

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE DA MONTAGEM DE PAVILHÕES EM ESTRUTURAS DE AÇO, TOTAL E PARCIALMENTE PARAFUSADOS

Domingos Jorge Ferreira da Silva
domingosjsilva@ufgd.edu.br
Lucas Torquato Santos
Lucastorquato1@outlook.com

RESUMO - Este trabalho tem como finalidade a análise comparativa da viabilidade econômica entre dois métodos construtivos de estruturas em aço, sendo o primeiro método estruturas com ligações parcialmente parafusadas, que utiliza os processos de corte, dobra, perfuração, solda, pintura e montagem, no processo de fabricação das peças, para dar origem a partes da estrutura, sendo posteriormente montada na obra, pelo processo de parafusação. Já o segundo método, as estruturas com ligações totalmente parafusadas, utiliza dos mesmos processos do primeiro método, porém excluindo pôr completo o uso de solda, com a montagem de todas as peças ocorrendo *in loco*, também por parafusação. O estudo de comparação tomou como base pavilhões industriais genéricos de pequeno, médio e grande porte, abrangendo as fases iniciais da construção de uma obra, tais como os projetos de escopo, fabricação, transporte, montagem. Os resultados foram apresentados de modo a comparar os dois métodos listados, demonstrando a vantagem econômica entre os métodos construtivos exemplificado pelos três diferentes tipos de porte de obra. Com orçamento realizado em duas diferentes empresas, após comparar os métodos obteve-se uma economia de até 35% com a exclusão da solda, sendo o método totalmente parafusado o mais viável economicamente.

Palavras-chave: Estruturas em aço. Métodos construtivos. Viabilidade econômica.

ABSTRACT - The purpose of this work is the comparative analysis of the economic viability between two construction methods of steel structures, the first method being structures with partially screwed connections, which uses the processes of cutting, bending, drilling, welding, painting and assembly in the process of manufacture of the parts, to give rise to parts of the structure, which is later assembled on site by the screwing process. The second method, the structures with fully screwed connections, uses the same processes as the first method, but excluding the complete use of welding, with the assembly of all parts occurring on site, also by screwing. The comparative study was based on small, medium and large generic industrial halls, covering the initial stages of building construction, such as scope, fabrication, transportation, and assembly projects. The results were presented in order to compare the two me-

thods listed, demonstrating the economic advantage between the construction methods exemplified by the 3 different types of work size. With a budget made in two different companies, after comparing the methods, savings of up to 35% were achieved by excluding the weld, and the fully screwed method is the most economically viable.

Keywords: Steel structures. Constructive methods. Economic viability.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Bellei (1998), com o aparecimento de novas tecnologias de produção e usinagem do aço, começaram a surgir, em meados de 1750, as primeiras construções em estruturas de aço. Com o passar do tempo, e o aperfeiçoamento da fabricação e dos processos construtivos, o aço tornou-se presente em todos os ramos da construção civil, tanto por sua alta resistência a diversos estados de tensão (tração, compressão, etc.), quanto ao seu peso relativamente inferior, quando comparado com estruturas de concreto armado.

No Brasil, o aço desempenha um papel de elevada importância em obras de um único pavimento, tanto para destinação comercial, quanto industrial. Dentro desse segmento, encontra-se no topo o uso de Galpões de Pórtico em Aços (GPA), que se apresenta como uma solução versátil, prática e econômica, para suprir a necessidade de grandes vãos, com uma grande área coberta.

Dentro do processo de fabricação de um GPA, estão envolvidas diversas etapas até realmente ele ser montado no local definido.

Anexo a essas etapas, está o processo de corte, que ocorre quando o material é fornecido com comprimento maior do que o necessário, e deve ser enviado para as tesouras, serras ou unidades de corte, para ajustar seu comprimento com exigido. Já o processo de dobra contempla a formação dos perfis estruturais, podendo ser dobrados a frio ou a quente. O processo de perfuração, consiste em abrir orifícios nas peças, para posteriormente ser unida as demais, com parafusos de alta resistência. Todos estes processos são contemplados pelos métodos parcial e totalmente parafusados, com a diferença entre eles sendo a exclusão do processo de solda no método totalmente parafusado.

Uma das particularidades das estruturas em aço que influenciam diretamente o seu custo, são as ligações utilizadas entre as peças para gerar grandes pórticos, ou treliças. Dentro dessas ligações, a mais usual é a ligação soldada por processo de fusão por arco voltaico, o qual utilizada um eletrodo e um equipamento de solda elétrica para unir as peças da estrutura, durante o seu processo de fabricação, na indústria. Esse processo,

por seu alto grau de importância no projeto, exige uma mão-de-obra capacitada, e grandes fontes de energia, para poder atingir a qualidade exigida pelas normas, encarecendo o processo de fabricação.

A Figura 1 demonstra uma ligação do tipo soldada no encontro das duas diagonais com o banzo superior, que fora realizada na fábrica e logo a baixo duas ligações parafusadas, realizadas no canteiro de obra.

Figura 1. Passarela Parcialmente Parafusada.



Fonte: (PROMETAL ESTRUTURAL, 2018).

Dentro do ramo das ligações existe um método alternativo para unir a estrutura, as ligações parafusadas. Esse método consiste em unir as peças, através de furos na seção das mesmas, com parafusos específicos que apresentam altas resistências à solicitação de esforços, sendo empregado no processo de montagem da estrutura, não necessitando de qualquer outro serviço complementar nessa parte. Com esse processo construtivo consegue-se reduzir os custos de produção, devido a simplicidade do procedimen-

to, não necessitando de uma mão-de-obra qualificada e podendo ser executada em qualquer local da obra, sem restrições.

A Figura 2 demonstra a ligação de um método totalmente parafusado, o qual necessitou de uma realocação dos perfis, devido a substituição da solda pelo parafuso.

Figura 2. Galpão Parafusado – Ninponflex Espumação.



Fonte: (BERTI ESTRUTURAL¹, 2018).

As ligações soldadas contemplam um grande valor no preço final do processo de produção de estruturas em aço, com isso surge a necessidade de se prever um método o qual possa substituir a solda, apresentando as mesmas características de resistência e segurança, porém com um preço de produto final mais econômico, tornando a estrutura de aço ainda mais competitiva.

