

Otimização de Coberturas Metálicas de Quadras Poliesportivas Situadas em Rio Verde-GO

Optimization of Metallic Coverages of Multisport Courts Located in Rio Verde – GO

DOI:10.34117/bjdv7n9-477

Recebimento dos originais: 27/08/2021

Aceitação para publicação: 27/09/2021

Phelippe Mendonça de Paiva

Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970

E-mail: phelippe-paiva@hotmail.com

Michell Macedo Alves

Doutor em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970

E-mail: michell.macedo@ifgoiano.edu.br

Marcel Willian Reis Sales

Doutor em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970

E-mail: marcel.sales@ifgoiano.edu.br

Bacus de Oliveira Nahime

Doutor em Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual Paulista

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970

E-mail: bacusnahime@ifgoiano.edu.br

Rafaela Bernardes Rabelo

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil

Universidade Federal de Goiás

Endereço Av. Universitária, 1488 Qd 86, Lt Área. St. Universitário, CEP 74605-220

E-mail: rafaelabernardesrabelo@gmail.com

Abner Santos Baroni Sales

Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970

E-mail: abnersbsales@gmail.com

Ana Flávia Guerra Ferreira Campos

Mestranda em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970
E-mail: anaflaviaguerra.eng@gmail.com

Carlos Palmerio dos Santos Carvalho

Graduando em Engenharia Civil

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Endereço Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural | Rio Verde - GO, CEP 75.901-970
E-mail: carlos.palmerio.s@gmail.com

RESUMO

O uso de perfis de aço formados a frio (PFF), na construção civil, cresceu significativamente devido à alta resistência, baixo peso e facilidade nos processos de fabricação, montagem e produção. Apesar do desenvolvimento dos métodos construtivos e da tecnologia de materiais, ainda é possível observar coberturas mal projetadas, o que resulta em edificações com consumo irregular de materiais e em alguns casos com comportamento estrutural insatisfatório. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo em que foi realizado a otimização de três coberturas de quadras poliesportivas situadas em Rio Verde - GO. A otimização foi disposta em duas fases: na primeira foram propostos três novos modelos de pórticos planos e na segunda etapa foram sugeridas duas tipologias distintas de seção transversal para as vigas treliçadas de cobertura. Após as análises dos resultados foi verificado que a mudança de tipologia dos pórticos promoveu a otimização do consumo de aço em duas das três edificações analisadas, enquanto que, a variação de seção transversal não apresentou nenhum resultado expressivo referente a taxa de consumo de aço e variação do deslocamento vertical.

Palavras-Chave: Galpões De Uso Geral, Vigas Treliçadas, Consumo de Aço.

ABSTRACT

The use of cold formed steel profiles (CFS) in civil construction has grown significantly due to the high strength, low weight and ease in the manufacturing, assembly and production processes. Despite the development of construction methods and materials' technology, it is still possible to observe poorly designed roofs, which results in buildings with irregular consumption of materials and, in some cases, with unsatisfactory structural behavior. In this context, this work presents a study in which the optimization of three coverages of multisport courts, located in Rio Verde – GO was carried out. The optimization was arranged in two phases: in the first, three new models of flat frames were proposed and in the second stage, two distinct types of cross-section were suggested for the lattice roof beams. After the analysis of the results, it was verified that the change in the typology of the frames promoted the optimization of steel consumption in two of the three buildings analyzed, while the variation in cross section did not present any expressive result regarding the steel consumption rate and variation of vertical displacement.

Keywords: General Use Sheds, Lattice Beams, Steel Consumption.

1 INTRODUÇÃO

O projeto estrutural de edificações em aço é um dos principais documentos que garante a qualidade final do empreendimento. Patologias construtivas são evitadas quando o projeto apresenta um detalhamento completo de toda a fabricação, montagem e execução da estrutura, além do mais, quando se tem o detalhamento preciso de todas as etapas construtivas as chances de erros são minimizadas e o tempo de obra é encurtado.

Em obras como galpões de uso geral a estrutura tem uma representatividade considerável no orçamento da edificação, uma vez que, nesse tipo de construção, os elementos de acabamento geralmente são limitados e em certos casos não há nem alvenaria de vedação, por isso, para obtenção de resultados otimizados em relação ao consumo de materiais e comportamento estrutural, deve-se realizar uma avaliação minuciosa e um bom planejamento para a escolha da tipologia do pórtico, uma vez que de acordo com Silva e Nunes Filho (2021) o planejamento dentro da construção civil promove veracidade e objetividade.

Segundo Nogueira (2009) maior é a influência da tipologia estrutural do pórtico, em relação ao consumo de aço, à medida que se aumenta o vão livre, para Gupta e Sharma (2013) até o método de cálculo influencia no consumo de aço de coberturas metálicas formadas por treliças. Por isso o projetista deve ser muito criterioso na escolha do modelo matemático durante a fase de projeto.

Quando é habitual verificar as diversas soluções para um mesmo projeto, é possível alcançar resultados notáveis em relação ao consumo de materiais e comportamento estrutural de uma estrutura, porém nota-se que na prática isso não é muito comum.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi a otimização estrutural de três coberturas metálicas de quadras poliesportivas de pequeno e médio porte situadas em Rio Verde – GO, buscando demonstrar que a redução do consumo de aço é possível ser alcançada através da escolha apropriada do modelo de cálculo. Essa pesquisa também tem por objetivo guiar projetistas e estudantes que necessitem dimensionar galpões industriais em condições de contorno similares aos aqui estudados.

