aplicação do estado limites últimos e de serviço nos cálculos dos dois aços conforme NBR 8800 (ABNT, 2008).

2.1 Método Construtivo

2.1.1 Definição

A construção modular é uma metodologia da construção civil que possibilita a modulação de qualquer ambiente a partir de estruturas pré-fabricadas com medidas definidas, sendo possíveis adaptações nos fechamentos das suas laterais em qualquer tipo de material, por exemplo, madeira, painel de poliuretano e vidro (FUTURENG, 2016).

Como a estrutura pode ser produzida independente das partes estruturais como piso, coluna e teto, possibilitando um aumento de produtividade para a construção, reduzindo custo e processos. Após serem construídas, são reunidas de modo a construir, por exemplo, além dos hospitais de campanha, uma casa ou qualquer outro tipo de edificação por completo (FONSECA, 2020).

Segundo Lafaete (2023), são infinitas as possibilidades de construção com esse método de pré-fabricado, portanto não existem limitações para construção com essa metodologia, pois métodos tradicionais construtivos podem ser facilmente adaptados a projetos especiais com construção modular.

Sabe-se que um Box modular apresenta uma composição básica estrutural. Logo, os módulos consistem em estruturas confeccionadas a partir de chapas metálicas, os quais são fabricados com perfis laminados a frio para montagem da estrutura do teto, coluna e piso.

2.1.2 Histórico

Segundo Savassi (2022), o registro do marco da história da construção modular data de 1833 com a construção da Igreja de Santa Maria em Chicago, pré-fabricada em madeira, a qual foi montada e desmontada três vezes. Outro marco é impulsionado após a segunda guerra mundial, onde a demanda por habitações, escolas e pontos de atendimentos médicos foi indispensável para o caos que foi instaurado após a

guerra mundial e nos anos 60 e 70 nos Estados Unidos foram construídos hotéis em larga escala com essa metodologia.

Este método construtivo se destaca pelo fato de ser realizada *off site*, em um ambiente controlado, com alta precisão, diminuição do desperdício através de um processo construtivo enxuto e eficaz que proporciona uma diminuição de prazo e potencial redução dos custos (SAVASSI, 2022). O uso do aço na construção modular possibilita um melhor aproveitamento dos ambientes pela sua alta performance de resistência e durabilidade.

Com a inserção de novas ferramentas de gestão no mercado, como a ferramenta de modelagem de informação da construção, é possível, neste tipo construtivo, grande parte das decisões serem tomadas com antecedência dentro da linha do tempo do projeto o que acelera os processos de decisões que precisam ser tomadas, não apenas relacionadas aos detalhes construtivos e especificações de um determinado projeto, mas também sobre os métodos construtivos que serão utilizados (SANTOS; GUIMARÃES JUNIOR, 2021).

De acordo com Savassi (2022) apesar de a construção modular ter a característica de ser pré-fabricada, essa não é a sua definição por si só, visto que toda construção modular é pré-fabricada, porém nem toda pré-fabricada é modular. Por ser fabricada em ambiente controlado sua montagem da obra pode ser realizada individualmente como acoplada formando uma edificação, podendo ser ampliada ou reduzida sem afetar todo o sistema.

2.1.3 Aço

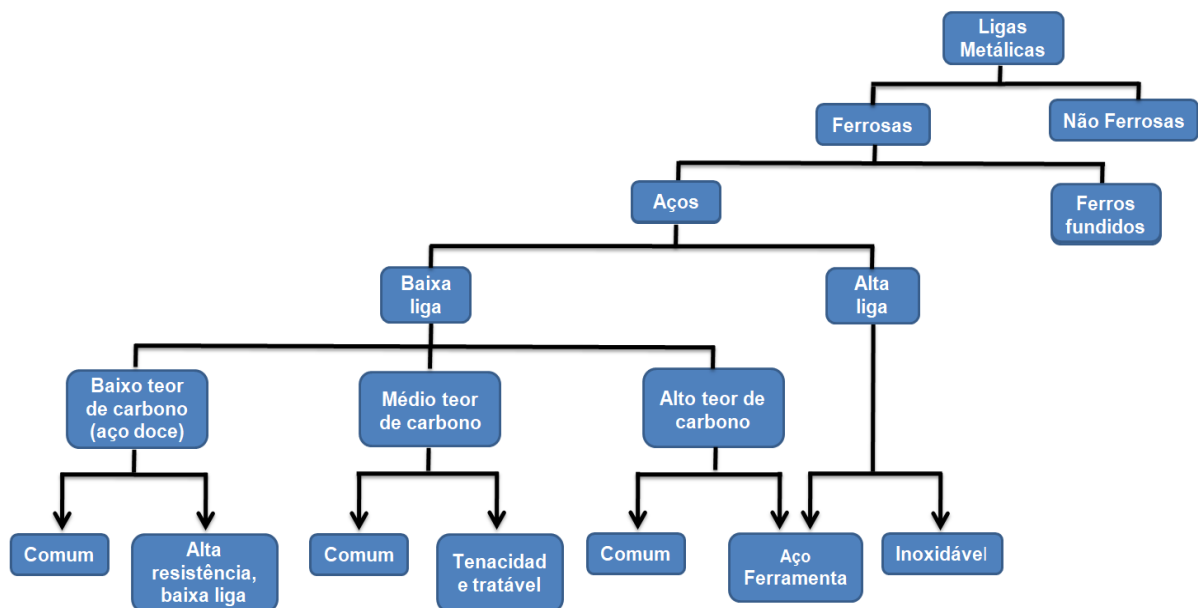
O aço por seu desempenho mecânica é utilizado em diversas áreas da construção civil, o valor agregado a sua liga metálica está diretamente relacionado à sua composição química e ao processo de produção dele, por esse motivo existem diversos tipos de aço no mercado. Com isso, podemos afirmar que a produção de aço em um país está associada diretamente com sua força econômica (SILVA, 2019).