Este trabalho tem como objetivo efetuar o comparativo de custos de Galpões de Pórticos Treliçados em Aço. Dois diferentes métodos foram considerados: o primeiro confeccionado parcialmente com ligações do

¹ Acesso em: <<http://bertiestructural.com.br/obra/21/nipponflex-espumacao-.html>>

tipo soldadas (fabricação) e parafusadas (montagem), e o segundo com ligações totalmente do tipo parafusadas, em diferentes dimensões e portes de obra (pequeno, médio e grande porte), localizados na zona industrial da cidade de Dourados no Mato Grosso do Sul.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GALPÕES EM PÓRTICOS DE AÇO (GPA)

2.1.1 DEFINIÇÃO

Os galpões ou edifícios industriais são construções em aço geralmente de um único pavimento, constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas ao uso comercial (lojas, estacionamentos, centros de distribuição, entre outros), uso industrial, agrícola ou outras aplicações (DREHMER e MESACASA, 2010).

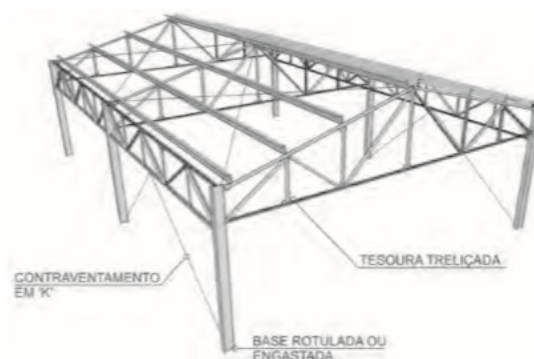
2.1.2 TIPOS DE GALPÕES EM PÓRTICO

Existem dois tipos básicos de galpões em pórticos, definidos em função do tipo de estrutura transversal portante: os pórticos de alma cheia, que utilizam os perfis maiores laminados ou soldados como elementos principais da estrutura, e os pórticos treliçados, que empregam perfis menores formando re-

ticulados em treliça para compor os elementos principais da estrutura (PINHO, 2008).

Ao tratar de edifícios industriais denominados comumente de galpões, na verdade um espaço horizontal a ser protegido, há algumas alternativas à disposição da cobertura. A primeira é mais simples: as coberturas duas águas com o uso de tesouras ou treliças (estas apenas assim denominadas por possuírem banzos paralelos). Nesta mesma condição se encontram aqueles que apenas usam perfis I laminados ou soldados (DREHMER e MESACASA, 2010). A Figura 1 apresenta coberturas em duas águas com o uso de tesouras ou treliças, e a Figura 2 apresenta coberturas duas águas com perfis I laminados ou soldados.

Figura 3. Edifício industrial duas águas com cobertura de tesoura e colunas em perfil I.



Fonte: (DREHMER e MESACASA 2010).

Figura 4. Edifício industrial de duas águas com perfis I laminados ou soldados.



Fonte: (DREHMER e MESACASA 2010).

2.1.3 CONSIDERAÇÕES PARA O PROJETO DO GPA

Tradicionalmente o aço tem sido vendido por tonelada e, conseqüentemente, discutindo-se o custo de uma estrutura de aço impõe-se que se formulem seus custos por toneladas de estrutura acabada. Só que se ignora o fato de um grande número de fatores que têm influência significativa no custo final, por tonelada, de uma peça de aço fabricada (BELLEI, 1998).

Em um projeto de GPA, são levados em considerações um grande número de fatores que também se relacionam com o custo final da obra, e que devem ser pontuados em três etapas do processo, sendo a primeira, a fase de concepção de projeto, que segundo PINHO (2008), onde são decididas as principais dimensões caracterizando o porte da obra. Logo após ocorre o pré-dimensionamento ou projeto preliminar, realizando uma estimativa de pesos e ações relevantes para o detalhamento do projeto final da obra, e por último o projeto executivo, quando ocorre o

dimensionamento final, levando em consideração todas as cargas aplicadas sobre a estrutura, definindo os perfis e os tipos de ligações a serem utilizados.

2.1.4 CARGAS

Para a concepção de projeto de um GPA, torna-se necessário a consideração de cargas aplicadas sobre a estrutura, presididas pelas Normas Regulamentadoras Brasileiras (NBR's), sendo elas a NBR 6120, NBR 8800, NBR 6123, combinadas na situação mais crítica.

2.2 LIGAÇÕES SOLDADAS

2.2.1 DEFINIÇÃO

A solda é um tipo de união por coalescência do material, obtida por fusão das partes adjacentes. A energia necessária para provocar a fusão pode ser de origem elétrica, química, óptica ou mecânica. As soldas mais empregadas na indústria de construção são as provenientes de energia elétrica. Em geral a fusão do aço é provocada pelo calor produzido por um arco voltaico. Nos tipos mais usuais, o arco voltaico se dá entre um eletrodo metálico e o aço a soldar, havendo deposição do material do eletrodo (PFEIL e PFEIL, 2009, p. 90).

O material fundido deve ser isolado da atmosfera para evitar formação de impurezas na solda. O isolamento pode ser feito de diversas maneiras; as mais comuns são eletrodo manual revestido, arco submerso

em material granular fusível, arco elétrico com proteção gasosa (também conhecido como *MIG/MAG-Metal Inert Gas / Metal Active Gas* e arco elétrico com fluxo no núcleo (PFEIL e PFEIL, 2009, p. 90).

A solda de eletrodo manual revestido é a mais utilizada na indústria. O processo apresenta enorme versatilidade, podendo ser empregado tanto em instalações industriais pesadas quanto em pequenos serviços de campo (PFEIL e PFEIL, 2009, p. 90).

2.2.2 VANTAGENS

- a) A primeira grande vantagem está na economia do material, porque o uso de soldagem permite o aproveitamento total do material (área líquida² = área bruta³). As estruturas soldadas permitem eliminar uma grande percentagem de chapas de ligação em relação às estruturas parafusadas (BELLEI, 1998, p. 23).
- b) As estruturas soldadas são mais rígidas, porque os membros normalmente estão soldados diretamente um ao outro, ao contrário de ligações parafusadas, invariavelmente feitas através de chapas de ligação ou cantoneiras (BELLEI, 1998, p. 23).
- c) Facilidade de se realizar modificações nos desenhos das peças e corrigir erros durante a montagem a um custo

menor do que as parafusadas (BELLEI, 1998, p. 23).