2 MÉTODO

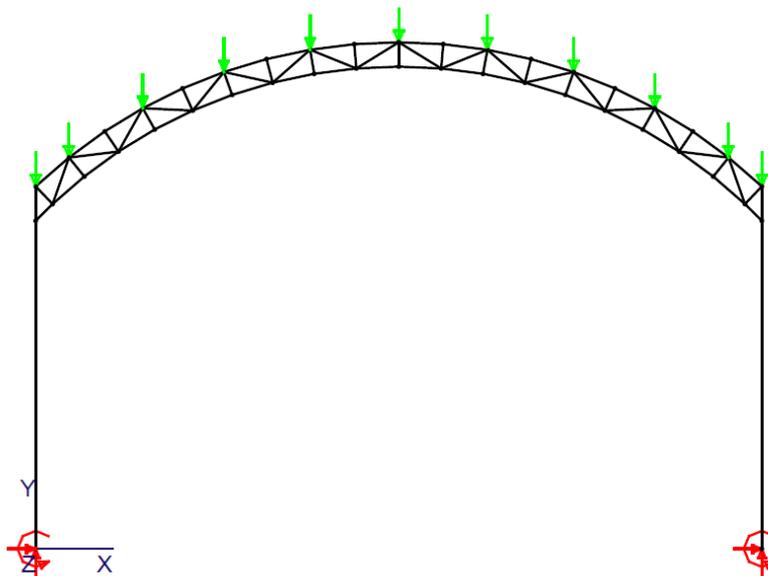
2.1 SOFTWARES UTILIZADOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o software Mastan2 (McGuire e Ziemian., 2000) por se tratar de uma ferramenta computacional de uso livre e com

capacidade satisfatória para verificações numéricas através da análise matricial de pórticos planos e tridimensionais. Na Figura 1 é ilustrado um modelo estrutural desenvolvido nesse software e verificado por meio da análise de primeira ordem. Nesse trabalho todos os cálculos foram realizados com modelos de pórticos planos e utilizando análise de primeira ordem elástica, uma vez que, segundo Nogueira (2009), estruturas de pequeno e médio porte, como as que aqui foram analisadas, apresentam bons resultados sob a análise de primeira ordem.

Os resultados obtidos no software Mastan2 foram validados pelo software Ftool v4.00.04 (Martha., 2002). Outro ponto importante a ser destacado é que o software Mastan2 foi utilizado apenas para obtenção dos esforços das barras e verificação dos deslocamentos dos pórticos planos. Para o dimensionamento dos perfis foi utilizado o software DimPerfil 4.0 (Silva et al., 2014).

Figura 1 – Representação de um modelo estrutural do software Mastan2

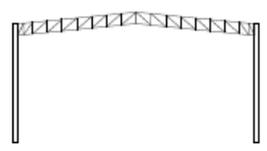
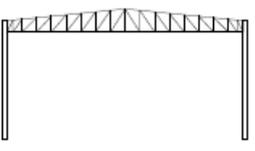


Fonte: Acervo dos Autores (2021).

2.2 MODELOS DE CÁLCULO

Para a análise e otimização das edificações selecionadas foram mantidos os parâmetros originais de cada estrutura como: vão transversal, distância entre pórticos, velocidade do vento, comprimento da edificação, altura dos pilares e vinculações das bases, em que para todos os modelos foram considerados pilares engastados na base e livres no topo. A otimização das coberturas metálicas foi realizada em duas etapas, na primeira, foram utilizadas diferentes tipologias estruturais com três diferentes modelos de pórticos: VTP, VTT e VTA, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Modelos estruturais teóricos

Modelos Estruturais			
Nomenclatura	Pórtico com viga de cobertura treliçada com banzos paralelos “VTP”	Pórtico com viga de cobertura treliçada trapezoidal “VTT”	Pórtico com viga de cobertura treliçada em arco “VTA”

Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Na segunda etapa da otimização foi realizado a análise de cada modelo variando a seção transversal das vigas treliçadas entre as seções 1 e 2. Em que a seção 1 corresponde as vigas treliçadas de cobertura compostas por diagonais e montantes utilizando perfil ‘U’, e a seção 2 é composta por perfil duplo ‘L’ nas diagonais e montantes. Conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Tipologia das seções transversais: (a) seção 1 (b) seção 2.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

2.3 GEOMETRIA DAS ESTRUTURAS ANALISADAS E AÇÕES ATUANTES

2.3.1 Edificações analisadas

Sabendo-se que os galpões industriais em aço possuem diversas funcionalidades, como: cobertura de quadras/ginásios, oficinas, estacionamentos, lojas, centros de distribuição, construções rurais, entre outros (PRAVIA; DREHMER e MESACASA, 2010), foram selecionadas estruturas que possuem tipo de uso similar, ou seja, que estão submetidas a solicitações similares durante a sua vida útil, dessa forma, foram selecionadas três coberturas metálicas de quadras poliesportivas.

A primeira Edificação de estudo foi a cobertura da quadra da praça Céu Azul, situada nas seguintes coordenadas -17,7549768 e -50,9098265, a mesma tem sua estrutura formada por pórticos trapezoidais com a seção da viga de cobertura formada por perfil ‘U’ nos banzos, e com perfis duplo ‘L’ nas diagonais e montantes. A segunda Edificação do trabalho foi a cobertura do ginásio do Residencial Gameleira II, situada nas seguintes coordenadas -17.8157284 e -50.9138879, essa estrutura é composta por arco parabólico com seção transversal da viga de cobertura formada com perfil duplo L afastados nas diagonais/montantes e banzos com perfil ‘U’. E a terceira Edificação da pesquisa foi a cobertura do ginásio do Módulo esportivo, situada a -17.7928981 e -50.9165692, a mesma tem sua estrutura formada por arco circular com seção transversal composta por perfil ‘U’ nos banzos, diagonais e montantes. Todas as edificações analisadas se encontram na cidade de Rio Verde, Goiás. A Figura 3 representa as três edificações.