Os aços são classificados em dois grandes grupos: o aço de baixa liga e aço de alta liga. O aço de baixa liga é classificado de acordo com a sua concentração de

carbono, qual seja o tipo com baixo, médio e elevado teor de carbono (CALLISTER, 2002).

Segundo Callister (2002) as propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono, que normalmente é inferior a 1,0 % de Carbono. As ligas com baixo teor de carbono geralmente com menos de 0,25 % de carbono, apresentam relativamente baixa dureza e baixa resistência, mas ductilidade e tenacidade excepcionais; além disso, são usináveis, soldáveis e tem uma produção mais barata, sobretudo algumas dessas ligas após tratamento térmico pode ter suas propriedades mecânicas melhoradas alcançando limites de resistência à tração superiores a 480 MPa. Normalmente, são identificados de quatro a cinco dígitos. A figura 1 mostra como é realizado a classificação do aço.

Figura 1 – Classificação das ligas metálicas
Fonte: CALLISTER (2002).



Fonte: Callister (2002).

Segundo Pfeil (2008), o carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais moldáveis. Portanto, é necessário analisar a classificação do aço não somente do ponto de vista do percentual do carbono. Mas também dos elementos

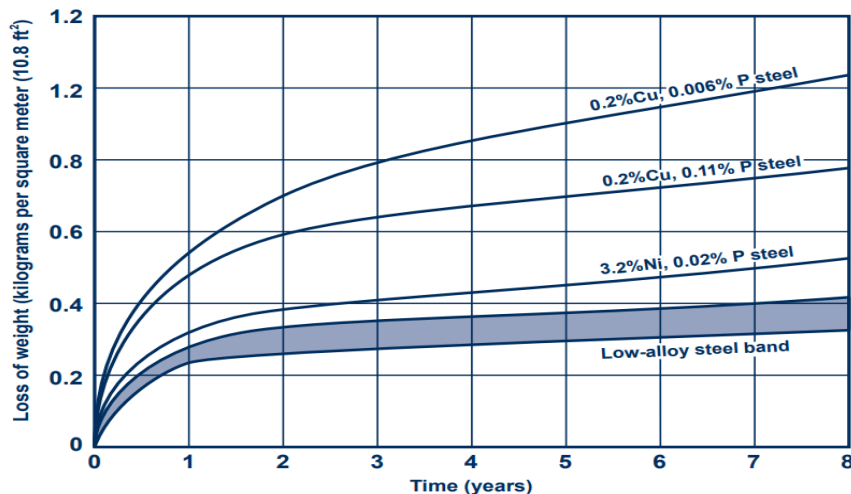
acrescidos na liga que se modifica da microestrutura para grãos finos, lhe proporcionando uma boa resistência e soldabilidade.

Para Oliveira (2008), cada tipo de aço apresenta um tipo de característica e para que haja melhor compreensão, o autor define os aços de baixa liga de acordo com seus padrões de resistência e características, destacando a categoria dos cais do tipo patináveis.