- d) O uso de uma quantidade menor de peças e, como resultado, menor tempo de detalhe, fabricação e montagem (BELLEI, 1998, p. 23).

2.2.3 DESVANTAGENS

- a) Uma desvantagem das estruturas soldadas de grandes extensões é a redução que sofrem no comprimento devido aos efeitos acumulativos de retração (BELLEI, 1998, p. 24).
- b) Energia elétrica insuficiente no local da montagem, o que exigiria a colocação de geradores para acionar as máquinas de solda (BELLEI, 1998, p. 24).
- c) Exige maior análise de fadiga do que as estruturas parafusadas, podendo, em muitos casos, reduzir as tensões admissíveis a níveis muito baixos (BELLEI, 1998, p. 24).
- d) A maior rigidez pode ser uma desvantagem onde há necessidade de conexões simples com pouca resistência a momento (BELLEI, 1998, p. 24).

2.3 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

2.3.1 DEFINIÇÃO

As ligações parafusadas, tanto quanto as soldadas, são empregadas em grande escala nas ligações de partes das estruturas e nas montagens finais de campo e nas de

² Área líquida – Área útil total.

³ Área Bruta – Área de superfície total.

fábrica. Os parafusos vieram substituir, com vantagens, as ligações soldadas rebitadas usadas durante muito tempo (BELLEI, 1998).

2.3.2 VANTAGENS

- a) Rapidez nas ligações de campo (BELLEI, 1998, p. 53).
- b) Economia em relação ao consumo de energia. Podendo ser empregadas em locais onde a pouca energia disponível (BELLEI, 1998, p. 53).
- c) Uso de poucas pessoas (duas), não muito qualificadas, como é o caso dos soldadores (BELLEI, 1998, p. 53).
- d) Melhor resposta a tensões de fadiga (BELLEI, 1998, p. 53).

2.3.3 DESVANTAGENS

- a) Necessidade de verificação de áreas líquidas e esmagamentos das peças, o que muitas vezes exige reforço destas partes (BELLEI, 1998, p. 53).
- b) Necessidade de previsão antecipada, para evitar falta de parafusos na obra (BELLEI, 1998, p. 53).
- c) Necessidade, em alguns casos, de se realizar uma pré-montagem de fábrica para casamento perfeito dos furos (BELLEI, 1998, p. 53).

2.3.4 TIPOS DE PARAFUSOS

Os principais parafusos empregados nas ligações são: comuns tipos ASTM A307; de Alta Resistência tipo fricção e esmagamento nas especificações ASTM A325 e A490

(BELLEI, 1998, p. 53).

3 METODOLOGIA

Este artigo foi baseado no anteprojeto (projeto de escopo) de galpões de pórticos treliçados em aço, contendo três portes de obra (grande, médio e pequeno), executado em dois métodos construtivos diferentes. Foi realizando um estudo comparativo direcionado aos custos destes métodos, contendo os processos de corte, dobra, perfuração, solda, pintura e montagem da estrutura, com a diferença entre os métodos sendo a exclusão do processo de solda no segundo método, com objetivo de obter o método mais rentável.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA E DOS MATERIAIS

Para o primeiro método construtivo, sendo a estrutura parcialmente parafusada, foram adotados os perfis estruturais em aço-carbono ASTM-A36 com resistência ao escoamento de 250 MPa (NBR 8800:2008). No segundo método, sendo a estrutura totalmente parafusada, foram adotados para os perfis estruturas aço de baixa liga e alta resistência mecânica ZAR-345, com resistência ao escoamento de 345 MPa (NBR 8800:2008). Os parafusos utilizados em todas as ligações serão do tipo ASTM-A325.

O arranjo dos galpões foi constituído por pórticos treliçados, composto por vigas

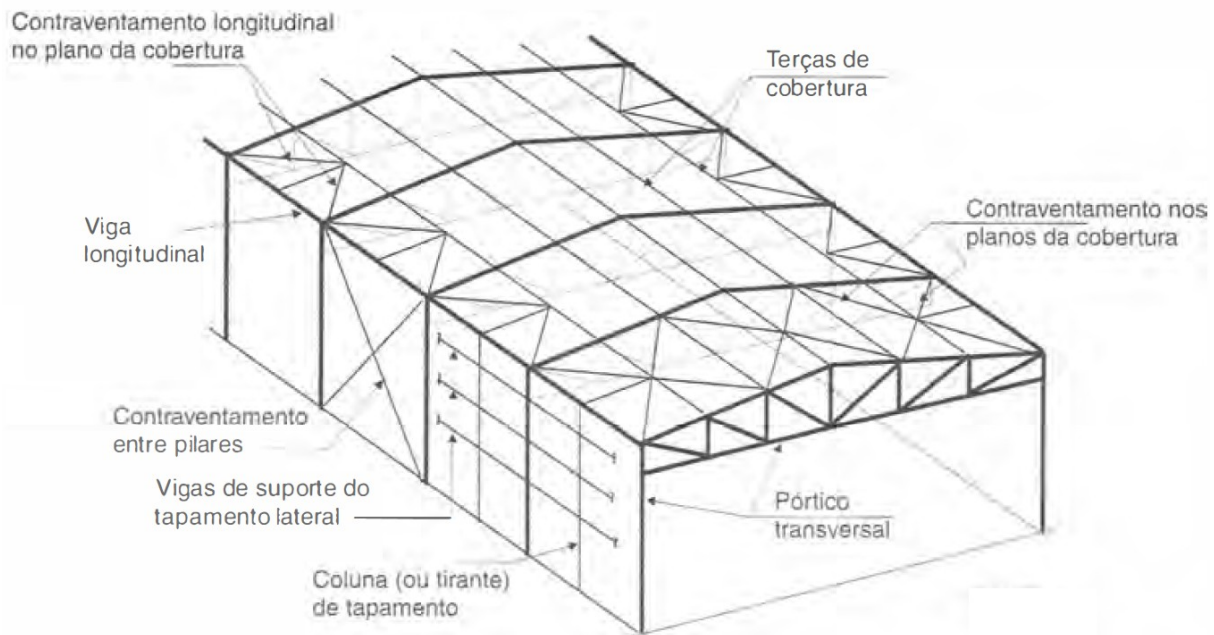
de banzos paralelos e pilares treliçados, produzido por perfis distintos. Os pilares serão engastados no topo e na base, com o espaçamento entre os pórticos variando conforme o porte de obra. Todos os galpões terão um pé-direito livre de 8,0 metros.

