



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

VITOR HUGO WIGGERS PAIVA

***VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE CONTÊINERES
MARÍTIMOS PARA O USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL***

**OURO BRANCO - MG
JUNHO - 2023**



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAOPEBA**

VITOR HUGO WIGGERS PAIVA

***VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE CONTÊINERES
MARÍTIMOS PARA O USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Carmem Miranda Lage

OURO BRANCO - MG
JUNHO - 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

W149v Wiggers Paiva, Vitor Hugo.
verificação estrutural de contêineres marítimos
para o uso na construção civil / Vitor Hugo Wiggers
Paiva ; orientadora Carmem Miranda Lage. -- Ouro
Branco, 2023.
30 p.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia
Civil) -- Universidade Federal de São João del-Rei,
2023.

1. Contêineres Marítimos. 2. Estruturas Metálicas.
3. Metodo dos Elementos Finitos. I. Miranda Lage,
Carmem , orient. II. Título.

VITOR HUGO WIGGERS PAIVA

**VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE CONTÊINERES
MARÍTIMOS PARA O USO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carmem Miranda Lage - UFSJ
Professor Orientador de PFC

Prof.^a Dr.^a Ana Amélia Oliveira Mazon
Avaliador

Prof. Dr. Alexandre da Silva Galvão - UFSJ
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente expresso minha profunda gratidão à minha orientadora, Professora Dr. Carmem Lage, por todo apoio e dedicação desde o primeiro momento deste projeto, mas também pelos conselhos e ensinamentos sobre a carreira acadêmica, os quais pretendo levar para vida.

Aos meus pais, que me acompanharam e incentivaram em todos os momentos difíceis, sabendo quando intervir e quando dar liberdade para fazer minhas próprias escolhas.

A instituição UFSJ, por me proporcionar essa experiência de aprendizado

A todos os Professores, que com exemplar competência se empenharam em contribuir para a minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVO.....	5
3. METODOLOGIA.....	6
3.1. Análise Computacional.....	6
3.2. Modelo tridimensional.....	6
3.3. Propriedades físico-mecânicas dos materiais.....	7
3.4. Perfis metálicos.....	9
3.5. Posicionamento dos elementos.....	12
3.6. Apoios.....	13
3.7. Chapas metálicas (painéis).....	14
4. AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS.....	14
4.1. Peso próprio da estrutura.....	14
4.2. Sobrecarga de uso e ocupação.....	15
4.3. Ação de vento a 0° e ação de vento a 90°.....	16
5. COMBINAÇÕES DE CARGA.....	17
6. RESULTADOS DO PROGRAMA.....	18
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROGRAMA.....	19
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um Contêiner	7
Figura 2 – Seção transversal criado por meio da ferramenta de desenho livre	12
Figura 3 – Modelo sem aberturas criado no programa SAP2000	14
Figura 4 – Modelo com aberturas criados no programa SAP2000	14
Figura 5 – Exemplo de resultados para o modelo com abertura para esquadrias	18
Figura 6 - Exemplo de Resultado para o modelo sem abertura para esquadrias	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas - massa específica dos materiais	8
Tabela 2 – Propriedades mecânicas - Tensão de Escoamento e Tensão Última	9
Tabela 3 - Quadro de Perfis	9-11
Tabela 4 - Esforço Cortante: Resistente e Solicitante(max)	20
Tabela 5 - Momento Fletor: Resistente x Solicitante(max)	21
Tabela 6 - Deformação: Real x Limite	21

1. INTRODUÇÃO

O período das Grandes Navegações, proporcionou às vias marítimas uma constante relevância como meio de transportes, logo, assume-se que, equipamentos destinados a contenção das cargas já existiam nesse período do transporte naval. Porém, modelos com mais semelhanças aos que temos atualmente são vistos, a partir da revolução industrial (CARBONARI, 2015), quando a padronização dos processos comerciais adquiriram maior importância. Porém, até meados do século XX, as perdas e ineficiências ainda eram extremamente custosas, interferindo no valor final dos produtos comerciais transportados por esse método (LEVINSON, 2006).

Com o objetivo de evitar esses prejuízos, por volta da década de 1960, foram desenvolvidos os contêineres marítimos (LEVINSON, 2006), inicialmente com fins de facilitar a contenção, deslocamento e preservação de diversos tipos de carga durante o transporte e tempo de armazenamento que se via comum entre trechos das rotas. Contudo, posteriormente, a eficiência do equipamento proporcionou notoriedade que o levaram a diferentes meios, para armazenagem e organização mesmo em vias terrestres.

Dentro desse contexto, ocorreu a popularização desse método de acondicionamento, surgindo diferentes modelos do equipamento para atender as necessidades propostas em cada situação. Assim, com as crescentes modificações e variações, uma recomendação publicada no ano de 1968, na qual foi proposta uma padronização para a produção e uso dos contêineres nas diversas áreas (CARBONARI, 2015), vindo a ser formalmente regulamentada quase trinta anos depois, com a ISO 668 (1995).

Os padrões atuais desse equipamento são formados, normalmente, por seis faces (chapas) retangulares, constituídas de materiais como madeira ou metal, conectados aos pilares e vigas nas extremidades. As dimensões são variadas, normalmente, entre 3 a 15 metros de comprimento e altura de 2,6 metros para modelos “*DRY STANDARD*” ou 2,9 metros para modelos “*HIGH CUBE*”.

Apesar de já existir a regulamentação do reuso desse equipamento para a construção civil, pela ISO 6346, e um crescimento no Brasil das casas contêineres, é notável que essa alternativa ainda não representa a maior parcela de destinação do equipamento (VIANA, 2018). Porém, é inegável a maior vantagem na reutilização desse produto em contrapartida

do simples descarte, visto que, reduz a necessidade tanto de extração de nova matéria prima, quanto de alocação dos resíduos gerados.