O aço de baixa liga com alta resistência é um grupo de aços que contêm pequenas quantidades de elementos de liga e apresentam resistência ao escoamento superior a 275 MPa na condição laminada ou normalizado, além de terem melhor resistência à corrosão que os aços carbono comum. Dentre as classificações que esses aços possuem, destaca-se a categoria de “aços patináveis”, que contêm pequenas porcentagens de elementos de liga como o cobre, cromo e níquel, para aumentar a resistência à corrosão atmosférica e a resistência mecânica. (OLIVEIRA, 2008, p. 2)

Conforme Pannoni (2023), para garantir o desempenho satisfatório do aço patinável, é importante evitar o desenvolvimento de bolsões contendo água que pode dissolver e concentrar sais oriundos da deposição marinha, onde os sais se concentram e degeneram a pátina protetora. A figura 2 mostra o gráfico da corrosão atmosférica do aço em relação ao tempo.

Figura 2 – Gráfico da corrosão atmosférica do aço em relação ao tempo.



Fonte: Pannoni (2023)

2.1.4 Método dos Estados Limite

O estado limite último e de serviço nos orientam quanto à capacidade da estrutura nas condições mais desfavoráveis a se manter erigida com segurança durante a sua vida útil. Mediante NBR 8800 (ABNT, 2008), o dimensionamento de

uma estrutura exige que nenhum estado-limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações apropriadas de ações. Se um ou mais estados-limites forem excedidos, a estrutura não atende mais aos objetivos para os quais foi projetada.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) os aços devem ser identificados pela sua especificação, incluindo tipo ou grau, se aplicável. Emitindo um certificado de qualidade do produto com as marcas legíveis aplicadas ao material de acordo com os padrões das normas correspondentes.

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008) os carregamentos são definidos pelas combinações das ações que tem probabilidade de atuarem simultaneamente, por este motivo as combinações dessas ações devem ser determinadas através dos efeitos mais desfavoráveis para estrutura. A tabela 1 mostra os índices das ações permanentes e variáveis.

Tabela 1 – Índices das ações permanentes e variáveis.

Combinações	Ações permanentes (γ_g)					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições in loco	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q)					
	Efeito da temperatura	Ação do vento	Ações truncadas e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A combinação última pode ser classificada em: normal, especial, de construção e excepcional, NBR 8800 (ABNT, 2008). A equação 01 a seguir representa o cálculo do estado último.

Equação 01 – Cálculo do estado limite último.

Para cada combinação, aplica-se a seguinte expressão:

$$Fd = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k})$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Qi,k}$ É o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente a ação variável.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

As combinações de serviços são classificadas de acordo com a sua permanência na estrutura em quase permanentes, frequentes e raras. Podendo atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, sendo consideradas para efeitos de longas durações, como também tem uma frequência considerada de na ordem de cinco por cento, que são consideradas estados-limites reversíveis não causando danos a estruturas e as raras que podem atuar no máximo algumas horas e são consideradas irreversíveis. NBR 8800 (ABNT, 2008). A equação 02 abaixo representa o cálculo do estado serviço.

Equação 02 – Cálculo do estado limite serviço.

Para cada combinação, aplica-se a seguinte expressão:

$$Fser = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{2j} F_{Qj,k})$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Qi,k}$ É o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente a ação variável.

Fonte: Autores 2023.

Para efeito de aplicação das cargas será considerado os efeitos das cargas classificadas em permanente, variáveis e excepcionais, conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008).

Para os aços não estruturais, como só é determinada a composição dos elementos químicos, não sendo realizados os ensaios dos limites de escoamento e limite de resistência, conforme NBR 14762 (ABNT, 2010), não devem ser adotados no projeto valores superiores a 180 MPa e 300 MPa para a resistência ao escoamento f_y e a resistência à ruptura f_u , respectivamente, NBR 8800 (ABNT, 2008). Os aços aprovados com qualificação estrutural serão considerados desde que possua resistência de 450 MPa e a relação entre resistência à ruptura e ao escoamento não inferior a 1,18. A tabela 2 mostra a composição e limites de resistência e escoamento dos aços SAE 1010 e USI SAC 300.

Tabela 2 – Composição e limites resistência e escoamento do Aço SAE 1010 e USI SAC 300.

Nomenclatura	C	Mn	P	S	Limite de Resistência a Tração [Mpa (ksi)]	Limite de Escoamento [Mpa (ksi)]	Ductibilidade [%AL em 50mm (2in)]	Aplicações			
Aços-carbono com Baixo teor de Carbono											
SAE 1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,03	0,05	325 (47)	180(26)	28	Painéis de automóveis, pregos e arames			
Aços de Alta Resistência e Baixa Liga											
Nomenclatura	C _{máx}	Si _{máx}	Mn _{máx}	P _{máx}	Smáx	Cumin	Outros	Limite de Resistência a Tração [Mpa (ksi)]	Limite de Escoamento [Mpa (ksi)]	Ductibilidade [%AL em 50mm (2in)]	Aplicações típicas
USI SAC 300	0,2	0,50 - 1,50	1,5	0,06	0,02	0,05 - 0,40	Cr 0,60	300	400 a 550	5 - 12,7	Pontes, vasos de pressão

Fonte: Callister (2002) e Pfeil (2008).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do artigo, utilizou-se uma metodologia pré-estabelecida, para que assim se consiga responder à pergunta central e alcançar os objetivos propostos.