A estrutura primária dos galpões, a qual foi dimensionada, incluiu os pórticos treliçados, compostos por banzos superiores e inferiores, diagonais e montantes. Já a estrutura secundária, comporta as terças, mãos-francesas, vigas de travamento, as quais também foram dimensionadas, já os demais elementos secundários, como estrutura de fe-

chamento (telhas) e travamento (agulhinha, corrente rígida, contraventamentos, ect.) foram obtidos por catálogos e pôr uma mediana em projetos executados pela **PROMETAL ESTRUTURAL**.

A estrutura de travamento foi concebida com a finalidade de diminuir o comprimento de flambagem dos banzos dos pórtico (através dos contraventamentos), das terças da cobertura e fechamento lateral (através das correntes rígidas) e aumentar a rigidez da estrutura (através das vigas de travamento e agulhinhas), como apresentado na Figura 5.

Figura 5. Galpão Metálico: Esquema Tridimensional.



Fonte: Pfeil & Pfeil (2009).

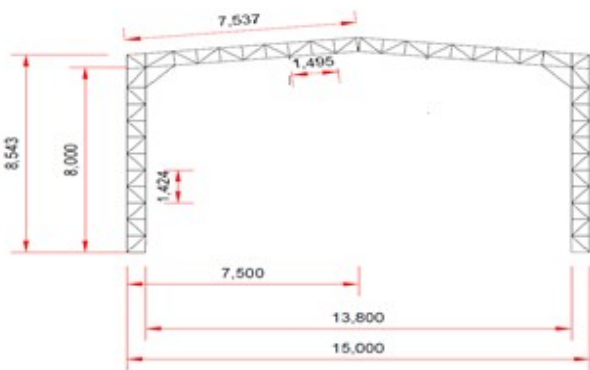
A cobertura possuía duas águas com inclinação de 10%, composta por telha trapezoidal termo acústica TP40, apoiada sobre terças. O fechamento lateral foi de telha trapezoidal TP40, cobrindo toda a lateral do gal-

pão, apoiado também sobre terças, as quais distribuirão as cargas para o pórtico, com espaçamento entre as terças sendo aproximadamente de 1,50 metros.

Para determinar o porte dos galpões, foi adotado a qualificação segundo BELLEI (1998, p. 3), considerando as peças sendo os pórticos de cada galpão, sendo considerados galpões de pequeno porte de até 2 toneladas por pórtico, já os pórticos acima de 8 toneladas, consideraram-se galpões de grande porte, sendo o valor intermediário entre os dois, considerado como galpões de médio porte.

O galpão de pequeno porte apresentou largura de 15,0 metros, comprimento de 30,0 metros, com área de 450 metros quadrados. O espaçamento entre os pórticos (modulação) foi de 5,0 metros, com uma altura de fechamento lateral de 8,60 metros. A figura 3 ilustra o corte transversal da edificação, mostrando altura do fechamento metálico, vãos e dimensões.

Figura 6. Corte transversal do oitão (galpão de pequeno porte).

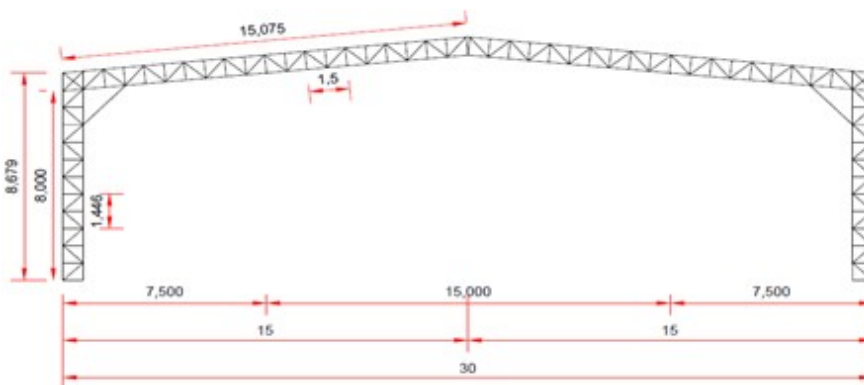


Fonte: Torquato (2018).

O galpão de médio porte apresentou largura de 30,0 metros, comprimento de 60,0 metros, com área de 1800 metros quadrados. O espaçamento entre os pórticos (modulação) foi de 7,5 metros, com uma altura de fe-

chamento lateral de 8,70 metros. A figura 4 ilustra o corte transversal da edificação, mostrando altura do fechamento lateral, vãos e dimensões.

Figura 7. Corte transversal do oitão, do galpão de médio porte.

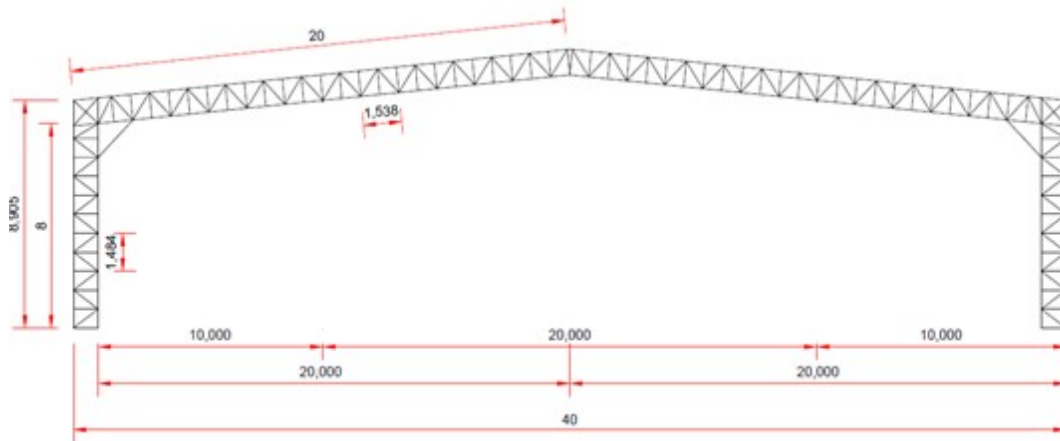


Fonte: Torquato (2018)

O galpão de grande porte apresentou largura de 40,0 metros, comprimento de 80,0 metros, com área de 3200 metros quadrados. O espaçamento entre os pórticos (modulação) foi de 10,0 metros, e uma altura de fe-

chamento lateral de 8,90 metros. A figura 5 ilustra o corte transversal da edificação, mostrando altura do fechamento metálico, vãos e dimensões

Figura 8. Corte transversal do oitão, do galpão de grande porte.