Após apontado a vantagem de reutilizar os containers marítimos, adaptados para atuar como edificação dentro da construção civil, são necessárias diversas análises para garantir a segurança dessa alternativa construtiva. A revisão de 2020 da norma regulamentadora nº18 (NR-18, 2020) proibia o uso de contêineres, originalmente utilizado para transporte de cargas, em áreas de vivência dos canteiros de obras (alojamento, vestiário e escritórios), podendo ser utilizados apenas para depósito de materiais.

Entre outras questões, a principal razão para a proibição foi o risco de contaminação por radiação. Na ocasião, o uso dos contêineres estava sendo permitido mediante laudo técnico de descontaminação dado por um profissional habilitado. No entanto, a portaria nº 4390 do Ministério do Trabalho e Previdência (DOU, 2022), prorrogou por mais 36 meses essa permissão, sendo que a partir de 2025 o uso de contêineres será proibido.

Além disso, a partir de 01/02/2023, enquanto a proibição não for exigida, a utilização de contêiner originalmente utilizado para transporte de cargas em área de vivência ou de ocupação de trabalhadores é permitida desde que observadas as prescrições do capítulo 18.5 da NR-18.

A análise estrutural é outro fator importante para reuso dos contêineres, visto que as modificações para adequação do contêiner envolvem a abertura de portas e janelas nos painéis, o que pode alterar a resistência da estrutura, assim como a modificação das cargas externas solicitantes resultando em diferentes esforços internos nos elementos.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a estabilidade estrutural de um contêiner marítimo, adaptado para fins de utilização como canteiro avançado ou escritório na construção civil. Isso será feito a partir da comparação dos esforços solicitantes, calculados por meio de *software*, com os esforços resistentes, obtidos pela aplicação dos princípios estabelecidos na NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (ABNT, 2008) e na NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

3. METODOLOGIA

3.1. Análise Computacional

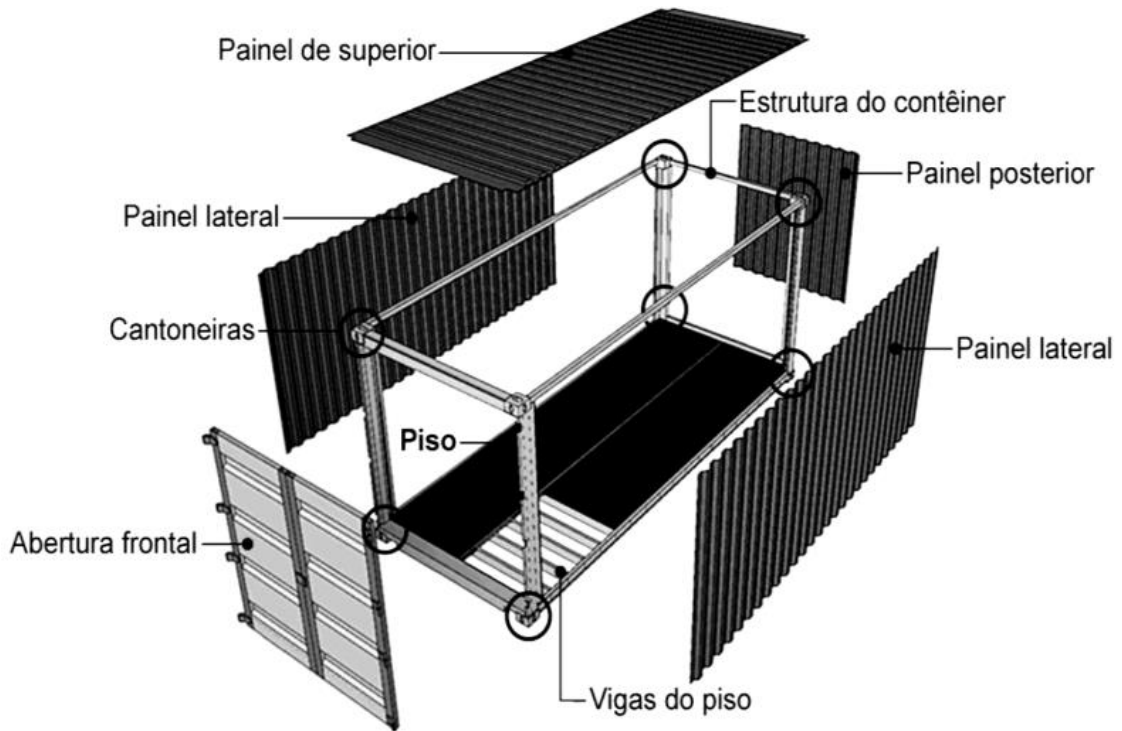
Para analisar as cargas solicitantes foi optado por uma abordagem computacional por meio do programa SAP2000 (2015), que adota o método dos elementos finitos para cálculo de esforços solicitantes, ou seja, por meio da subdivisão em pequenas partes o programa oferece resultados aproximados, contornando o problema das equações diferenciais infinitas. Além disso, o software permite uma modelagem mais realista de cada parte individual da estrutura, por meio de ferramentas com as quais é possível desenhar com detalhes a seção transversal dos perfis metálicos a serem utilizados.

Com esse propósito, torna-se necessário fornecer ao *software* as informações relativas ao projeto, sendo elas, as propriedades dos materiais presentes na estrutura, os perfis metálicos (comprimento, seção transversal, material e posicionamento), ações solicitantes (cargas permanentes e variáveis), combinações de ações (Estado Limite de Serviço e Estado Limite Último) e as demais informações relativas à estrutura.

3.2. Modelo tridimensional

A separação dos elementos estruturais será feita em categorias, considerando posicionamento, seja superior, inferior, frontal (porta), posterior ou lateral(paralelo ao eixo longitudinal), e também entre classes, tais como vigas principais, vigas do piso (travessas), pilares e painéis. Esses componentes e suas nomenclaturas podem ser observados na Figura 1 (BARTH E CARBONARI, 2016).