O presente artigo é do tipo Exploratório, que de acordo com Gil (2017), as pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.

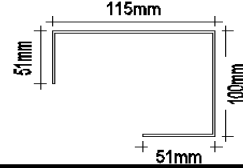
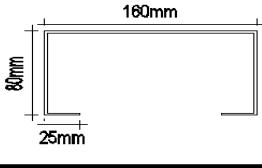
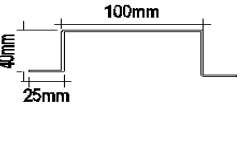
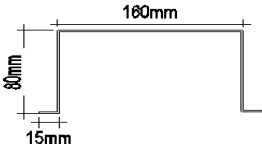
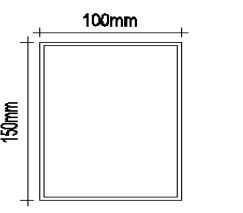
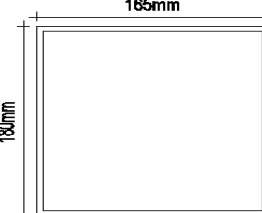
Segundo Silva e Estera (2000), trabalhos de natureza aplicada são todos aqueles que buscam gerar conhecimentos para aplicação prática. Dessa forma, o presente estudo visa corroborar para melhorias do estado limite de serviço, garantindo o bom funcionamento estrutural das estruturas do piso de box modulares. Por tanto, foram analisadas as figuras geométricas, deslocamentos e contra flecha.

Nesse contexto, tendo como base a classificação de Fontelles (2009) e Cesário (2020) acerca de diretrizes para elaboração e características de trabalhos científicos, em relação aos meios, o procedimento principal que foi abordado para responder a pergunta de partida é do tipo experimental, e tendo como base tal procedimento, foi feita uma análise da utilização na estrutura do piso do box modular existente em Fortaleza, cujo o piso tem dimensões de 2440mm x 6000mm, com longarinas nas duas laterais com comprimento de 5600mm em perfil tipo metalon de dimensões de 150mm x 100mm #3mm em aço ASTM A36 e perfis tipo cartola com comprimento de 2440mm distribuídas na extensão da longarina com dimensões de 100mm x 40mm x 25mm #1,99mm em aço SAE 1010.

A estrutura da forma que está projetada não atende ao estado limite serviço, pois o deslocamento calculado foi de 28,46mm para as vigas tipo cartola e a deformação máxima de 6,97mm. Identificada essa situação, através do software mCalc3D, analisou-se a alteração do tipo de aço da viga tipo cartola para um aço estrutural não galvanizado (USE SAC 300), reduzir espaçamento das vigas tipo cartola, modificar geometria dos perfis tipo cartola e das longarinas perfil tipo metalon.

Tendo em vista a redução de custos, foi aplicada uma contra flecha dentro dos limites normativos para garantir que a estrutura passe nos estados limites últimos e de serviço. A seguir, podemos observar o quadro 01 que contém as figuras geométricas e espessuras de chapas.

Quadro 1 – Figuras geométricas dos perfis e espessura de chapas.

FIGURA GEOMÉTRICA DOS PERFIS E ESPESSURA CHAPAS		
CABECEIRA EM CHAPA #1.99mm		
VIGA TIPO CARTOLA EM CHAPA #1.99mm		
LONGARINA TIPO METALON CHAPA #3.00mm E CHAPA #4.75mm		

Fonte: Autores (2023)