Figura 3 – Coberturas analisadas: (a) quadra do Céu Azul; (b) ginásio do Gameleira e (c) cobertura do Módulo



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

2.3.1.1 Características geométricas das edificações analisadas

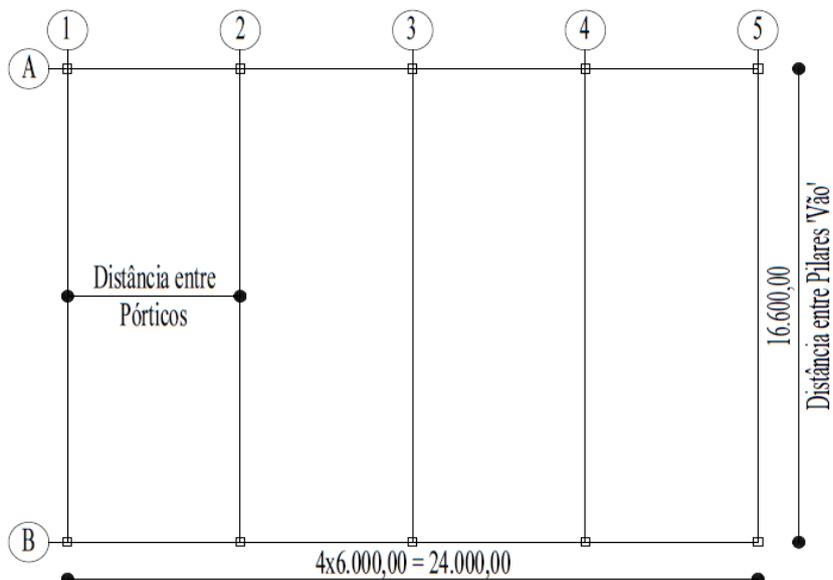
As dimensões das obras analisadas estão compiladas no Quadro 2.

Quadro 2. Características geométricas das edificações analisadas.

	Quadra da Praça Céu Azul	Ginásio do Gameleira	Módulo Esportivo
Vão livre	16,60 m	20,99 m	34,95 m
Distância entre pórticos	6,0 m	6,0 m	6,05m
Número de pórticos	5 Und	7 Und	9 Und
Comprimento Longitudinal	24,0 m	36,0 m	48,4 m
Pilares/seção	Metálico/2Uef 300x150x10x6,30 (mm)	Concreto/Seção Variável Base=20x60; Topo=20x170 (cm)	Concreto/20x65 (cm)

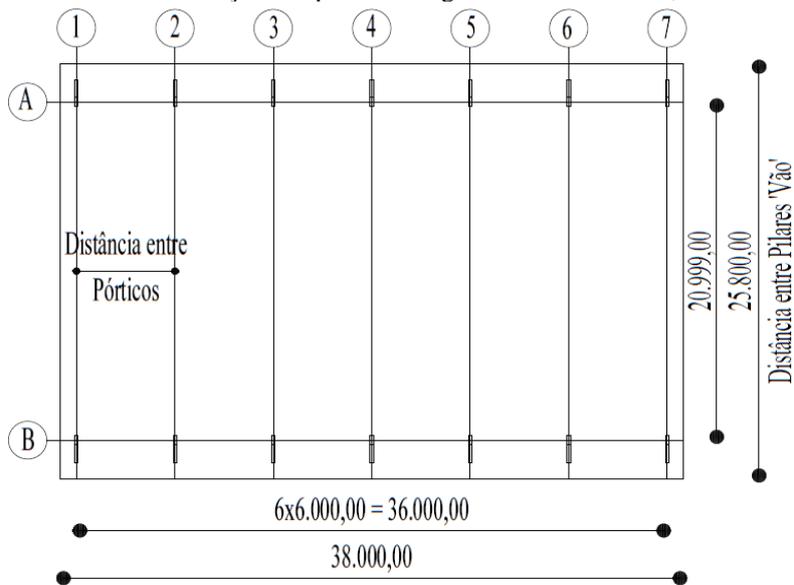
Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Figura 4 – Planta de localização dos pórticos da quadra do Céu Azul, medidas em mm.



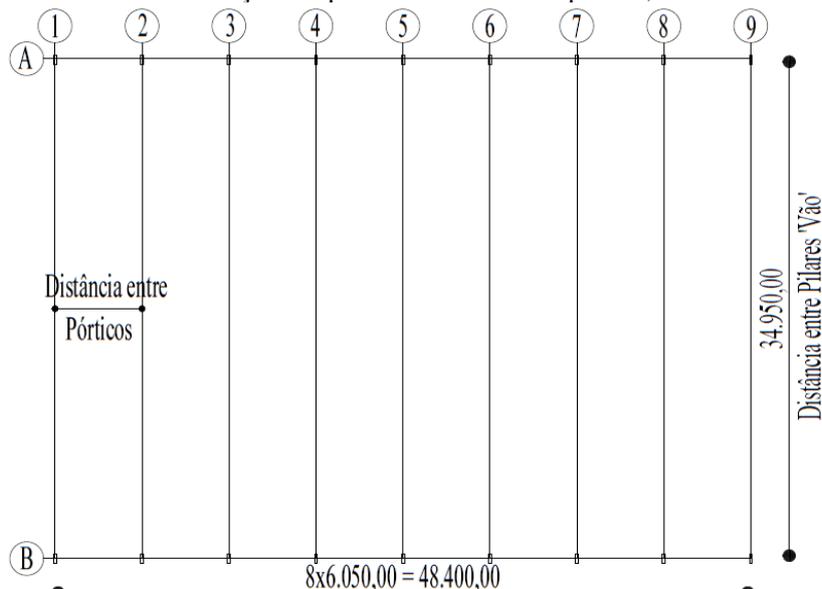
Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Figura 5 – Planta de localização dos pórticos do ginásio do Gameleira, medidas em mm.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Figura 6 – Planta de localização dos pórticos do Módulo esportivo, medidas em mm.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

As Figuras 4 a 6 representam a localização e número de pórticos transversais de cada uma das obras, em que a cota longitudinal é composta pela somatória das distâncias teóricas entre pórticos e a cota transversal representa o vão teórico entre pilares, os eixos alfabéticos representam os eixos centrais dos pilares no sentido longitudinal e os eixos numéricos representam os eixos centrais dos pilares no sentido transversal.

2.3.2 Ações atuantes

As ações para efeito de cálculo de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010) são divididas em ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais. Para a análise de estruturas como as coberturas metálicas deste trabalho, geralmente não são consideradas as ações excepcionais, pois, são ações com uma probabilidade muito baixa de ocorrer na vida útil de uma edificação, tais como explosões, enchentes, choques de veículos ou embarcações, e etc.