Figura 1 - Componentes de um Contêiner



Fonte: Barth e Carbonari, 2016

Ao observar, na Figura 1, a separação dos elementos, torna-se mais fácil identificar as vigas e colunas principais, responsáveis pelo travamento e rigidez da estrutura que, em conjunto com as chapas (painéis), formam as faces externas do contêiner. Outrossim, é possível ver também as vigas secundárias, ou travessas, que ficam abaixo do compensado de madeira e garantem a sustentação do piso.

O objeto de estudo escolhido para modelagem é um contêiner *High Cube* de 20 pés, semelhante ao apresentado na Figura 1 com 6,058 metros de comprimento, 2,438 metros de largura e 2,698 metros de altura. Essas dimensões são inseridas no programa por meio de uma interface gráfica, formando um molde prismático com barras unifilares. Além disso, cria-se manualmente 18 linhas equidistantes para a alocação das travessas, conectando as vigas inferiores laterais.

3.3. Propriedades físico-mecânicas dos materiais

Para a realização dos cálculos, o programa também necessita das informações relativas às propriedades dos materiais presentes na estrutura, sendo aço e madeira os principais componentes. Portanto, segundo os padrões estabelecidos na norma NBR 8800 (ABNT, 2008) e na norma NBR 7190 (ABNT, 1997), definiu-se algumas propriedades mecânicas, por exemplo, o módulo de elasticidade que é de 200 GPa para o aço e 3,5 GPa para a madeira.

Ademais, para que fosse possível determinar o peso específico do aço anticorrosivo das chapas, do aço comum dos perfis e da madeira do piso, conforme as mesmas normas, aferiu-se os dados da Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas - massa específica dos materiais

Material	Elemento construtivo	Massa Específica (kg/m³)
Aço Anticorrosivo	Chapas	7850
Aço comum	Perfis	7850
Madeira (C20)	Piso	500

Nota-se na Tabela 1, que a massa específica das chapas e a dos perfis formados a frio é a mesma, sendo mais de dez vezes o valor da massa específica do piso de madeira. Logo, é possível afirmar, que o peso específico do aço mantém a proporção, sendo maior do que o da madeira, porém, ambos representam grande influência na distribuição de cargas relacionadas ao peso próprio da estrutura.

Analiticamente, embora os aços tenham propriedades semelhantes, elas ainda se distinguem em relação à resistência (FRANÇA, 2017), conforme apresentado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas - Tensão de Escoamento e Tensão Última

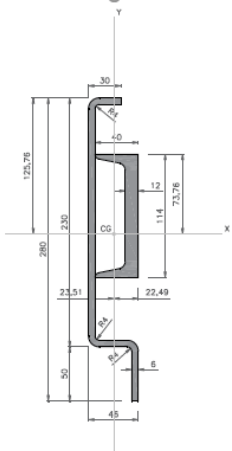
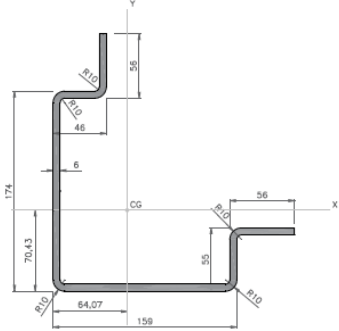
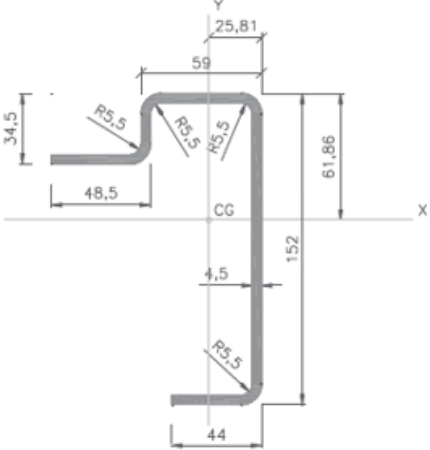
Tipo de aço	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Última (MPa)
Anticorrosivo	350	490
Comum (Perfil formado a frio)	330	500

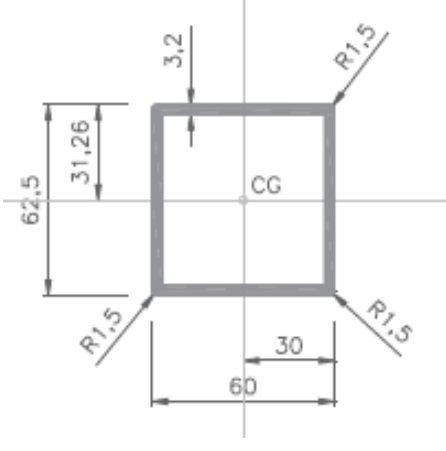
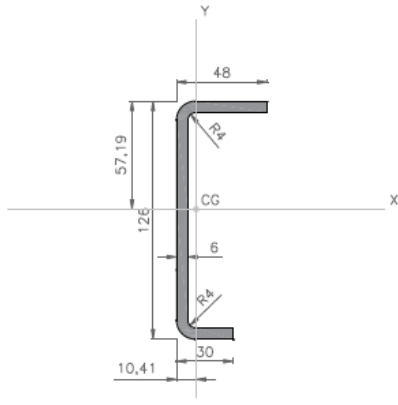
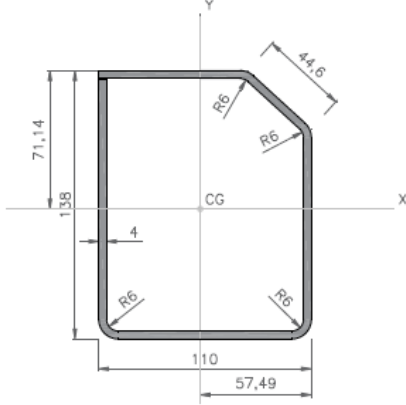
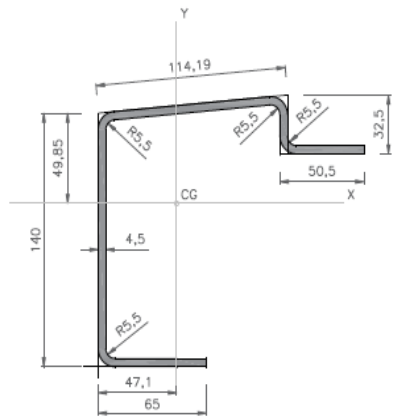
Os dados da Tabela 2, demonstram que o aço anticorrosivo resiste melhor ao escoamento do que o aço comum, situação que se inverte em relação à tensão última de ruptura. Com isso, tem-se as informações necessárias para inserção dos materiais no programa.

