

ANÁLISE DA BASE METÁLICA DE SUPORTE PARA CALDEIRA: ESTUDO DE CASO

Leandro Rogel da Silva ¹

Talles Scharpf ²

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar uma base estrutural metálica para suporte de uma caldeira e verificar os resultados considerando a norma vigente da ABNT NBR 8800:2008 que trata de projetos de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de Edifícios. Sendo assim, trata-se de uma pesquisa com finalidade descritiva e documental através de um estudo de caso. Desde o projeto mais simples até o mais moderno, a estrutura representa um dos principais elementos da construção. Este trabalho se justifica, afim de garantir a resistência da estrutura de sustentação da caldeira e evitando acidentes, danos materiais e pessoais. Como procedimento técnico para a realização e análise deste estudo de caso foi utilizado o *software SCIA Engineer*, onde foi possível analisar o fator máximo de verificação de cada elemento presente na estrutura. Foram analisados casos onde determinou-se a escolha de um pórtico mais adequado para a estrutura de suporte. Foi concluído com este estudo que a melhor base metálica de suporte para a caldeira em questão foi o caso B-02, pois foi o pórtico mais adequado para cada material, considerando o peso total da estrutura de 1.368,40 kg e seu preço final de R\$ 4.789,40, apesar do aço ASTM A572 Grau 50 ser menos resistente que o COR 500.

Palavras-chave: Estrutura metálica, Pórticos, Suporte de caldeira.

ABSTRACT

The main objective of this concluding course research has been to analyse a steel structure base to support a boiler and to verify the results by considering an ABNT NBR 8800:2008 in force rule which refers to construction projects with steel, mixed and concrete structure. Therefore, it has been a documental, descriptive research carried out through a case study. Since the simplest to the most modern project, the structure represents one of the main elements of the building. So, this research has

¹ Orientador; Professor do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

been justified aiming to guarantee the structure resistance of the boiler support and to avoid accidents as well as personal and material damage. The technical procedure used to carry out this case study has been the SCIA Engineer software, in which it has been possible to analyse the maximum verifying factor of each structure element. The criteria to determine the cases that have been analysed was the choice of a more suitable steel structure to the structure support. This research has concluded that the best supporting steel base to the boiler analysed is the BO2 case because it is the most suitable steel structure for each material considering the structure 1,368,40 kg total weight and its R\$ 4,789,40 final price, despite the ASTM A572 50 degree steel being less resistant than COR 500.

Keywords: Steel structure, Metal structure, Boiler support.

1 INTRODUÇÃO

Desde o projeto mais simples até o mais moderno, uma boa estrutura tem como objetivo garantir a estabilidade da edificação e representa um dos principais elementos da construção, pois um mau projeto pode ocasionar danos materiais e também pessoais. Através do projeto estrutural as interferências são solucionadas, tornando a estrutura capaz de resistir aos esforços atuantes através de sistemas de ação e reação, o que garante o equilíbrio tanto dos componentes individuais, como da estrutura como um todo.

A estrutura de suporte da caldeira é uma parte fria do equipamento, pois não tem contato com os gases de combustão nem vapor/água. A principal função da base/estrutura de suporte, como o próprio nome sugere, é suportar as partes sob pressão (vaso de pressão) que formam a caldeira propriamente dita e transmitir os esforços para o solo. A estrutura de suporte é um dos últimos projetos a serem realizados (projetos básico e detalhamento), pois somente será dado início neste após o projeto da parte termodinâmica de geração de vapor estiver definido.

As condições locais também interferem no projeto da estrutura de suporte da caldeira. Em regiões de clima frio como Europa e América do Norte é comum a instalação da caldeira dentro de um galpão, também chamado Casa da Caldeira. Em regiões de climas quentes e secos a caldeira é instalada externamente (costuma-se dizer instalada “ao tempo”) comum no Oriente Médio e África. Em regiões de clima quente e períodos chuvosos como China, Índia e América Latina, a instalada semi-externa com um telhado que usa a própria estrutura da caldeira. As instalações de

caldeira interna ao galpão geralmente são estruturas mais leves e, portanto, mais econômicas, pois não estarão sujeitas à carga de ventos (RAYAPROLU, 2009).

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a estrutura de um pórtico em aço através da utilização do *software* SCIA *Engineer* e verificar as ações do carregamento de uma caldeira afim de dimensionar os perfis estruturais, conforme a NBR 8800:2008, assim como o melhor material a ser utilizado considerando os carregamentos predeterminados e obter a melhor solução possível. Também será analisado o comportamento da estrutura para obtenção dos resultados finais.