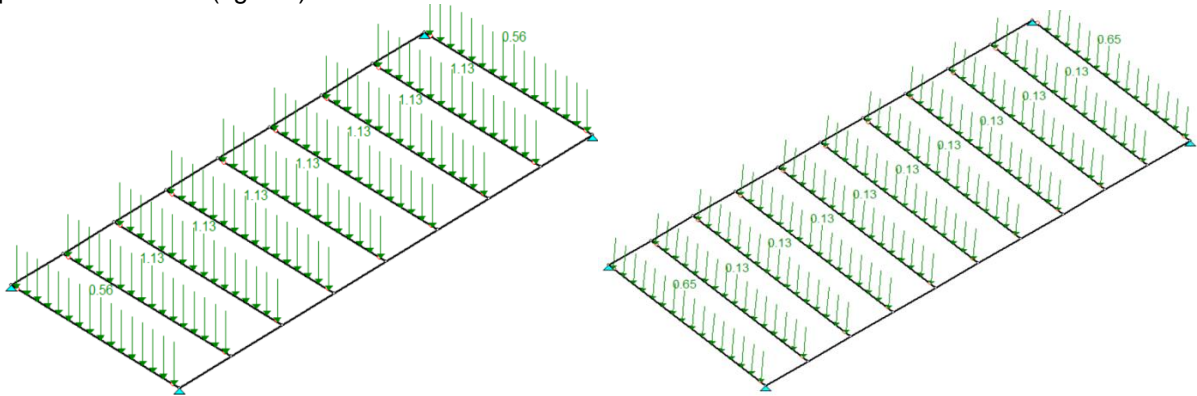
Ademais, o artigo também apresenta abordagem qualitativa, com foco em entender os resultados observados para uma abrangência completa dos materiais em estudo, bem como uma abordagem quantitativa ao se realizar a análise de dados dos cálculos realizados para avaliação das estruturas. Por fim, destaca-se a revisão bibliográfica, pois no trabalho utilizou referências acerca do tema escolhido (AZEVEDO; ENSSLIN, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho para obtenção dos resultados foram analisados os deslocamentos gerados a partir da distribuição de sobrecargas, cargas permanentes e peso próprio da estrutura, sendo avaliado o estado limite último e de serviço, nos perfis dobrado a frio do piso do box modular e na longarina principal.

Para efeito de cálculo do estado limite último, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), o valor do coeficiente de ponderação de cargas permanentes é de 1,35 de uma carga permanente de 22kgf/m², piso de madeira ecomax, para sobre carga conforme NBR 6120 (ABNT, 2019) de 150kgf/m² foi considerado o valor de ponderação de 1,5 e para o peso próprio da estrutura onde foi considerado o valor de 1,25. Abaixo segue figura 03 da estrutura do piso de box modular com o carregamento linear das cargas distribuídas com 7 vigas tipo cartola e com 9 vigas tipo cartola.

Figura 3 – Carregamento linear sobre as vigas, que ficam apoiadas nas duas longarinas laterais, do piso Box modular (kgf/cm).



Obs¹.: No projeto inicial com 7 vigas tipo cartola foram considerados carregamentos permanentes de 0,17kgf/cm; carregamento sobre carga 1,13kgf/cm e carregamento de peso próprio 0,03kgf/cm.
 Obs².: No projeto inicial com 9 vigas tipo cartola foram considerados carregamentos permanentes de 0,13kgf/cm; carregamento sobre carga 0,13kgf/cm e carregamento de peso próprio 0,05kgf/cm.

Fonte: Autores (2023)

Tendo como partida o protótipo, verificamos que a quantidade de vigas tipo cartola estava influenciando diretamente no deslocamento máximo, sendo assim, foram adotadas duas unidades a mais para reduzir a carga a ser distribuídas nelas; paralelo a isso foi modificada a geometria da viga tipo cartola, no protótipo da viga, a qual tinha as dimensões de 100mm x 40mm x 25mm #1,99mm e no projeto remodelado ela passou a ter as dimensões 160mm x 80mm x 15mm #1,99mm, com essa mudança obtivemos uma redução do momento solicitante de 19% e conseqüentemente o deslocamento calculado reduziu 67% para as vigas tipo cartola do piso box modular.

Conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), avaliando os dois tipos de aço SAE 1010 e USE SAC 300, foi observado que ambos atendem ao estado limite último, vale ressaltar que na diferença, a partir das combinações de cargas, foi analisado o momento solicitado inferior ao momento resistente do material. Dados do momento solicitado e momento resistente do aço SAE 1010 e USE SAC 300 para configuração da viga tipo cartola 160mm x 80mm x 15mm #1,99mm remodelado com duas unidades a mais. A equação 03 a seguir, representa o estado limite último no aço SAE 1010 e USE SAC 300.

Equação 03 – Estado limite último no aço SAE 1010 e USE SAC 300.