Fonte: Torquato (2018)

3.2 PROGRAMAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para cálculo dos esforços, verificação e dimensionamento dos perfis utilizados nos galpões, foi empregado o programa de análise estrutural **STRAP**®, na versão 2014, com licença da empresa **PROMETAL ESTRUTURAL**, fabricado por **ATIR Engineering Software Development Ltd.**

Foi utilizado o programa **AUTOCAD**®, na versão 2018 estudante, da empresa **AUTODESK**, para realização do desenho unifilar dos pórticos de oitão das estruturas, com fins demonstrativos e o programa **LIBREOFFICE**®, na versão gratuita, da empresa **The Document Foundation**, para cálculo da ação do

vento sobre as estruturas. Os coeficientes do vento foram calculado utilizando o software **CICLONE**®, na versão 5.0.1, com licença gratuita, juntamente com o **LIBREOFFICE**®, para cálculo dos esforços.

3.3 AÇÕES SOBRE A ESTRUTURA

3.3.1 CARGAS GRAVITACIONAIS E SOBRECARGA

Para cargas gravitacionais, foram considerados nos cálculos o peso próprio da estrutura, obtida pelo cálculo automático do programa STRAP, o peso da telha trapezoidal termo acústica da cobertura TP40 com 13,0kgf/m², obtida do catálogo de telhas da **Kingspan Isoeste**, e a telha trapezoidal de fechamento TP40 *Standart*, com 5,0kgf/m²,

também obtido do catálogo da **Kingspan Isoeste**.

O peso das terças de 5,0kgf/m², e o peso dos contraventamentos de 2,0kgf/m², foram obtidos como média em projetos executados pela **PROMETAL ESTRUTURAL**.

A sobrecarga aplicada na estrutura foi da grandeza de 25,0kgf/m² segundo **ABNT NBR 8800:2008**.

Foi considerado uma carga de utilização da estrutura (manutenção/montagem) de 10kgf/m², também como média em projetos executados pela **PROMETAL ESTRUTURAL**.

3.3.2 VENTO

No cálculo da ação do vento sob a estrutura, foi considerado o galpão situado na zona industrial de Dourados no Mato Grosso do Sul, obtendo uma velocidade básica do vento de 48,0m/s pelo mapa das Isoplefas (ABNT NBR 6123:1998), com fator topográfico (S1) pouco acidentado, fator de rugosidade variando conforme o porte de obra, fixando a categoria IV em comum à todos e baixo fator de ocupação, devido a função industrial e com alturas variando conforme o porte da obra.

Utilizando a altura de fechamento lateral e os dados descritos, foram lançados no programa **CICLONE®**, obtendo os coeficientes de pressão externa e interna, e calculando os esforços com o **LIBREOFFICE®**.

3.3.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERNA (CPI)

A edificação atende aos requisitos do item 6.2.5 da ABNT NBR 8800:2008, pois foi adotado uma abertura permeável entre duas faces opostas, e as outras faces sendo impermeáveis, por este motivo os coeficientes de pressão interna nas faces permeáveis serão $C_{pi} = +0,2$ e nas faces impermeáveis $C_{pi} = -0,3$.

3.5 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Para realizar as combinações das ações sobre a estrutura, e obter o resultado mais desfavorável no carregamento, se fez uso da equação do item 4.7.7.2 da **ABNT NBR 8800:2008**, tanto para combinações últimas normais:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} * F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} * F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} * \phi_{0j} * F_{Qj,k}) \quad (3.1)$$

- Combinações serviço:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (F_{Gi,k}) + \sum_{j=2}^n (\phi_{2j} * F_{Qj,k}) \quad (3.2)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ – Valores das ações permanentes;

γ_{gi} – Coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ – Valores das ações variáveis primárias;

γ_{q1} – Coeficiente de ponderação das ações variáveis primárias;

$F_{Qj,k}$ – Valores das ações variáveis secundárias;

γ_{qj} – Coeficiente de ponderação das ações variáveis secundárias;

φ_{0j} – Valores de redução das ações variáveis secundárias.

3.5.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

Para combinações normais, os coeficientes de ponderação e minoração foram obtidos pela Tabela 1 e da Tabela 2 da **ABNT NBR 8800:2008**, sendo fixados em:

$\gamma_{gi}=1,25$ (Peso próprio da estrutura metálica)

$\gamma_{q1}=1,4$ (Peso próprio de elementos construtivos adicionados *in loco*)

$\gamma_{qj}=1,5$ (Demais ações variáveis)

$\gamma_{qj}=1,4$ (Ação do vento)

$\varphi_{0j}=0,8$ (Ação variável causada por ocupação)

$\varphi_{0j}=0,6$ (Ação variável causada pelo vento)

Utilizando a Equação 3.1, e substituindo os valores dos coeficientes γ_{gi} , γ_{q1} , γ_{qj} e φ_{0j} , foi considerado que $F_{Gi,k}$ é o peso próprio (PP), $F_{Q1,k}$ sendo ação permanente (AP) e $F_{Qj,k}$ variando entre sobre carga e vento.

Combinação 1 → 1,25xPeso Próprio + 1,4xAção Permanente + 1,5xSobre Carga + 1,4x0,6xVento;

Combinação 2 → 1,25xPeso Próprio + 1,4xAção Permanente + 1,5x0,8xSobre Carga + 1,4xVento;

Combinação 3 → 1,0xPeso Próprio + 1,0xAção Permanente + 1,5x0,8xSobre Carga + 1,4xVento;

Combinação 4 → 1,25xPeso Próprio + 1,40xAção Permanente + 1,5xSobre Carga.