Hoje em dia quando se pensa em construir, logo vem à mente o custo total da obra, por isso, é importante oferecer soluções econômicas para o cliente. Sendo assim neste estudo será possível visualizar qual o material mais adequado em relação ao custo benefício para a estrutura do pórtico metálico em questão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Como todos projetos estruturais, a base da caldeira também deve seguir normas de construção e garantir a segurança. Para caldeiras que não sejam fabricadas de forma seriada a análise estrutural deverá ser feita em todos os projetos.

2.1 AÇOS ESTRUTURAIS

Segundo Silva e Pannoni (2010, p.4): “O aço é obtido de minério de ferro (em geral, a hematita), de carvão mineral adequado ao processo siderúrgico (o chamado carvão metalúrgico) e de fundentes”.

Ainda segundo Silva e Pannoni (2010, p.4):

Os minérios de ferro são distribuídos por todo planeta e o Brasil é seu maior produtor. O carvão mineral adequado ao uso nas siderúrgicas só é encontrado em certos países; o Brasil possui reservas consideráveis de carvão metalúrgico, mas, para ser utilizado em grande escala em nossas usinas, é necessário um custoso beneficiamento para redução do teor de enxofre e de cinzas. Por isso, este insumo não tem sido utilizado, recorrendo-se a importação.

O processo de fabricação de ferro inicia-se no Alto-Forno, onde são carregados o minério, calcário e coque. O coque queima produzindo calor e monóxido de carbono. O calcário converte o pó do coque e a ganga (minerais terrosos do minério) em escória fundida. Pela parte inferior do forno são drenadas periodicamente a liga ferro-carbono e a escória continuamente. O produto de alto-forno chama-se ferro fundido ou gusa. Uma pequena parte da gusa é refundida para se obter ferro fundido comercial e a maior parte é transformada em aço (PFEIL; PFEIL, 2014).

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008, p. 287): “A matéria-prima é parte significativa na formação dos custos finais da estrutura, representando em torno de 30 a 50%. Existem aços que possuem maiores resistências sem serem proporcionalmente mais caros”.

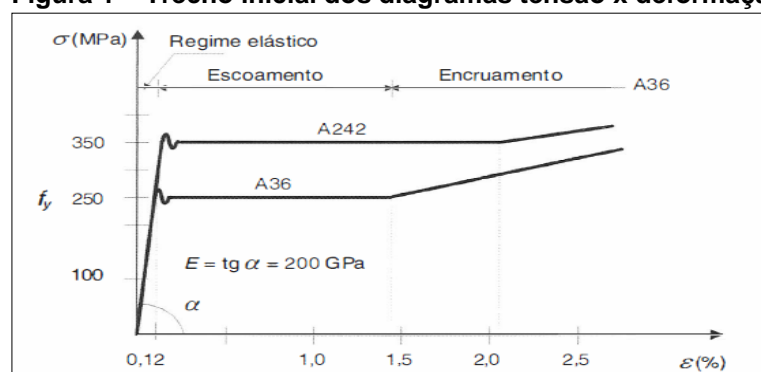
O carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais dúcteis. As resistências à ruptura por tração ou compressão dos aços utilizados em estruturas são iguais, variando entre amplos limites, desde 300 MPA até valores acima de 1200 MPA. (PFEIL; PFEIL, 2014).

Ainda segundo Pfeil e Pfeil (2014), os aços são classificados em duas categorias, aços-carbonos e aços de baixa liga. Com o aumento na adição de carbono no aço que por sua vez aumenta sua resistência, porém diminui a sua ductilidade (podendo se deformar) e podem trazer problemas relacionados à soldagem na fabricação.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2014), os perfis “C” podem também ser chamados de perfil “U”. Os perfis “L” são também denominados cantoneiras e podem ser de abas iguais ou desiguais. Os perfis “I” e “H” segue a nomenclatura da indústria norte-americana. O perfil I, se caracteriza pelas abas não paralelas e com altura da alma maior que a largura das abas. (TECEM, 2017).

Conforme demonstrado por Pfeil e Pfeil (2014, p.13), na figura 1 de tensão-deformação: “Se apresentarmos em abcissas os valores dos alongamentos unitários ε e em ordenadas os valores das tensões convencionais σ , teremos um diagrama tensão-deformação que reflete o comportamento do aço sob efeito de cargas estáticas”.

Figura 1 – Trecho inicial dos diagramas tensão x deformação.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014, p.14).