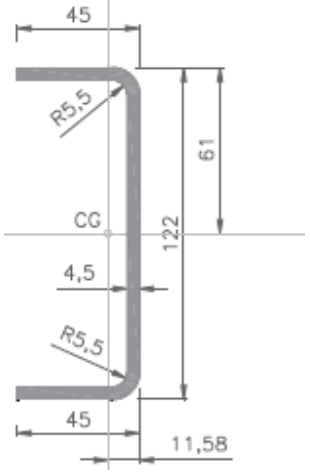
3.4. Perfis metálicos

Durante o transporte marítimo, por uma questão de logística de espaço é necessário empilhar diversos contêineres, portanto a utilização de perfis formados a frio tem como explicação o fato desses resistirem bem aos, enquanto são consideravelmente mais leves, logo, gerando menos solicitação. Além disso, a capacidade de customização, permite a formação de perfis específicos para cada elemento, como é possível observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Quadro de Perfis

Nome do perfil	Dimensões do perfil (mm)	Perfil
Colunas Frontais Externas	30 x 230 x 46 x 56 t=6	
Colunas Frontais Internas	Tipo U 114 x 40 x 12	
Colunas posteriores	56 x 46 x 174 x 159 x 55 x 56 t= 4,4	
Viga Inferior Posterior	44 x 152 x 59 x 34,5 x 49 t= 4,4	

<p>Viga Superior Posterior e Vigas Superiores Longitudinais</p>	<p>Tubo Quadrático 60x62 t= 3,2</p>	
<p>Vigas Inferiores laterais</p>	<p>Tipo U 30 x 162 x 48 t= 6</p>	
<p>Verga da Porta</p>	<p>110 X 138 t = 4</p>	
<p>Contra-Verga da Porta</p>	<p>65 x 140 x 115 x 31 x 50 t= 4,5</p>	

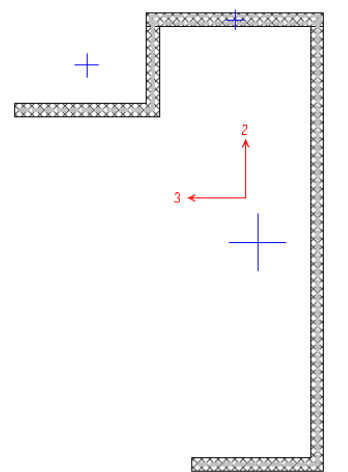
Travessas	Tipo U 122 x 45 t= 4,5	
-----------	---------------------------	---

Fonte: Adaptado de França (2017)

É possível observar na Tabela 3 que, em sua maioria, os elementos estruturais componentes são não convencionais e, ainda, assimétricos em certos casos. Assim, embora o acervo digital disponibilizado pelo programa conte com uma grande variedade de perfis metálicos, não foram encontrados exemplares que se aproximam dos padrões necessários. Por essa razão, optou-se por modelar manualmente, utilizando a ferramenta de desenho de seção transversal fornecida pelo programa SAP2000, permitindo assim, uma associação fidedigna.

Para utilização da ferramenta de desenho, tem-se a possibilidade de associar diferentes seções transversais comuns, mudando as dimensões de acordo com o formato final que se deseja obter. Um modelo de criação é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Seção transversal criado por meio da ferramenta de desenho livre



Fonte: SAP2000

A Figura 2 representa a seção transversal de uma viga inferior longitudinal, partindo da ponta mais abaixo e continuando até a outra ponta, com as dimensões ilustradas anteriormente na Tabela 3.

3.5. Posicionamento dos elementos

Após inseridos os perfis, é possível associar a cada aresta criada no modelo, o perfil e material correspondentes, podendo acontecer da posição tridimensional do elemento não estar condizente com a realidade. Nesse caso, o *software* oferece a possibilidade de rotacionar o perfil para ajustá-lo tridimensionalmente de acordo com o padrão real.

3.6. Apoios

Para fornecer o suporte necessário à estrutura, foram aplicados nos quatro cantos inferiores do molde prismático, apoios de segundo gênero, com o intuito de aproximar-se da situação prática, na qual a translação é travada e a rotação é livre.

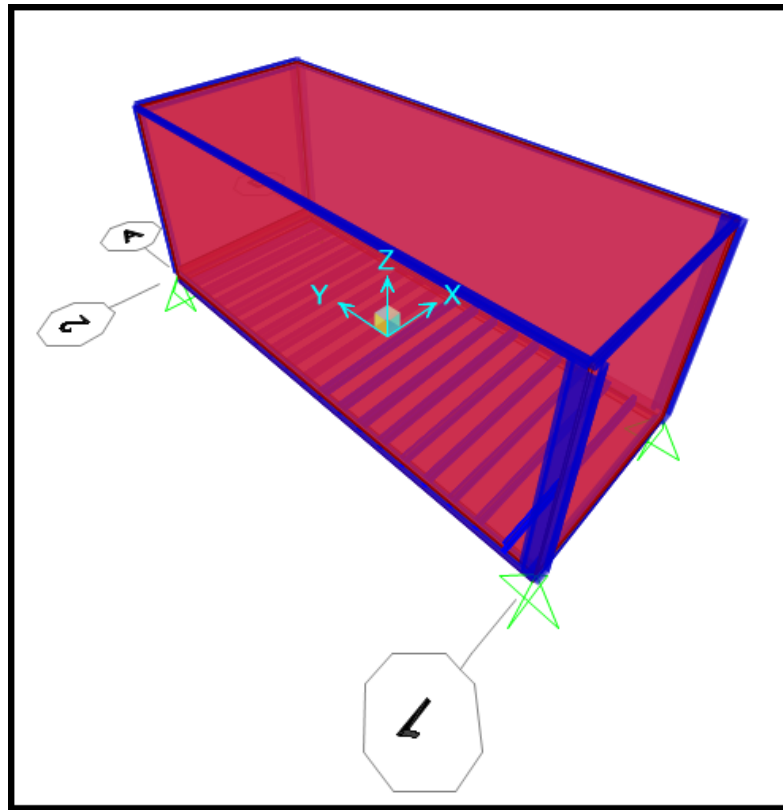
3.7. Chapas Metálicas (Painéis)