As ações permanentes (G) para galpões de uso geral são as ações provenientes do peso próprio dos elementos estruturais e dos materiais/elementos constituintes da edificação.

As ações variáveis (Q) correspondem as ações que proporcionam efeitos significativos na edificação durante sua vida útil, para os modelos analisados as ações variáveis são a sobrecarga da cobertura e a ação do vento. Para a sobrecarga a NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda 0,25 kN/m². E para a ação dos ventos utilizou-se as prescrições da NBR 6123 (ABNT, 1988).

2.3.2.1 Ação do vento

A análise do vento é uma parte essencial para o estudo das edificações e modelos teóricos, uma vez que, de acordo com Maraveas e Tsavdaridis (2019) o desenvolvimento de danos permanentes em coberturas metálicas pode ser atribuído a fatores ambientais como o vento. A ação do vento nas coberturas analisadas seguiu as características da NBR 6123 (ABNT, 1988). Nessa pesquisa foi considerada a velocidade básica do vento igual $V_0 = 35$ m/s, que representa a velocidade básica de Rio Verde – GO no mapa das isopletas da norma brasileira.

Para a análise dos esforços foram verificados dois casos distintos: edificação com planta regular com cobertura de duas águas e edificação com planta regular com cobertura em arco, em todas as análises estruturais a pressão interna, C_{pi} , foi de 0 ou -0,30 (considerando o valor mais nocivo entre os dois).

2.4 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

A análise dos pórticos planos foi realizada de forma sistêmica, onde verificou-se a combinação mais desfavorável dos esforços em cada peça separadamente, com posterior análise dos deslocamentos.

O dimensionamento dos perfis estruturais foi realizado de acordo com as prescrições da NBR 14762 (ABNT, 2010), dentre os distintos métodos apresentados pela norma foi utilizado o método das larguras efetivas (MLE), por se tratar do método de cálculo utilizado pelo software DimPerfil 4.0.

Todas as considerações de cálculo das obras e dos modelos otimizados foram baseadas na hipótese que as estruturas eram formadas por aço CF - 26, devido à incerteza do tipo de aço utilizado nas edificações, dessa forma, foi considerado esse material por ser um aço mais comum nas obras e por se tratar de um dos aços com as resistências próximas as mínimas requeridas para as tipologias de aço estrutural, conforme as características da NBR 6650 (ABNT, 2014).

2.4.1 Combinações empregadas

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) o carregamento para uma estrutura é definido pela combinação de ações que tem uma probabilidade não desprezível de atuar sobre a estrutura durante a sua vida útil. Os coeficientes de ponderação são retirados da NBR 14762 (ABNT, 2010). De acordo a seguinte expressão:

$$F_d = \sum(\gamma_{Gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum(\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (1)$$

Em que:

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

$F_{Q1,k}$: 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 com a ação variável principal.

Para a pesquisa foram utilizadas as seguintes combinações:

$$1^\circ 1,25 \cdot PP + 1,35 \cdot CP + 1,5 \cdot SC + 1,4 \cdot 0,6 \cdot V_0 \quad (2)$$

$$2^\circ 1,25 \cdot PP + 1,35 \cdot CP + 1,5 \cdot SC + 1,4 \cdot 0,6 \cdot V_{90} \quad (3)$$

$$3^\circ 1,25 \cdot PP + 1,35 \cdot CP + 1,4 \cdot V_0 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot SC \quad (4)$$

$$4^\circ 1,25 \cdot PP + 1,35 \cdot CP + 1,4 \cdot V_{90} + 1,5 \cdot 0,8 \cdot SC \quad (5)$$

$$5^\circ 1,0 \cdot PP + 1,0 \cdot CP + 1,4 \cdot V_0 \quad (6)$$

$$6^\circ 1,0 \cdot PP + 1,0 \cdot CP + 1,4 \cdot V_{90} \quad (7)$$

$$7^\circ 1,25 \cdot PP + 1,35 \cdot CP + 1,5 \cdot SC \quad (8)$$

Em que:

PP_ Peso Próprio;

CP_ Carga Permanente;

SC_ Sobrecarga de utilização;

V0_ Vento paralelo a geratriz longitudinal;

V90_ Vento perpendicular a geratriz longitudinal.

As combinações acima são referentes ao ELU (estado limite último), para o ELS (estado limite de serviço) foi usado a seguinte combinação:

ψ_{2j} : Fator de redução de ações;

$$F_d = \sum F_{Gi,k} + \sum (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (9)$$

$$1^\circ PP + CP + 0,6 \cdot SC \quad (10)$$

2.5 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

A análise dos pórticos planos foi realizada de forma sistêmica, onde verificou-se a combinação mais desfavorável dos esforços em cada peça separadamente, com posterior análise dos deslocamentos.

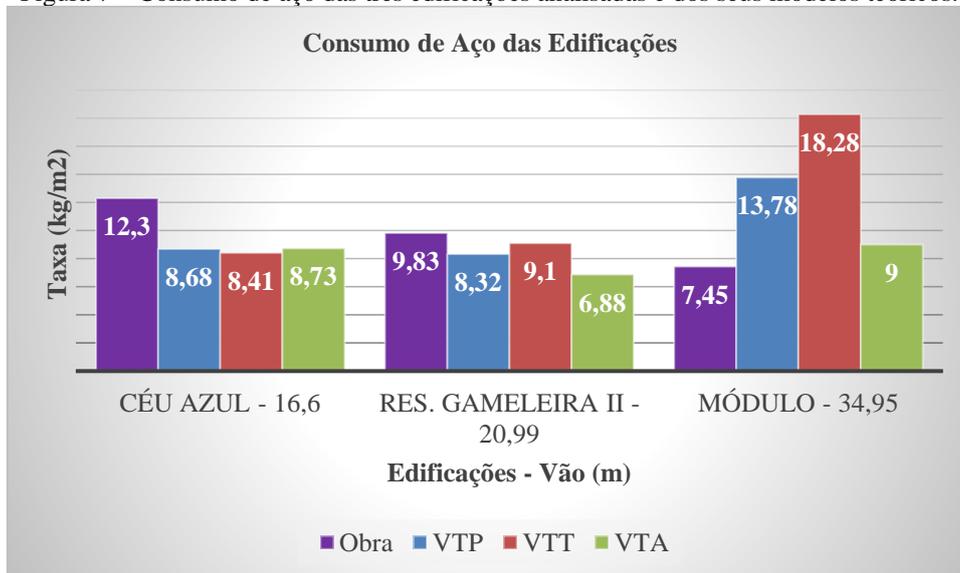
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO

3.1.1 Variação da taxa de consumo de aço das edificações devido à alteração da tipologia dos pórticos

A taxa de consumo de aço é a relação do peso da cobertura com a projeção horizontal da área de atuação de cada pórtico. No caso, para o levantamento do peso da cobertura foram contabilizados todos os elementos da mesma com exceção dos pilares, pois dois dos três casos analisados possuem pilares de concreto. Na Figura 8 apresenta-se a taxa de consumo de aço das edificações existentes comparadas com as taxas dos modelos teóricos, lembrando que nessa primeira análise não houve variação da seção transversal das vigas de cobertura.

Figura 7 – Consumo de aço das três edificações analisadas e dos seus modelos teóricos.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Quadro 3. Comparativo do consumo de aço referente aos dados da Figura 7

Relação do Consumo de Aço Entre a Obra e os Modelos Teóricos		
	Média do consumo de aço das tipologias teóricas em relação a obra	Desvio Padrão do consumo de aço da obra e dos modelos teóricos
Céu Azul	0,7	1,6
Res. Gameleira II	0,82	1,09
Módulo	1,84	4,25

Fonte: Acervo dos Autores (2021).

No Quadro 3 é possível verificar a diferença do consumo de aço dos modelos teóricos com a edificação existente, conforme observado na Figura 7. Na primeira coluna é retratado a média de peso dos modelos teóricos em relação ao peso da obra, nessa coluna

percebe-se que nas coberturas do Céu Azul e do Gameleira a média do consumo de aço dos modelos teóricos foi 30% e 28% menor do que o consumo de aço da obra, respectivamente, já na edificação do Módulo a média de consumo de aço das tipologias teóricas foi 84% superior ao consumo de aço da cobertura existente.

Na segunda coluna está representado o desvio padrão do consumo de aço dos modelos teóricos juntamente com o consumo da obra, esses dados indicam uma maior uniformidade de consumo na cobertura do Gameleira seguido pelas coberturas do Céu Azul e do Módulo, respectivamente.

Na quadra do Céu Azul percebe-se que o consumo de aço da obra está mais elevado em relação aos modelos teóricos propostos, cerca de 40,89% maior do que o modelo VTA (segundo mais pesado), isso ocorre devido ao uso de perfis mais robustos para a construção das vigas treliçadas de cobertura.

Com relação ao ginásio do Gameleira nota-se que os valores estão mais homogêneos, porém a obra ainda foi a tipologia mais pesada, uma vez que apresentou uma maior taxa de consumo de aço, cerca de: 18,15%, 8,0% e 42,88% maior do que os modelos VTP, VTT e VTA, respectivamente. Isso ocorre devido a diferença de perfis entre os modelos.

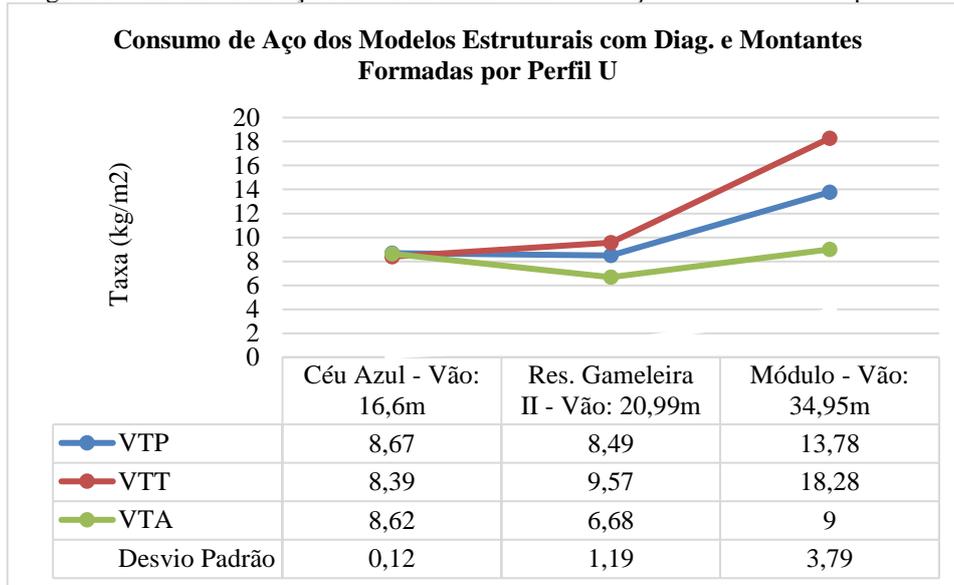
No Módulo Esportivo, percebe-se que a Obra foi a que apresentou a menor taxa de consumo de aço, cerca de 17,22% inferior em relação ao modelo VTA (o segundo mais leve), isso ocorre porque a cobertura existente apresenta altura da seção reduzida, pois de acordo com o que foi verificado no trabalho de Nogueira (2009), os arcos são pré-dimensionados com altura em torno de $L/30$, algo próximo a 116,5 cm para o vão de 34,95m, e a cobertura em questão se encontra com uma altura de 78 cm.

A altura da seção transversal reduzida pode levar a diminuição da rigidez da estrutura dessa cobertura, pois para Song et al. (2019) a altura e o comprimento são fatores que alteram significativamente a rigidez de uma viga treliçada. O que justifica a maior taxa de consumo de aço dos modelos teóricos, visto que os mesmos foram dimensionados com altura da seção proporcional ao vão.