2.2 PERFIS LAMINADOS COM MESAS DE FACES PARALELAS

A produção dos perfis de abas paralelas da série WF (*Wide Flange*) foi iniciada no Brasil no ano de 2002 pela Gerdau Açominas, com isso mais de 80 bitolas com diferentes alturas, entre 150 e 610 mm podem ser encontrados no mercado de estruturas metálicas e comprimento padrão de 12 metros. Os perfis de abas paralelas produzidos pela Gerdau Açominas têm uma extraordinária flexibilidade comparando os antigos perfis americanos que, quando encontrados, são ofertados em aço ASTM A 36, apenas nas alturas de 6, 8 e 10 polegadas e no máximo duas bitolas popularizadas como 1ª e 2ª almas (PEREIRA, 2014).

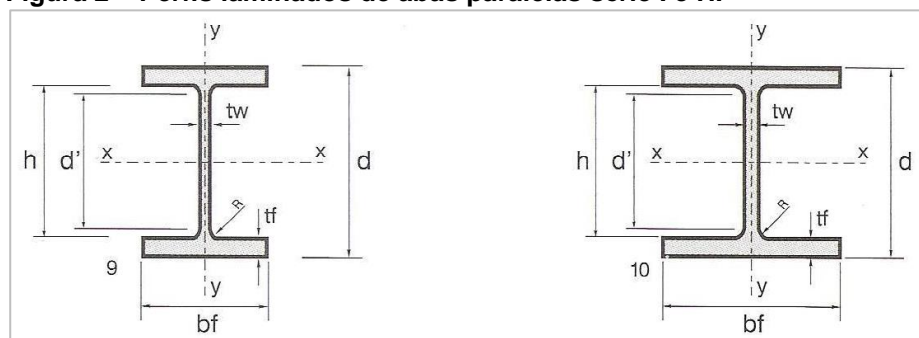
“Os perfis laminados de abas paralelas são muito utilizados em todo o mundo para a construção de estruturas metálicas, tanto nas construções civis como em aplicações na indústria”. (DIAS, 1997, p. 83).

Silva e Pannoni (2010, p.30), descrevem algumas informações gerais relevantes para os perfis laminados com mesas de faces paralelas:

Os perfis laminados com mesas de faces paralelas [...] são produzidos de acordo com as tolerâncias dimensionais descritas na Norma ASTM A6/A6M, em aço de alta resistência mecânica descrito na Norma ASTM A572 Grau 50 (f_y mínimo de 350 MPa). Esses perfis também são fornecidos em aço resistente a corrosão atmosférica (f_y mínimo de 370 MPa). Esses perfis são oferecidos em várias medidas, compreendidas entre 150 mm e 610 mm de altura e comprimento-padrão de 12 m. Os perfis fabricados no Brasil dividem-se em duas séries: W e HP. Sua designação é dada pela série, seguida da altura e da massa por unidade de comprimento. Por exemplo: W 310 x 44,5 ou HP 250 x 62.

Já Dias (1997), menciona que as siderúrgicas: “Adotam nomenclatura da série americana WF (*wide flange*) os perfis de abas paralelas e largas medindo de 150 a 610 mm – ou de 6 a 24 polegadas – e comprimento padrão de 12 metros [...]”.

Figura 2 – Perfis laminados de abas paralelas série I e H.



Fonte: Dias (1997, p.85).

Os perfis laminados de abas paralelas são produzidos sob encomenda, segundo as especificações da norma ASTM A 6/A 6M em aço de alta resistência ASTM A572 Grau 50 (com limite de escoamento mínimo de 350 MPa). Assim como o aço COR 500 que é resistente a corrosão atmosférica (com limite de escoamento mínimo de 370 MPa) (DIAS, 1997).

Figura 3 - Perfis estruturais laminados de abas paralelas (WF)

| PERFIS ESTRUTURAIIS LAMINADOS DE ABAS PARALELAS (WF) | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|------------------------|---------------------|
| SIDERÚRGICA | QUALIDADE (DENOMINAÇÃO) | LIMITE DE ESCOAMENTO - MÍNIMO - (MPa) | LIMITE DE RESISTÊNCIA - MÍNIMO/MÁXIMO - (MPa) | RESISTÊNCIA MECÂNICA | RESISTÊNCIA A CORROSÃO | RESISTÊNCIA AO FOGO |
| | ASTM A 572 GR 50 | 345 | 450 | ALTA | NORMAL | NORMAL |
| PERFIS GERDAU/AÇOMINAS | ASTM A 992 | 345/450 | 450/620 | ALTA | NORMAL | NORMAL |
| | AÇO COR 500 | 370 | 500 | ALTA | SUPERIOR | NORMAL |

Fonte: Dias (1997, p.85).