Após associado cada elemento estrutural ao seu posicionamento correto, com auxílio da ferramenta de rotação de eixo, são desenhados os painéis com a espessura de 2,6 mm. Contudo, é fundamental ressaltar que, embora os painéis longitudinais, superior e posterior, sejam trapezoidais na estrutura real, para o modelo computacional foram inseridos como chapas planas, pela dificuldade em modelá-los no formato trapezoidal no programa escolhido.

As chapas são criadas na interface do programa, sendo feitas aberturas de uma porta com 0,80 metros de largura e 2,20 metros de altura, na face frontal, e de uma janela com dimensões 1,20 metros x 1,00 metros centralizada na lateral. Para isso, optou-se por dividir a chapa lateral em duas partes, sendo uma superior, que está conectada apenas à viga superior longitudinal, e uma inferior conectada às duas colunas e viga longitudinal inferior restantes.

Por motivos de comparação, a partir desse ponto, trabalhou-se com dois diferentes modelos, sendo o primeiro deles a configuração original sem aberturas para as esquadrias, conforme apresentado na Figura 3

Figura 3 – Modelo sem aberturas criado no programa SAP2000

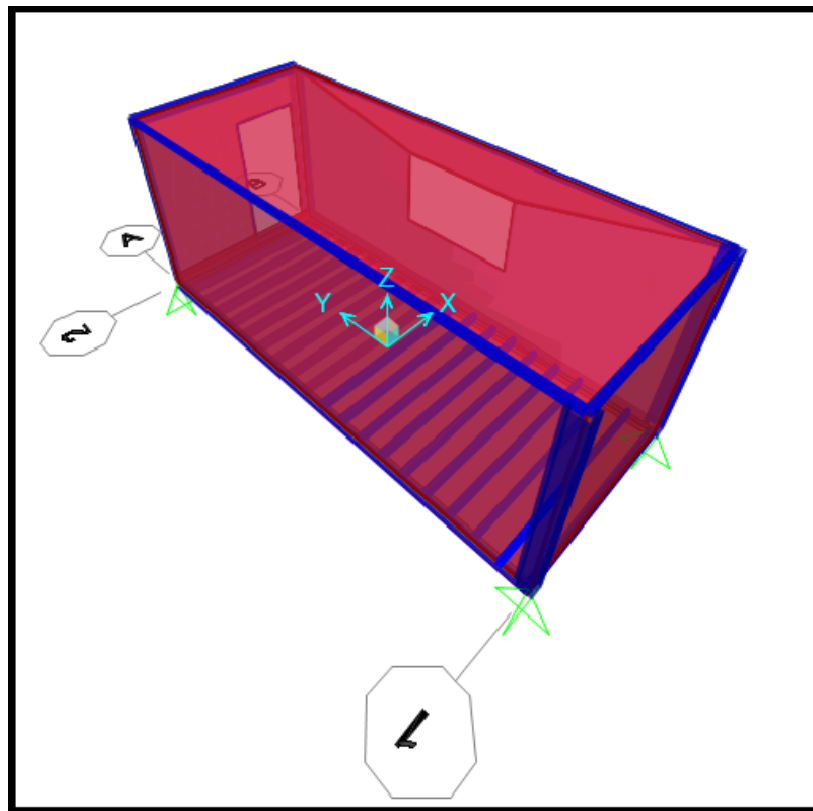


Fonte: SAP2000

Pode-se observar na Figura 3 o contêiner sem as modificações, assim como os apoios aplicados conforme as condições práticas reais, posicionados nos cantos inferiores.

Já o segundo modelo, com os cortes necessários para instalação das esquadrias, é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Modelo com aberturas criado no programa SAP2000



Fonte: SAP2000

Está evidenciado na Figura 4 o contêiner com as modificações, mantendo as mesmas condições de apoios apresentadas na Figura 3.

Tendo em vista, que o software não é capaz de reconhecer uma abertura central na chapa, como solução, optou-se pela divisão entre duas chapas, sendo uma superior e uma inferior. Em consequência disso, as cargas atuantes sobre a parte superior da chapa serão transferidas apenas à viga superior longitudinal, em oposição a versão original onde a carga também é distribuída entre as colunas posterior e frontal, além da viga inferior longitudinal.

4. AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS

4.1. Peso próprio da estrutura

Para a mensuração de cargas atuando sobre a estrutura, a principal a ser analisada é a ação permanente, ou seja, as solicitações geradas pelo peso próprio dos elementos. Cumpre esclarecer, que o peso próprio da estrutura de aço (PP) e o do piso de madeira (Pm), é fornecido pelo programa, que realiza os cálculos combinando as informações das propriedades do material (Tabela 1 e Tabela 2). Além disso, são utilizados também dados como a aceleração da gravidade ($g = 9.81m/s$), a espessura do piso de madeira ($Em = 30mm$), a espessura das chapas de aço ($Ea = 2.6mm$), o comprimento do contêiner e as seções transversais dos perfis (Tabela 3).