3.5.2 COMBINAÇÕES SERVIÇO

Para combinações serviço, os coeficientes de ponderação e minoração foram obtidos pela Tabela 1 e Tabela 2 da **ABNT NBR 8800:2008**, sendo fixados em:

$\gamma_{gi}=1,00$ (Peso próprio da estrutura metálica)

$\varphi_{2j}=0,7$ (Sobrecarga)

$\varphi_{2j}=0,3$ (Ação variável causada pelo vento)

Combinação 1 → 1,0xPeso Próprio + 1,0xAção Permanente + 0,7xSobre Carga;

Combinação 2 → 1,0xPeso Próprio + 1,0xAção Permanente + 0,6xSobre Carga + 0,3xVento;

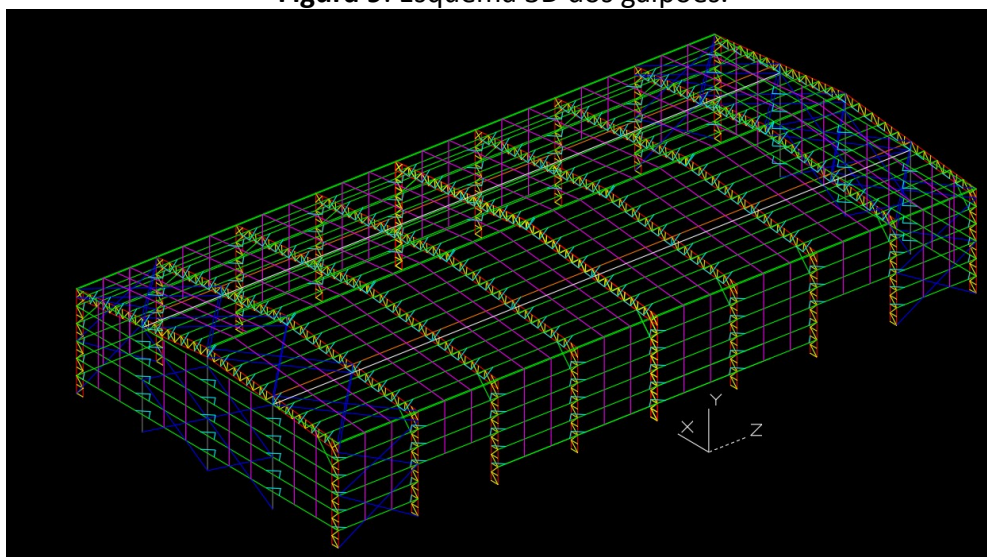
Combinação 3 → 1,0xPeso Próprio + 1,0xAção Permanente + 0,3xVento.

Utilizando a Equação 3.2, e substituindo os valores dos coeficientes γ_{gi} , γ_{q1} , γ_{qj} e φ_{0j} , foi considerado que $F_{Gi,k}$ é o peso próprio (PP), $F_{Q1,k}$ sendo ação permanente (AP) e $F_{Qj,k}$ variando entre sobre carga e vento.

3.7 ESQUEMA 3D

Foi desenhado um esquema tridimensional dos galpões, com fins de orçamento e para realização da montagem, como apresentado na Figura 9.

Figura 9. Esquema 3D dos galpões.



Fonte: Torquato (2018)

3.7 ORÇAMENTO

O orçamento foi realizado para a construção do galpão na cidade de Dourados/MS, com a finalidade de comparar o método mais rentável para estruturas em aço. Para o primeiro método construtivo, o convencional, foi orçado na cidade de Dourados/MS, em empresas locais. Porém o segundo método foi orçado na empresa **Isoeste Metálica**, devido ao tipo do material, o aço ZAR-345, que apresenta uma maior resistência, com espessuras inferiores ao perfil utilizado no primeiro método, sendo difícil ser encontrado na região de Dourados.

O orçamento foi composto pelo processo de fabricação, e subprocessos envolvidos, sendo o primeiro método, parcialmente parafusado, orçado inteiramente em Dourados, o

segundo método, totalmente parafusado, teve partes orçados na **Isoeste Metálica** (processo de fabricação) e o processo de montagem orçado em empresas locais de Dourados.

O nome da empresa de Dourados que forneceu os orçamentos do primeiro método foi mantido em sigilo, por solicitação da mesma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cálculos foram realizados, empregando o programa **STRAP**[®], com as cargas descritas na metodologia, combinando-as, para obtenção dos perfis que irão compor os pórticos. Os perfis obtidos foram, então, destinados ao orçamento em uma empresa local e na multinacional **Isoeste Metálica**. Os valores obtidos nos orçamentos foram compara-

dos de forma direta através da tabela X, sobressaindo-se o método que teve valor final menor.

4.1 PRIMEIRO MÉTODO (PARCIALMENTE PARAFUSADO)

Os perfis obtidos no STRAP®, juntamente com peso total de cada perfil, estão listados no Quadro 19 ao Quadro 27, contendo os 3 portes de obra. O valor dos consumíveis (eletrodos, parafusos, energia, entre outros) foi definido pela empresa e não especificado.

- Galpão de pequeno porte

Quadro 1. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
U150x50#3.00	350
U150x50#3.75	1750
U150x50#4.75	1050
2L 1.5"x1/8"	1505
2L 2"x1/8"	133
2L 2"x3/16"	245
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	508
Frechal	
Barra redonda 3/8"	149
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	306
Viga de Travamento	
Ue 150x60x20#2.25	624
Mão-Francesa	
L 2"x1/8"	66
Terças	
Ue 150x60x20#2.25	4472
Total	11158

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 1 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de pequeno

porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 2. Orçamento detalhado.

ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado	11158	8,00	89.264,00
Fabricação	11158	2,50	27.895,00
Instalação	11158	3,00	33.474,00
Consumíveis	-	-	15.646,50
TOTAL		R\$ 166.279,50	

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 2 apresenta os valores unitários para aço dobrado, fabricação, instalação e consumíveis, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 1.

- Galpão de Médio porte

Quadro 3. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
W150x13.0	5751
W150x18.0	5121
W150x22.5	1170
W150x29.8	3708
2L 1.5"x1/8"	3465
2L 2.5"x3/16"	2430
2L 2.5"x1/4"	675
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	968
Frechal	
Barra redonda 3/8"	201
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	1245
Agulhinha	
Ferro redondo 1/2"	115
Viga de Travamento	
Ue 127x50x17#2.25	528
Mão-Francesa	
L 2"x1/8"	1345

Terça Fechamento Cobertura	
Ue 127x50x17#2.25	5280
Terça Fechamento Lateral	
Ue 150x60x20#2.25	4645
Total	36647

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 3 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de médio porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 4. Orçamento detalhado.

ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado	36647	8,00	293.176,00
Fabricação	36647	3,00	109.941,00
Instalação	36647	4,00	146.588,00
Consumíveis	-	-	54.345,00
TOTAL			R\$ 604.050,00

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 4 apresenta os valores unitários para aço dobrado, fabricação, instalação e consumíveis, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 3.

- **Galpão de Grande porte**

Quadro 5. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
W250x17.9	8343
W250x25.3	6201
W250x32.7	1260
W250x44.8	7398
2L 2"x1/8"	4743
2L 2.5"x3/16"	1872
2L 3.5"x1/4"	5310
2L 3.5"x5/16"	999
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	1753
Frechal	

Barra redonda 3/8"	344
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	2174
Viga de Travamento	
Ue 200x75x25#2.00	1952
Mão-Francesa	
L 2"x1/8"	2235
PERFIL	Peso (Kg)
Terça Fechamento Cobertura	
Ue 200x75x25#2.00	22021
Total	71204

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 5 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de grande porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 6. Orçamento detalhado.

ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado	71204	8,00	569.633,00
Fabricação	71204	3,00	213.612,00
Instalação	71204	4,00	284.816,00
Consumíveis	-	-	83.685,00
TOTAL			R\$1.151.747,00

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 6 apresenta os valores unitários para aço dobrado, fabricação, instalação e consumíveis, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 5.

4.1 SEGUNDO MÉTODO (PARCIALMENTE PARAFUSADO)

Os perfis obtidos no STRAP, juntamente com o peso total de cada perfil, estão listados no Quadro X ao . O número de parafusos por obra foi considerado de 5 parafusos/m², valor obtido por experiência em projetos da PROMETAL ENGENHARIA. A empresa Isoeste Metálica não forneceu o valor unitário, ape-

nas o montante total. A barra redonda e as cantoneiras foram orçadas em Dourados, juntamente com a mão-de-obra. Os parafusos foram orçados na empresa **CISER Parafusos e Porcas**.

- **Galpão de pequeno porte**

Os perfis utilizados nos banzos foram dois perfis de costa, com espaçamento variável.

Quadro 7. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
2Uc150x80#2.30	1498
2Uc150x50#2.70	3899
U127x40#1.55	749
U127x40#2.30	448
U127x40#2.70	112
U150x80#2.70	119
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	508
Frechal	
Barra redonda 3/8"	149
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	306
Viga de Travamento	
Ue 200x70x18#1.55	528
Mão-Francesa	
U 100x40#1.55	60
Terça	
Ue 200x70x18#1.55	3784
Total	12160

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 7 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de pequeno porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 8. Orçamento detalhado.

ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado e Fabricação	11197	-	84.834,51
Barra redonda e cantoneira	963	10,50	10.111,50
Instalação	12160	2,50	30.400,00
Parafusos, porcas e arruelas	2250 conjuntos	4,95	11.137,50
TOTAL		R\$ 136.483,51	

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 8 apresenta os valores unitários para aço dobrado e fabricação, Barra redonda e cantoneira, instalação, parafusos porcas e arruelas, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 7.

- **Galpão de médio porte**

O perfil utilizados nos banzos, serão dois perfis de costa (2Ue2), com um perfil de 1,55 milímetros sobre o perfil principal de 2,70 milímetros, com espaçamento variável.

Quadro 9. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
2Uec2127x50x15#4.25	14148
Ue100x40x18#2.70	3204
Ue100x60x18#2.70	288
Ue200x70x18#2.70	1314
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	968

Frechal	
Barra redonda 3/8"	201
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	1245
Agulhinha	
PERFIL	Peso (Kg)
Ferro redondo 1/2"	115
Viga de Travamento	
Ue127x50x15#2.30	544
Mão-Francesa	
U100x40#1.55	1234
Terça Cobertura	
Ue127x50x15#2.30	5436
Terça Cobertura	
Ue127x50x15#2.30	4782
Total	33478

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 9 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de médio porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 10. Orçamento detalhado.

ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado e Fabricação	30949	-	237.830,84
Barra redonda e cantoneira	2529	10,50	26554,50
Instalação	33478	2,50	83.695,00
Parafusos, porcas e arruelas	9000 conjuntos	4,95	44.550,00
TOTAL			R\$ 392.630,34

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 10 apresenta os valores unitários para aço dobrado e fabricação, Barra redonda e cantoneira, instalação, parafusos, porcas e arruelas, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 9.

- **Galpão de grande porte**

O perfil utilizados nos banzos, serão dois perfis de costa (2Ue2), com um perfil de 1,55

milímetros sobre o perfil principal de 2,70 milímetros no primeiro, e 2,70 milímetros sobre 2,70 milímetros, com espaçamento variável.

Quadro 11. Pórticos - Perfis e seus respectivos pesos.

ESTRUTURA PRIMÁRIA (PÓRTICOS)	
PERFIL	Peso (kg)
2Uec2 127x50x15#4.25	15894
2Uec2 350x110x25#5.40	21564
Ue 100x40x18#2.70	4158
Ue 100x60x18#2.70	342
Ue 200x70x20#2.30	450
Ue 300x85x25#2.70	4707
ESTRUTURA SECUNDÁRIA (TRAVAMENTO)	
PERFIL	Peso (kg)
Contraventamento	
Barra redonda 5/8"	1753
Frechal	
Barra redonda 3/8"	344
Corrente Rígida	
2L 1.1/4"x1/8"	2174
Viga de Travamento	
Ue 250x65x25#1.70	1792
Mão-Francesa	
U100x40#1.55	2047
Terça Cobertura	
Ue 250x65x25#1.70	20216
Terça Cobertura	
Ue 200x70x18#1.95	15884
Total	44210

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 11 apresenta o quantitativo total de aço dobrado no galpão de grande porte, com cada item especificado individualmente.

Quadro 12. Orçamento detalhado.