$M_{y_{sd}} = 11.872,88 \text{ kgf.cm}$ Solicitação de cálculo à flexão em relação ao eixo Y SAE 110

$M_{xRd} = 54.687,04$ kgf.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo YSAE 1010

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{xRd}} = 0.22 < 1,00 \quad \text{Ok!}$$

$M_{ySd} = 11.887,41$ kgf.cm Solicitação de cálculo à flexão em relação ao eixo Y USE SAC 300

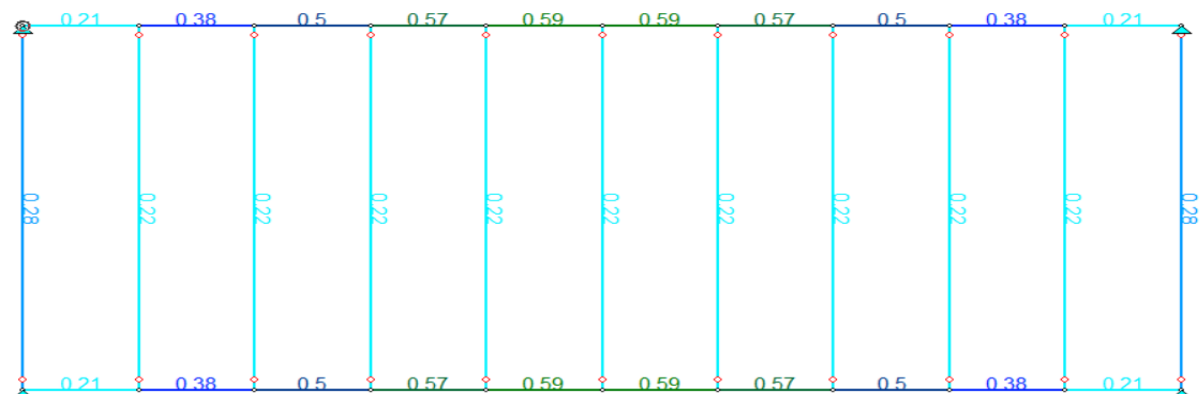
$M_{xRd} = 85.499,80$ kgf.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y USE SAC 300

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{xRd}} = 0.14 < 1,00 \quad \text{Ok!}$$

Fonte: Autores 2023.

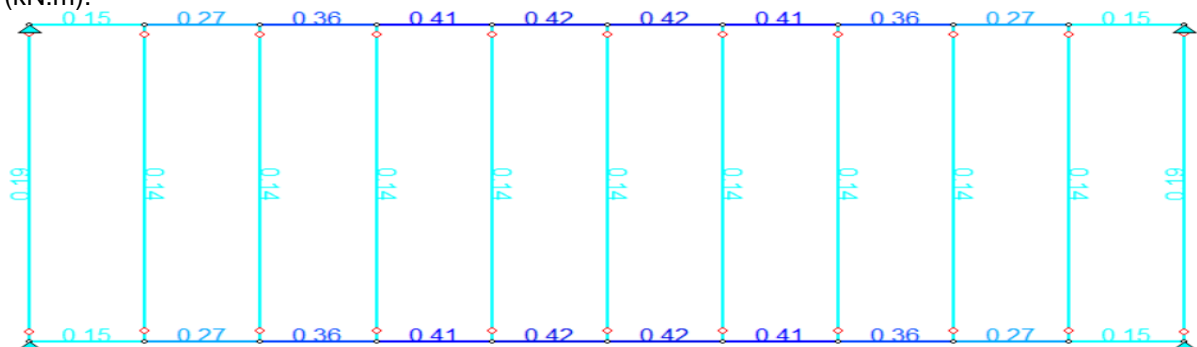
Na projeção no software mCalc3D, podemos observar que em ambos os tipos de aço avaliado SAE 1010 e USE SAC 300, os valores obtidos no momento solicitado atende o que a norma pede, sendo inferior os valores do momento solicitado dos momentos resistentes. Entretanto, pelas características mecânicas no aço USE SAC 300 seu momento resistente foi superior ao do aço SAE 1010. Abaixo as figuras 4 e 5 representam a relação de momento solicitado por momento resistente de cada aço.

Figura 4 – Demonstração da relação do momento solicitado pelo momento resistente do aço SAE 1010 (kN.m).



Fonte: Autores (2023)

Figura 5 – Demonstração da relação do momento solicitado pelo momento resistente do USE SAC 300 (kN.m).