4.2. Sobrecarga de uso e ocupação

Atuando simultaneamente sobre a estrutura, tem-se as ações variáveis de uso e ocupação, definidas de acordo com o indicado pela NBR 6120 (ABNT, 2019), dependendo diretamente do tipo de ambiente projetado. Assim, tendo em perspectiva o objetivo de ocupação do contêiner como uma sala de escritório, é possível definir, de acordo com o indicado pelas normas brasileiras, o valor da ação de sobrecarga, a ser considerado ($Fsc = 2 kN/m^2$).

4.3. Ação do vento a 0° e ação do vento a 90°

Em sequência, também como ação variável, calculou-se manualmente a ação gerada pelo vento, separada entre duas em direções ortogonais e calculada pelos métodos recomendados na NBR 6123 (ABNT, 2020). Nesse caso, foram necessários dados relativos à topografia entre outros aspectos da localização da estrutura, sendo assumido como parâmetro hipotético a cidade de Ouro Branco - MG.

Após seleção da localidade, por meio da leitura do mapa de isopleias, define-se a velocidade básica do vento igual a $V_0 = 30m/s$. Ademais, conforme indicado pela norma, a

fim de continuar os cálculos da ação, afere-se os fatores topográfico(S_1), de rugosidade do terreno(S_2) e estatístico(S_3).

Como a condição de relevo da cidade é altamente variável, assumiu-se a pior situação, onde ocorreria o maior fator de ponderação, para o fator topográfico do terreno, $S_1=1$.

Dando continuidade, por tratar-se de uma cidade de médio porte, a rugosidade do terreno foi estipulada como de categoria IV, enquanto a estrutura foi associada à classe A, pelo fato de não apresentar faces com dimensões acima de 20 metros. Com isso, por meio da Equação 1 é possível calcular o fator de rugosidade do terreno.

$$S_2 = b * F_{r,II} * \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (1)$$

sendo,

z, a altura acima do terreno;

$F_{r,II}$, o fator de rajada (categoria II);

‘b’ e ‘p’ os parâmetros meteorológicos

Definidos os valores conforme a norma, para a altura de 2,896 metros do container tem-se $S_2 = 0,7$.

Além disso, por meio da tabela de valores mínimos para S_3 , fornecida pela norma, firmou-se a situação como de Grupo 2, devido ao tipo de ocupação destinado ao comércio, estabelecendo o fator estatístico $S_3 = 1$.

Por fim, firmados a velocidade básica do vento e todos os fatores de correção, é possível dimensionar a pressão dinâmica (q), que em conjunto com o coeficiente de pressão (C_p), possibilita definir as cargas de vento agindo sobre a estrutura, sendo uma a zero graus

do referencial (face frontal) e outra perpendicular a essa, respectivamente $V_0 = 0,3 \text{ kN/m}^2$ e $V_{90} = 0,3 \text{ kN/m}^2$.

Com isso, tem-se os dados necessários para fornecer ao SAP2000, as informações de ações solicitantes sobre a estrutura, aplicando as cargas sobre as áreas das chapas ou comprimentos das vigas e pilares. Para os modelos analisados, as cargas de vento foram aplicadas nos painéis frontal (contendo a porta) e no longitudinal (sem modificação).

5. COMBINAÇÕES DE CARGA

Após encontrados os valores para cada ação atuante na estrutura, é necessário aplicar o método dos limites, definindo-se as combinações de ações de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) aplicando os corretos fatores de ponderação para cada situação. Assim, foram definidas as seguintes combinações do tipo última normal: Equação 2- Combinação Normal com Sobrecarga como variável principal; Equação 3 - Combinação Normal com vento a 0° como variável principal e Equação 4 - Combinação Normal com vento a 90° como variável principal.

$$1,25xPP + 1,15xPm + 1,5xSC + 0,84xV_0 + 0,84xV_{90} \quad (2)$$

$$1,25xPP + 1,15xPm + 1,05xSC + 1,4xV_0 + 0,84xV_{90} \quad (3)$$

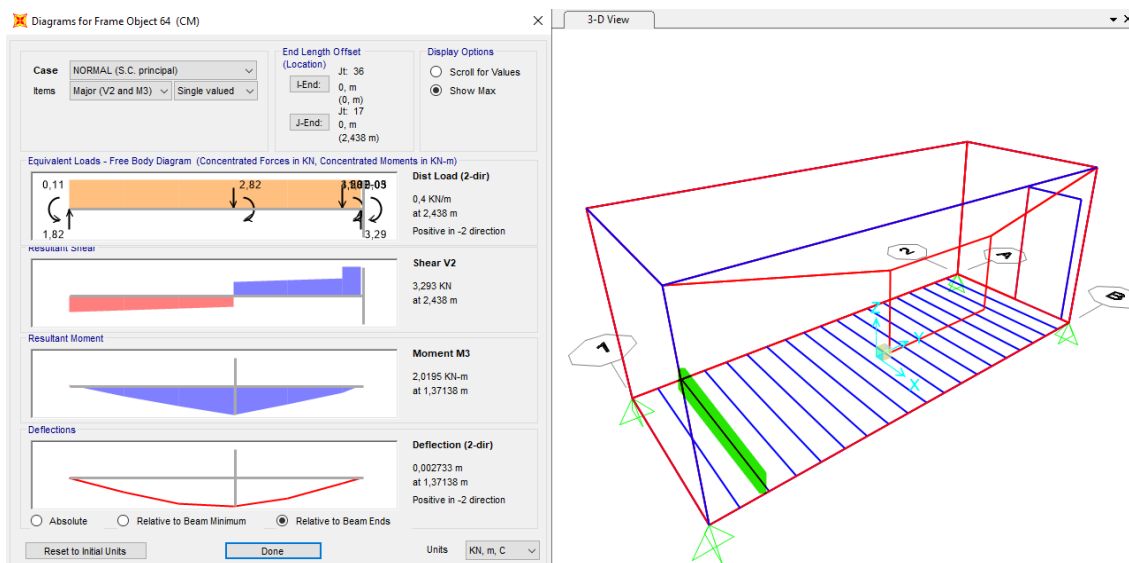
$$1,25xPP + 1,15xPm + 1,05xSC + 0,84xV_0 + 1,4xV_{90} \quad (4)$$

As equações anteriores (Equação 2, Equação 3 e Equação 4) apresentam os parâmetros de ponderação aplicados às respectivas cargas no programa, para cada uma das combinações apresentadas.