3.1.2 Variação da taxa de consumo de aço das edificações devido a alteração da tipologia dos pórticos e seção transversal das vigas de cobertura

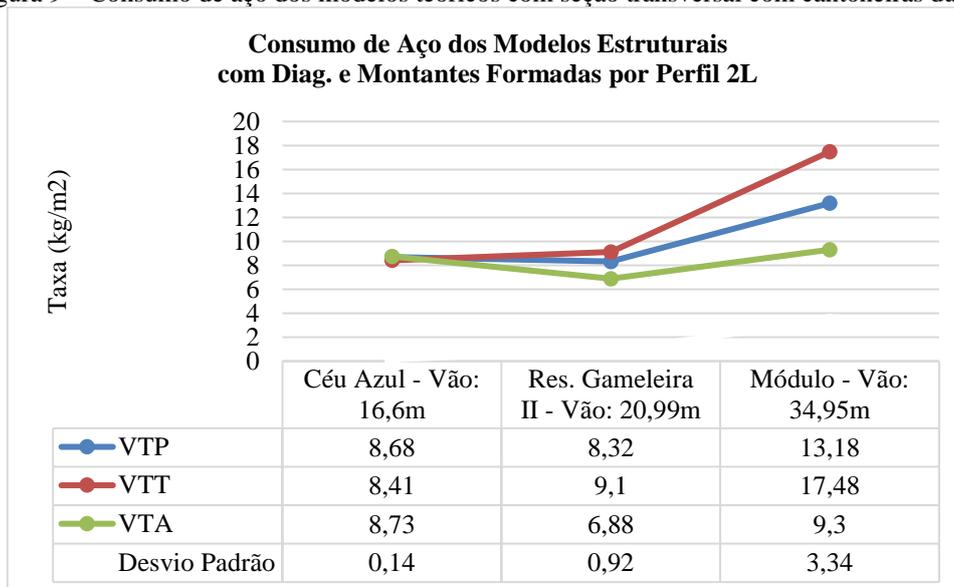
Nas Figuras 8 e 9 estão representadas as taxas de consumo de aço dos modelos teóricos formados por vigas treliçadas de cobertura com seção transversal com diagonais e montantes com perfis U e duplo L, respectivamente:

Figura 8 – Consumo de aço dos modelos teóricos com seção transversal com perfil ‘U’



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Figura 9 – Consumo de aço dos modelos teóricos com seção transversal com cantoneiras duplas.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Nas Figuras 8 e 9, nota-se que os três modelos de pórticos propostos para otimização das edificações estudadas obtiveram resultados similares, em relação ao consumo de aço, para o vão de 16,6 m. E à medida que o vão aumentou os resultados ficaram cada vez mais dispares, conforme é possível observar nos dados do desvio padrão, referente ao consumo de aço, de cada uma das coberturas estudadas.

Analisando as duas figuras também é possível verificar a diferença da taxa de consumo de aço entre as seções transversais 1 e 2 para cada um dos modelos de pórticos. Nessa comparação nota-se que a diferença de consumo de aço com a variação da seção

não foi expressiva, conforme é possível verificar nos resultados da relação do consumo de aço da seção 1 com a 2 apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Relação da taxa de consumo de aço das seções U (seção 1) e 2L (seção 2)

Relação do consumo de aço: seção 1/ seção 2			
	Céu Azul	Res. Gameleira II	Módulo
VTP	0,999	1,02	1,046
VTT	0,998	1,052	1,046
VTA	0,987	0,971	0,968

Fonte: Acervo dos Autores (2021).

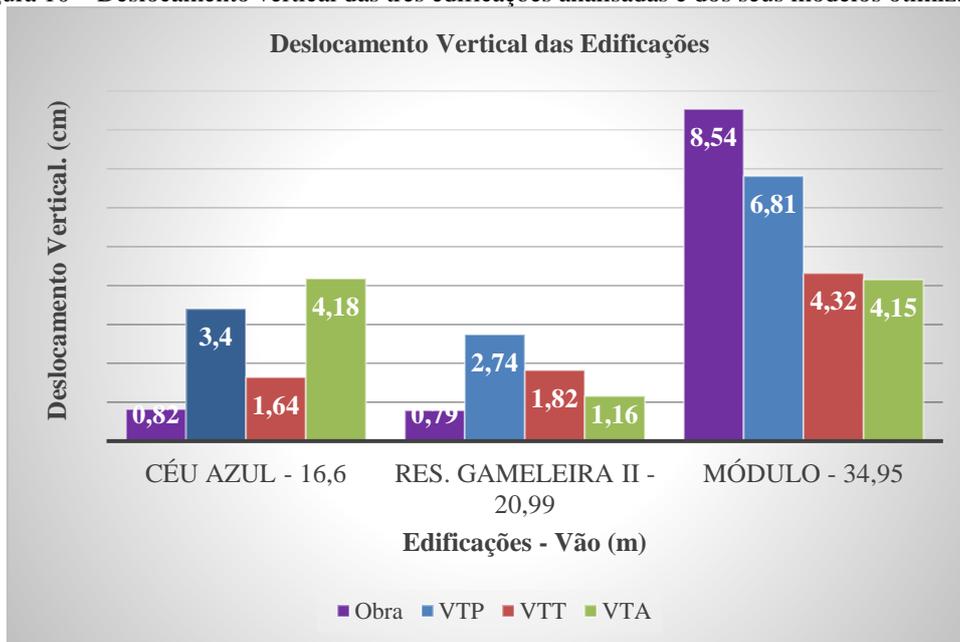
No Quadro 4 é possível observar que todos os valores para as três edificações analisadas e para os três modelos teóricos estão próximos de '1', ou seja, a variação da taxa de consumo de aço quase não mudou devido a variação da tipologia da seção transversal das vigas treliçadas de cobertura. Nessa tabela nota-se também que a seção 1 obteve um maior consumo de aço para as coberturas do Gameleira e do Módulo quando associada aos modelos VTP e VTT, para todos os outros casos a mesma foi a mais econômica.