Fonte: Autores (2023)

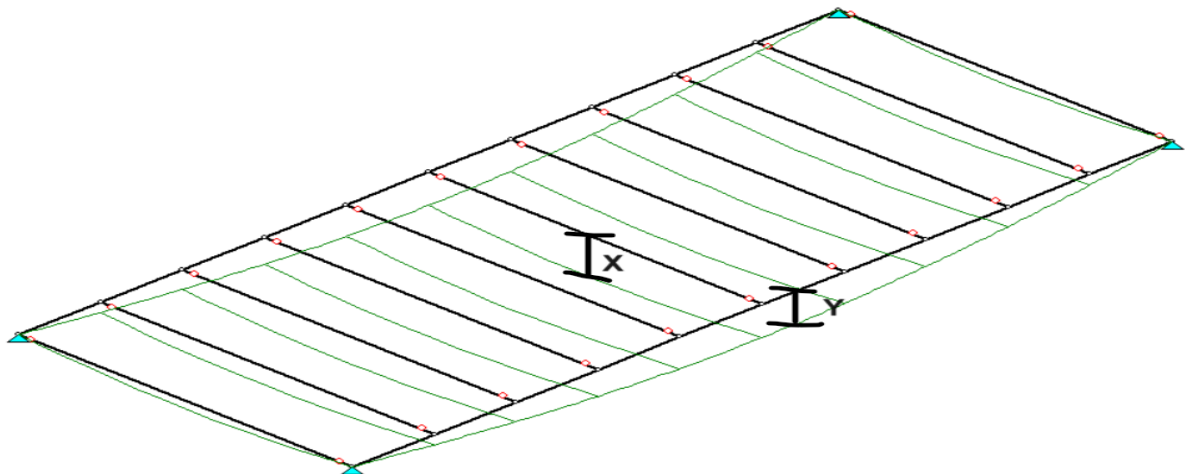
Para efeito de cálculo do estado limite serviço, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), são usados os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 , para obtenção dos valores

frequentes e quase permanentes das ações variáveis, respectivamente. O valor de redução foi aplicado na sobre carga conforme NBR 6120 (ABNT, 2019) de 150kgf/m^2 foi considerado o valor de redução de 0,4 e nas demais cargas foi aplicado o fator 1,0.

A análise do centro de gravidade das figuras geométricas das vigas tipo cartola e longarinas tipo metalon, as quais servem de apoio da madeira ecomax, são indispensáveis para efeito de cálculo da flecha. Segundo Leet, Uang e Gilbert (2010), a inércia é o momento quadrático de uma área referido ao eixo que passa no centro de gravidade, sendo a medida de capacidade de uma curvatura de uma seção.

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), o deslocamento máximo deve ser considerado conforme tabela C.1 de $L/350$; onde L é o vão entre apoios da longarina. Com o vão de 2440mm das vigas do piso box modulares, obtivemos um deslocamento máximo de 6,97mm e para longarinas com vão de 5600mm, obtivemos um deslocamento máximo de 16mm. Na figura 6 apresenta os valores de deslocamento máximo calculados para vigas tipo cartola e longarinas tipo tubo metalon.

Figura 6 – Valores de deslocamento máximo calculados para vigas de apoio da madeira ecomax e longarinas das duas extremidades do piso box modulares.



Obs.: Para o valor de deslocamento máximo da viga do piso box modular temos o $x=9,72\text{mm}$ e para longarina temos o deslocamento máximo de $y=7,41\text{mm}$ para ambos os tipos de aço SAE 1010 e USE SAC 300.

Fonte: Autores (2023)

O deslocamento máximo calculado para vigas tipo cartola não atendeu ao que a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), entretanto ficou em um valor dentro da contra flecha permitida, conforme demonstração dos cálculos abaixo que serão feitos na longarina

tipo metalon. A equação 04 representa o cálculo da contra flecha na longarina tipo metalon.

Equação 04 – Cálculo da contra flecha na longarina tipo metalon.

$$E = 200000\text{Mpa ou } 2039432 \text{ kgf/cm}^2$$

$$I = 1490,44 \text{ cm}^4$$

$q = 146,83\text{kgf}$ (peso próprio longarina tipo metalon) + $197,64\text{kgf}$ (madeira ecomax + peso próprio das vigas do piso box modular, considerando esse valor da soma dividido para cada longarina do piso box modular) = $344,47\text{kgf}$ – Divide esse valor pelo vão da longarina do piso modular.

$$q = \frac{344,47}{5,6} = 61,51\text{kgf/m ou } 0,6151\text{kgf/cm}$$

$$\delta_0 = \delta_{\text{total}} - \delta_1$$

$$\delta_0 = \delta_{\text{total}} - \frac{5 q l^4}{384 E I}$$

$$\delta_0 = 7,41 - \frac{5 \times 0,6151 \times 560^4}{384 \times 2039432 \times 1490,44}$$

$$\delta_0 = 7,41 - 2,59$$

$$\delta_0 = 4,82\text{mm}$$

$\delta_x = 9,72 - \delta_0$ – Deslocamento calculado após aplicação de contra flecha

$$\delta_x = 9,72 - 4,82$$

$\delta_x = 4,90\text{mm}$ - Atende ao deslocamento máximo, conforme NBR 8800.