6. RESULTADOS DO PROGRAMA

Após informar todos os dados apresentados anteriormente, executa-se o programa, que realiza os cálculos pelo método dos elementos finitos tendo como resultado, para todos os elementos do contêiner, os valores dos esforços solicitantes de cálculo, como pode-se averiguar na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de resultados para o modelo com abertura para esquadrias

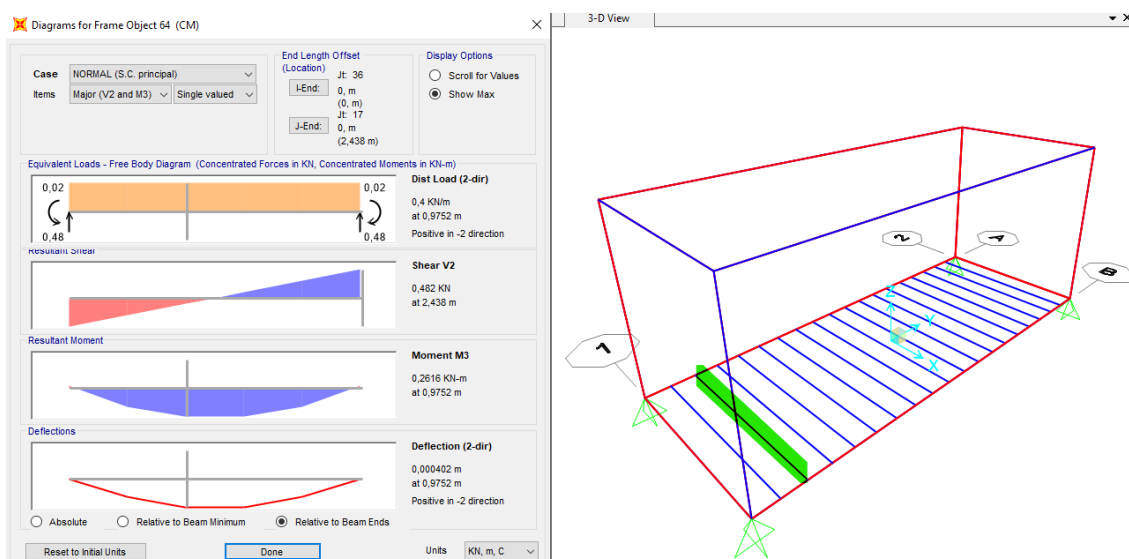


Fonte: SAP 2000

Na Figura 5 é possível ver a tela de resultados contendo os valores de esforço cortante, momento fletor e deformação, para a situação definida. O exemplo apresentado, é de uma travessa na combinação do tipo última normal e no ponto de maior momento. Porém, no programa SAP2000, é possível alterar a combinação ('case '), o elemento estrutural analisado o ponto (dentro de toda a extensão) em que deseja realizar a análise.

Da mesma forma, é possível verificar para o primeiro modelo, os resultados do programa conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Exemplo de Resultado para o modelo sem abertura para esquadrias



Fonte: SAP 2000

Na Figura 6 são apresentados os resultados para o modelo sem alterações. A situação analisada é semelhante ao apresentado na Figura 5, quanto ao elemento e ao tipo de combinação, porém os resultados são diferentes devido aos cortes feitos para futura instalação das esquadrias, que alteram as solicitações.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROGRAMA

Por tratar-se de um programa computacional, desenvolvido em outro país, ainda não é possível realizar as verificações dos esforços resistentes conforme as exigências estabelecidas nas normas brasileiras. Portanto, os valores dos esforços resistentes foram definidos com auxílio do programa EXCEL, e da norma NBR 14762 (ABNT, 2010).

Para as verificações, foram escolhidos os resultados nas situações analiticamente mais críticas, ou seja, nas situações onde houve maior solicitação. Assim, analisou-se realizado a comparação do esforço resistente com o maior valor solicitante entre os diferentes modelos. Sendo as situações críticas encontradas:

- Esforço cortante para as colunas posteriores;
- Momento fletor para vigas (superiores e inferiores) e travessas;
- Deformação (flecha) para vigas (superiores e inferiores) e travessas;

Para a coluna posterior foi calculado, pelo método estabelecido nas normas, o esforço cortante resistente e tomado o resultado do esforço solicitante fornecido pelo programa SAP2000, na pior situação(maior valor), sendo no contêiner com modificações e Combinação Normal com vento a 0° como variável principal. A comparação pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4 - Esforço Cortante: Resistente e Solicitante(max)

Elemento estrutural	Esforço Cortante Resistente (kN)	Esforço Cortante Solicitante (max) (kN)
Coluna Posterior	199,31	1,615

A Tabela 4 demonstra que o esforço cortante resistente calculado é de 199,31 KN, sendo superior ao esforço interno solicitante nas colunas posteriores, aferindo assim a segurança estrutural, tanto no container com aberturas quanto no sem aberturas que apresentou solicitações inferiores.

Entre as vigas e travessas há uma elevada solicitação do momento fletor, portanto, também é realizado o cálculo da resistência conforme as normas e comparado com a solicitação, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Momento Fletor: Resistente x Solicitante(max)

Elemento estrutural	Momento Fletor RESISTENTE (kN.mm)	Momento Fletor SOLICITANTE (max) (kN.mm)
Viga Longitudinal Inferior	-16700,4	-481,29
Viga Longitudinal Superior	-590,0	-242,12
Travessa	9539,1	1630,83

De acordo com a Tabela 5 os esforços resistentes são superiores aos esforços

solicitantes para a análise de momento fletor.