3.2 DESLOCAMENTOS VERTICAIS

3.2.1 Variação do deslocamento vertical das edificações devido a alteração da tipologia dos pórticos

O deslocamento vertical também é um parâmetro essencial para analisar o comportamento estrutural das obras selecionadas e dos modelos teóricos propostos como meio de otimização, além de auxiliar na predição de falhas de elementos estruturais, conforme verificado por Kooi e Hoult (2018) que observaram a diferença no deslocamento entre uma treliça padrão com e sem elementos avariados. Nesse sentido, a Figura 10 representa os deslocamentos verticais das edificações em estudos e dos modelos de pórticos analisados apenas, ou seja, não há comparação entre seções neste gráfico.

Figura 10 – Deslocamento vertical das três edificações analisadas e dos seus modelos otimizados.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Quadro 5. Comparativo do deslocamento vertical referente aos dados da Figura 11

Relação do Deslocamento Vertical entre a Obra e os Modelos Teóricos		
	Média do deslocamento vertical das tipologias teóricas em relação a obra	Desvio Padrão do deslocamento vertical da obra e modelos teóricos
Céu Azul	3,75	1,34
Res. Gameleira II	2,41	0,74
Módulo	0,6	1,83

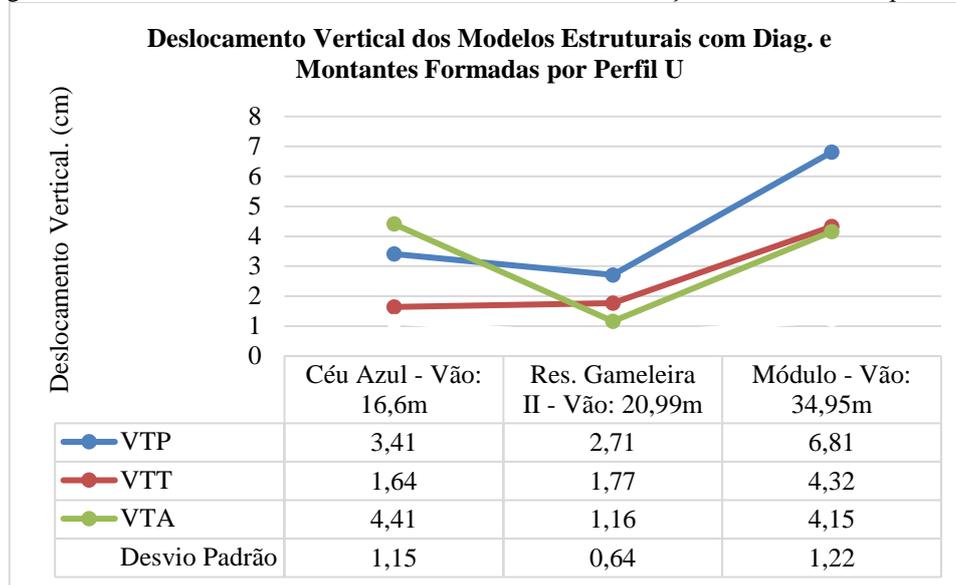
Fonte: Acervo dos Autores (2021).

No Quadro 5 é possível verificar a diferença do deslocamento vertical dos modelos teóricos com a edificação existente, conforme observado na Figura 10. Na primeira coluna é retratado a relação entre a média de deslocamento vertical, dos modelos teóricos, com o deslocamento vertical da obra, nessa coluna percebe-se que nas coberturas do Céu Azul e do Gameleira a média do deslocamento vertical dos modelos teóricos foi 275% e 141% maior do que o deslocamento vertical da edificação existente, respectivamente, enquanto que na cobertura do Módulo a média de deslocamento vertical das tipologias teóricas foi 40% menor.

Na segunda coluna está representado o desvio padrão do deslocamento vertical dos modelos teóricos juntamente com o da obra, esses dados indicam uma maior uniformidade de deslocamento vertical na cobertura do Gameleira seguido pelas coberturas do Céu Azul e do Módulo, respectivamente.

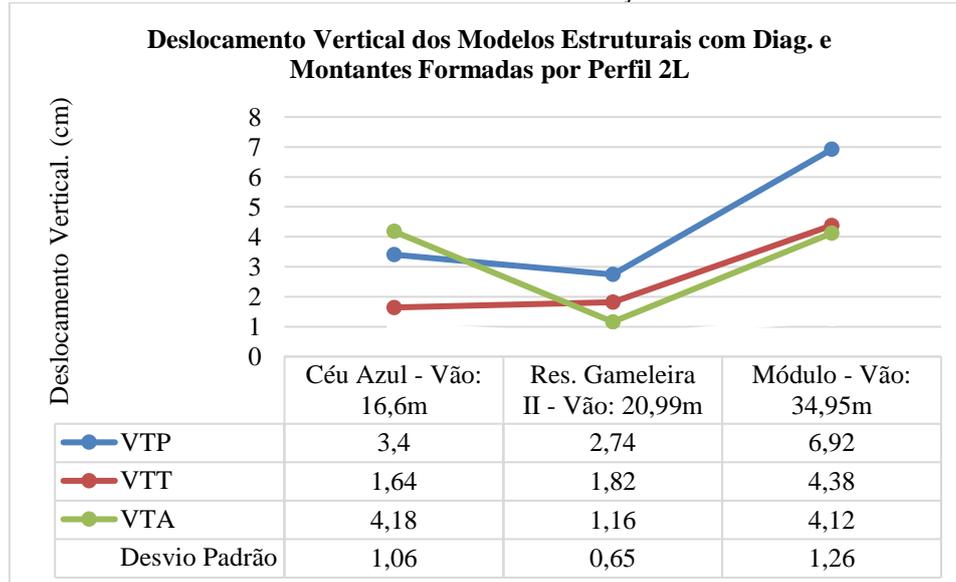
3.2.2 Variação do deslocamento vertical das edificações devido a alteração da tipologia dos pórticos e seção transversal das vigas de cobertura

Figura 11 – Deslocamento vertical dos modelos teóricos com seção transversal com perfil ‘U’.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Figura 12 – Deslocamento vertical dos modelos teóricos com seção transversal com cantoneiras duplas.



Fonte: Acervo dos Autores (2021).