Fonte: Autores 2023.

Como a deformação da longarina tipo metalon influencia diretamente na flecha da viga tipo cartola, foi aplicado uma contra flecha na longarina tipo metalon, conforme cálculo realizado acima de forma a deixar o deslocamento calculado da viga tipo cartola dentro do valor máximo permitido.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados anteriormente com auxílio do software webCalc3D, conclui-se que é possível afirmar que o tipo de aço empregado na estrutura não influenciou nos resultados do estado limite último e de serviço, salvo no estado limite último o aço USE SAC 300 obtivemos melhores valores resistentes, todavia no estado limite de serviço ambos apresentaram o mesmo valor, pois a geometria, o vão e a carga adotada dos perfis foram os mesmos.

Sendo assim, como somente a flecha das cinco vigas tipo cartola não atendeu ao deslocamento máximo, pois o deslocamento máximo da longarina tipo metalon influenciava na deformação da viga tipo cartola, por conta da sua posição geográfica no piso, tornando um viés no trabalho. Por conseguinte, por meio da norma NBR 8800 (ABNT, 2008) aplicamos a contra flecha, onde obtivemos um valor que otimizasse o deslocamento calculado da viga tipo cartola para dentro do deslocamento máximo após o deslocamento da longarina tipo metalon do box modular.

Dessa forma, diante dos resultados significativos, estudo subsequente como interesse futuro, pretende-se avaliar a durabilidade do material, a fim de aprofundar os conhecimentos em busca de melhoria no quesito qualidade, além de exibir inovação e melhor benefício do material para o cliente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2008, NBR 8800 - **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2010, NBR 14762 – **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formado a frio**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2019, NBR 6120 - **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

AZEVEDO, R.C; ENSSLIN, Leonardo. **Metodologia da pesquisa para engenharias**, PPGE/CEFET - MG - 2020. <https://www.researchgate.net/publication/345778299>. Acesso em: 22/11/2023.

CAIADO, K.F.C. **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Pré Fabricados Estruturados em Aço**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002. 623 p.

CESÁRIO, J.M.S. *et al.*, **Metodologia científica**: Principais tipos de pesquisas e suas características. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/tipos-de-pesquisas__. Ano 05, Ed. 11, Vol. 05, pp. 23-33. novembro de 2020. ISSN: 2448-0959, Acesso em: 02 abr. 2023.

FONSECA, Marcelo. **A Construção Modular e sua utilização nos hospitais de campanha, 2020**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-construcao-modular-e-sua-utilizacao-nos-hospitais-de-campanha_20245>. Acesso em: 02 abr. 2023.

FONTELLES, M.J *et al.*, **Metodologia da Pesquisa científica: Diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**, 2009. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf. Acesso em 02 de junho 2023.

FUTURENG. **Construção modular, 2023**. Disponível em: <<http://www.futureng.pt/construcao-modular>>. Acesso em: 03 abr. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

KOTNIK, J. **New Container Architecture**. Barcelona: Links, 2013.

LAFIETE. **Construção Modular: saiba tudo sobre essa tendência! 2023**. Disponível em: <<https://www.lafietelocacao.com.br/artigos/construcao-modular>>. Acesso em: 08 abr. 2023.

LEET, K.M.; UANG, C.M.; GILBERT, A.M. **Fundamentos da análise estrutural** [recurso eletrônico] /; tradução: João Eduardo Nóbrega Tortello; revisão técnica: Pedro V. P. Mendonça. 3. ed. Dados eletrônicos. – Porto Alegre: AMGH, 2010

OLIVEIRA, A. S., & Costa, I. (2008). **Resistência à corrosão de aço baixo carbono com diferentes concentrações de cobre**.

PANNONI, F.D. **Aços patináveis**. 2023. Disponível em: <<https://gsn.gerdau.com/pt-br/catalogos-e-manuais>>. Acessado em: 13, maio de 2023.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. Estruturas de aço: **Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800: 2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2009.

REIS, A.C.R. **A construção modular como solução em edificações**. 2020. 30. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Imperatriz-MA, 2020.

SANTOS, N.S; GUIMARÃES JÚNIOR, R.M. **Acompanhamento da implantação da plataforma BIM na etapa de projeto de um empreendimento: estudo de caso**. 2021.

SAVASSI, Felipe; CHICA, Carolina Ponce. **Construção Modular**. Rio de Janeiro: instituto aço Brasil, 2022.

SILVA, E. L., ESTERA M. Z. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000. 118p.

SILVA, G.R *et al.* **Caracterização de aços por técnicas de raios X**. 2019.