Finalmente, é verificado a deformação máxima, ou flecha máxima, para as vigas e travessas, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Deformação: Real x Limite

Elemento estrutural	FLECHA OCORRIDA (mm)	FLECHA MÁXIMA (mm)
Viga Longitudinal Inferior	0,12	17,30
Viga Longitudinal Superior	6,00	17,30
Travessa	2,16	6,96

Analisando os resultados da Tabela 6, averigua-se que a flecha ocorrida está dentro dos limites estabelecidos por norma, portanto é possível assegurar a segurança estrutural.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente análise foi conduzida utilizando o software SAP2000 para dimensionar as solicitações nos elementos estruturais de um contêiner marítimo, após adaptações para aplicação como uma sala de escritório. Para a correta associação de perfis, estes foram modelados, por meio da ferramenta de desenho livre, com fiel aproximação às respectivas dimensões reais apresentadas.

Além disso, considerando que o programa não realiza verificações estruturais de acordo com as normas brasileiras, os cálculos das resistências e limites de deformação foram realizados com auxílio do programa Excel e seguindo as recomendações vigentes da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Ao realizar a comparação dos resultados para o primeiro modelo (sem alterações), percebe-se que os elementos estruturais do contêiner tem resistência maior do que a solicitação das cargas aplicadas a eles, atendendo, portanto, aos requisitos para a segurança estrutural. Ademais, para o segundo modelo (com alterações) também é garantida a segurança estrutural, como esperado, tendo em vista que a remoção de parte da chapa frontal e parte de uma das chapas laterais, reduziria diretamente a solicitação pelo peso próprio da estrutura.

Devido à ausência de contraventamentos, podemos afirmar com alta plausibilidade que as chapas desempenham um papel importante no travamento da estrutura, o que também é evidenciado pela pequena variação nos valores de deformação entre os dois modelos. Assim, é provável que a ausência de deformações significativas possa ser justificada por dois principais fatores: o tamanho das aberturas relativamente pequenas em relação às dimensões das chapas, resultando em uma redução mínima na capacidade estrutural das mesmas, e o comprimento do contêiner de 20 pés, que é um dos menores disponíveis, proporcionando um menor vão para o travamento da estrutura.

Conforme analisado detalhadamente, tanto nos contêineres em sua configuração original quanto nos que foram modificados com a abertura de esquadrias, verificou-se que a estrutura apresenta total segurança para ser adaptada e utilizada como uma sala de escritório. Essa constatação se estende a diversas situações análogas às já mencionadas ao longo deste trabalho, reforçando a versatilidade e a viabilidade dessa solução para atender às necessidades de espaços de trabalho funcionais e eficientes.

Levando em consideração a mobilidade, dimensões e durabilidade de um contêiner marítimo, sua adaptabilidade como um escritório e adaptabilidade oferecem diversas oportunidades de aplicação. Por exemplo, ele pode ser utilizado como um canteiro avançado móvel, proporcionando uma sala que pode ser facilmente reposicionada ao longo do processo de construção. Além disso, pode servir também como um conjunto de escritórios temporários para empresas que precisam se estabelecer temporariamente em diferentes cidades, eliminando a preocupação com aluguel ou construção de espaços físicos adequados para a prática.

Para estudos posteriores, sugere-se realizar investigações complementares, considerando uma variedade de configurações de esquadrias, com diferentes tamanhos e posições, a fim de entender melhor o impacto dessas variações na resposta estrutural das chapas e no sistema de travamento. Além disso, devido às limitações do programa em relação ao corte central no painel, é importante explorar outras abordagens de modelagem para representar de forma mais precisa o corte central no painel, buscando uma maior fidelidade na simulação dos efeitos estruturais. Essas análises mais abrangentes contribuirão para um entendimento mais completo do comportamento da estrutura, proporcionando uma base sólida para futuros projetos e aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2001, NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1980, NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1988, NBR 6123 - Forças devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Portaria 4390, de 23 de dezembro de 2022. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 246. Seção I, p.415.

CARBONARI, Luana Toralles. Reutilização de Contêineres ISO na Arquitetura: Aspectos Projetuais, Construtivos e Normativos do Desempenho Térmico em Edificações no Sul do Brasil. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

LEVINSON, Marc. The Box: How the Shipping Container Made The World Smaller and the World Economy Bigger. Princeton University Press. 2006.

CARBONARI, Luana Toralles; BARTH, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. Campinas, SP. 2016. ISSN 1980-6809. Acesso em: 05 de outubro de 2021.

CSI, CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS and SAFE. Computers and Structure, Inc., Berkeley, 2007.

FRANÇA JÚNIOR, Adelmo Magalhães de. Análise Estrutural de Contêineres Marítimos Utilizados em Edificações. Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Construção Metálica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 668. Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 1496-1. Series 1 freight containers – Specification and testing – Part 1: General cargo containers for general purposes. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 6346. Freight containers – Coding, identification and marking. 1995.

MACEDO, Lilian Brito de. Como uma Onda no Mar: Projeto Arquitetônico de uma Habitação Evolutiva com Princípios de Racionalização. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Páginas: 28-30, 2018.

NETO, Edson Muniz de Melo. Proposta Arquitetônica de Habitações Modulares com Ênfase na Racionalização Construtiva: A Coordenação Modular no Processo Projetual. Trabalho de Conclusão submetido ao Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio-ambiente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Páginas: 20-22, 2019.

REGULAMENTAÇÃO NORMATIVA. **NR-18:** Condições de Saúde e Segurança do Trabalho na Indústria da Construção. 2020

RIBEIRO, Marcellus Serejo. A Industrialização como requisito para a racionalização da construção. Dissertação. Orientador: Camilo Michalka Jr. Rio de Janeiro: UFRJ/ PROARQ/FAU, 2002.

VIANA, Françoise Santana. Análise de Desempenho Térmico em Módulo de Contêiner Marítimo. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Páginas: 12 e 13, 2018.