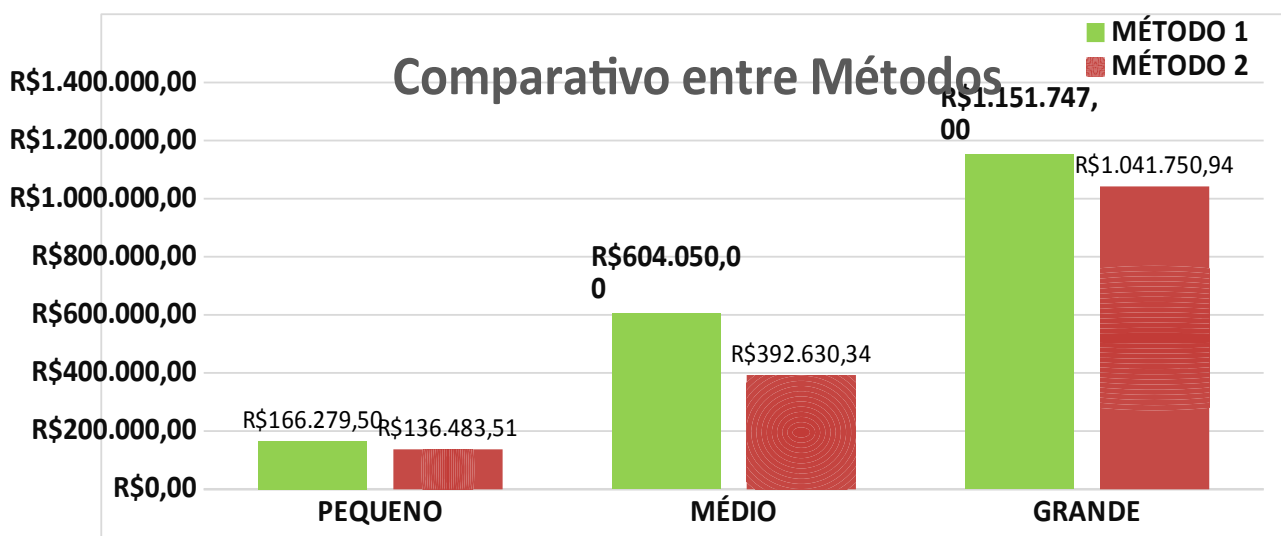
ORÇAMENTO			
Produto	Peso (kg)	Valor Uni. (R\$)	Preço (R\$)
Aço Dobrado e Fabricação	87054	-	679.492,94
Ferro redondo e cantoneira	4271	10,50	44.845,50
Instalação	91325	2,50	228.312,50
Parafusos,	18000 con-	4,95	89.100,00

porcas e arruelas	juntos		
TOTAL		R\$ 1.041.750,94	

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 12 apresenta os valores unitários para aço dobrado e fabricação, Barra redonda e cantoneira, instalação, parafusos, porcas e arruelas, com o custo final da obra, usando o peso obtido no Quadro 11.

Gráfico 1. Comparativo entre os métodos



Fonte: Torquato (2018).

O Gráfico 1 apresenta um comparativo entre os galpões do mesmo porte de obra, com métodos construtivos distintos, apresentando o melhor preço, em todos os portes, sendo o método 2 totalmente parafusado.

Quadro 13. Comparativo entre orçamentos

Relação direta - Parafuso com Soldado/Parafusado			
Porte de obra	Diferença (R\$)	Razão Percentual (%)	Escolha
Pequeno	29.796,00	17,9%	Parafusado
Médio	211.419,66	35,0%	Parafusado
Grande	109.996,06	9,5%	Parafusado

Fonte: Torquato (2018).

O Quadro 13 apresenta um comparativo entre os galpões do mesmo porte de obra, com métodos construtivos distintos, apresentando a diferença em reais e em razão percentual, sendo a melhor escolha para os 3 portes de obra o método totalmente parafusado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos orçamentos realizados é evidenciada a diferença no custo final entre os métodos. O método totalmente parafusado apresentou uma diferença de até 35% de economia em relação ao método parcialmen-

te parafusado. Essa diferença está relacionada à simplicidade das ligações parafusadas, que não necessitam de uma mão-de-obra treinada, muito menos de equipamentos caros e grandes fontes de energia.

Figura 10. Custo de uma estrutura metálica.

Projeto estrutural	1%	a	3%
Detalhamento	2%	a	6%
Material e insumos	20%	a	50%
Fabricação	20%	a	40%
Limpeza e pintura	10%	a	25%
Transporte	1%	a	3%
Montagem	20%	a	35%

Fonte: Bellei (1998).

A exclusão da solda refletiu numa economia de 3 pontos de obra, sendo essa economia refletida no segundo e terceiro maior custo de uma estrutura metálica, segundo a Figura

Com a construção de galpões do método totalmente parafusado, temos uma grande economia, que atrelado à praticidade do método, torna a estrutura metálica muito mais competitiva do que ela já é.

É importante destacar o fato de que na região de Dourados não são realizados estudos de viabilidade econômica com a finalidade de comparar métodos.

SUGESTÕES

Para trabalhos futuros deixo as seguintes sugestões:

- Buscas de outros referenciais teóricos que auxiliem na elaboração da proposta teórico/projetual;

- Levantamento das necessidades de execução do método parafusado em diferentes localidades;
- Comparativo em uma macro escala;

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus familiares, a minha namorada em especial que sempre me apoiou, ao meu orientador e todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho, meu sincero obrigado.

REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, (AISC). **Specification for Structural Steel Buildings**. Chicago, Illinois: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC., 2005. 439 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 6120** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificação. Rio de Janeiro: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1980. 5 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 6123** – Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988. 66 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 8800** – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e con-

Análise Orçamentária Entre Métodos Construtivos Em Aço
creto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT – as-
sociação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
237 p.

BELLEI, I.H. (1998). **Edifícios industriais em aço. 2.ed.** São Paulo: Pini.

BELLEI, I.H.; PINHO, F.O.; PINHO, M.O. **Edifícios de múltiplos andares em aço. 2.ed.** São Paulo: PINI, 2008

DREHMER, G.; MESACASA, E. (2010). **Manual de construção em aço: Galpões para uso gerais.** Rio de Janeiro: Instituto do aço Brasil.

PFEIL, W; PFEIL, M. (2009). **Estruturas de aço: dimensionamento prático segundo a NBR 8800:2008.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PINHO, F. O. **Galpões em Pórticos de Aço.** 2008. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/tipos-de-galpoes-em-porticos-de-aco>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

PINHO, F.O.; PENNA, F. **Viabilidade econômica.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2008.