Nas Figuras 11 e 12 nota-se que para vãos próximos de 15 metros o modelo VTT apresenta os menores deslocamentos verticais, enquanto que para os vãos próximos de 20 e 35 metros o modelo VTA é o que apresenta melhores resultados. É possível notar também, que essas duas tipologias VTT e VTA apresentaram deslocamentos similares para os vãos de 20,99 e 34,95 metros, e que a tipologia VTP foi a que apresentou os piores resultados para as análises de deslocamento vertical.

Nas Figuras 11 e 12 observa-se também o desvio padrão referente ao deslocamento vertical de cada uma das edificações analisadas, esses dados mostram que os modelos teóricos da cobertura do Res. Gameleira II foram os que apresentaram a maior uniformidade de deslocamento vertical, seguidos pelos modelos propostos da quadra do Céu Azul e do Módulo, respectivamente.

Outra informação importante a ser observadas nas Figuras 11 e 12 é a diferença de deslocamento entre as seções 1 e 2, conforme demonstrado no Quadro 6.

Quadro 6. Relação do deslocamento vertical das seções U (seção 1) e 2L (seção 2)

Relação do deslocamento vertical: seção 1/ seção 2			
	Céu Azul	Res. Gameleira II	Módulo
VTP	1,003	0,989	0,984
VTT	1	0,973	0,986
VTA	1,055	1	1,007

Fonte: Acervo dos Autores (2021).

No Quadro 6 nota-se que todos os resultados estão próximos de '1', isso mostra que a variação da seção transversal das vigas treliças de cobertura pouco alteraram os resultados de deslocamento vertical.

Dentro da variação do deslocamento vertical proveniente da modificação das seções transversais é possível notar que: na cobertura da quadra do Céu Azul as tipologias que utilizaram a seção 2 apresentaram menores deslocamentos verticais, para os modelos VTP e VTA. Já em relação à cobertura do ginásio do Gameleira a seção 1 foi a que obteve melhores resultados. E com relação aos modelos da cobertura do Módulo Esportivo nota-se que a seção 1 apresentou menores deslocamentos verticais para os modelos VTP e VTT.

3.3 PANORAMA GERAL DAS EDIFICAÇÕES E MODELOS ANALISADOS

No Quadro 7 está descrito os modelos otimizados das coberturas, ou seja, ele mostra a associação, entre tipologia de pórtico e seção transversal, que obteve o melhor resultado para cada uma das edificações analisadas, levando em consideração a taxa de consumo de aço e a variação dos deslocamentos verticais.

Quadro 7. Modelos otimizados das edificações analisadas

Modelos Otimizados		
Edificações	Modelo	Seção Transversal
Céu Azul	VTT	Diag./Mont. c/ perfil 'U'

Gameleira	VTA	Diag./Mont. c/ perfil 'U'
Módulo Esportivo	VTA	Diag./Mont. c/ perfil 'U'

Fonte: Acervo dos Autores (2021).

4 CONCLUSÃO

A escolha do modelo estrutural pode trazer uma economia notável de material associada a um bom desempenho estrutural, conforme verificado nas coberturas do Céu Azul e Gameleira em que os modelos otimizados apresentaram economia no consumo de aço, em relação a obra, de 31,6% e 30,0%, respectivamente. Outro ponto a ser destacado é que a variação da tipologia dos pórticos foi a maior responsável por otimizar as coberturas estudadas, visto que esta resultou em uma economia média, no consumo de aço, de 30,03% e 17,60% nas edificações do Céu Azul e Gameleira, respectivamente. Enquanto que a permuta entre a seção 1 e 2 produziu uma variação média, nos modelos teóricos, de 0,53% e 3,37% nessas coberturas. Quanto ao deslocamento, os resultados mais satisfatórios também foram provenientes da mudança dos modelos de pórticos (VTP, VTT e VTA). Assim, esse estudo mostra a importância da escolha correta do modelo estrutural para os galpões de uso geral, uma vez que, é possível aliar segurança com uma apreciável economia de aço quando é verificado qual é a melhor tipologia estrutural para uma determinada edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6650. Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural - especificação. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14762. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6355. Perfis estruturais de aço formados a frio - padronização. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8800. Projeto de estruturas de aço e de estrutura mistas de aço e concreto de edifícios procedimento. Rio de Janeiro, 2008.

GUPTA, Trilok; SHARMA, Ravi k. Alalysis of insustrial sheds using diferente design philosophies. **International Journal of Research in Advent Techonology**, v. 1, p. 434-443, dezembro. 2013.

KOOI, Kyle van Der; HOULT, Neil A.. Assessment of a steel model truss using distributed fibre optic strain sensing. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 171, p. 557-568, set. 2018. Elsevier BV.

MARAVEAS, C.; TSAVDARIDIS, K.d.. Assessment and retrofitting of an existing steel structure subjected to wind-induced failure analysis. **Journal Of Building Engineering**, [s.l.], v. 23, p.53-67, maio 2019. Elsevier BV.

MARTHA, L. F. **Ftool: A Frame Analysis Educational Software**. Rio de Janeiro, Brasil. 2002

MCGUIRE, W., GALLAGHER, R. H., ZIEMIAN, R. D. **Matrix Structural Analysis**, 2nd Edition, 2000.

NOGUEIRA, Gilcimar Saraiva. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio**. 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado em estruturas) - Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009.

PRAVIA, Z.M.C; DREHMER, G.A; MESCASA, E.J. Manual de construção em aço: **Galpões para usos gerais**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA. 2010.

SILVA, Caroline Santos da; NUNES FILHO, Fernando Barreto. Construção day hospital do hgrs: ações preventivas para evitar a contaminação do ambiente hospitalar. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 9, p. 87302-87319, 3 set. 2021.

SILVA, E. L; PIERIN, I; PIGNATTA, V. S. Manual de construção em aço: **Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme NBR 14762 e NBR 6355**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2014.

SONG, Linlin et al. Flexural behavior investigation of the CFS truss beams with self-piercing riveted connection. **Journal Of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 156, p.28-45, maio 2019. Elsevier BV.