2.3 PÓRTICOS EM AÇO

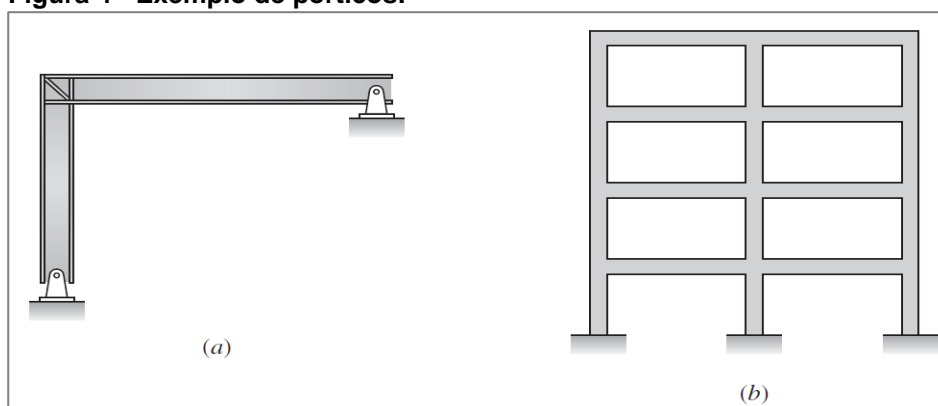
Machado Junior (1999, p.64) define: “Pórticos planos são estruturas lineares, coplanares com as cargas ativas e reativas. Os elementos estruturais geralmente são unidos por nós rígidos podendo existir articulações entre eles”.

Um pórtico é composto de elementos estruturais, segundo Silva e Pannoni (2010, p.141): “Para compor a estrutura, os elementos de aço (vigas e pilares) são

conectados entre si ou a outros elementos estruturais (lajes e blocos), ou seja, há elementos que se apoiam em outros que lhe servem de apoio”.

Os pórticos são elementos estruturais compostos de vigas e colunas conectadas por ligações rígidas. O ângulo entre a viga e a coluna normalmente é de 90°. Como mostrado na Figura 4, a e b, os pórticos podem consistir em uma única coluna e viga ou, como em um prédio de vários andares, de muitas colunas e vigas (LEET; UANG; GILBERT, 2010).

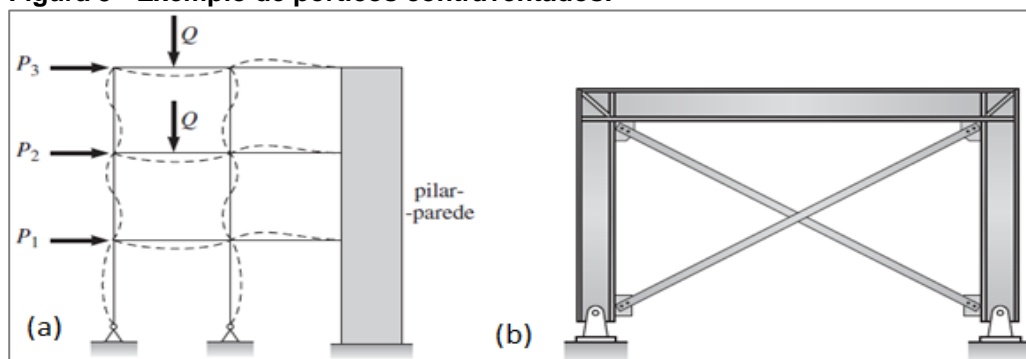
Figura 4 - Exemplo de pórticos.



Fonte: Leet, Uang e Gilbert (2010, p. 171).

Os pórticos podem ainda ser divididos em duas categorias: contraventados e não contraventados. Pórtico contraventado é aquele no qual os nós em cada nível estão livres para girar, mas são impedidos de se mover lateralmente pela fixação em um elemento rígido que pode fornecer-lhes restrição lateral. Por exemplo, em um prédio de vários andares, os pórticos estruturais são frequentemente ligados aos pilares-paredes (paredes estruturais rígidas, em geral construídas de concreto armado ou alvenaria armada; ver Figura 5 (a)). Em pórticos simples de um vão, pode ser utilizado um contraventamento diagonal leve, conectado à base das colunas, para resistir ao deslocamento lateral dos nós superiores (ver Figura 5 (b)) (LEET; UANG; GILBERT, 2010).

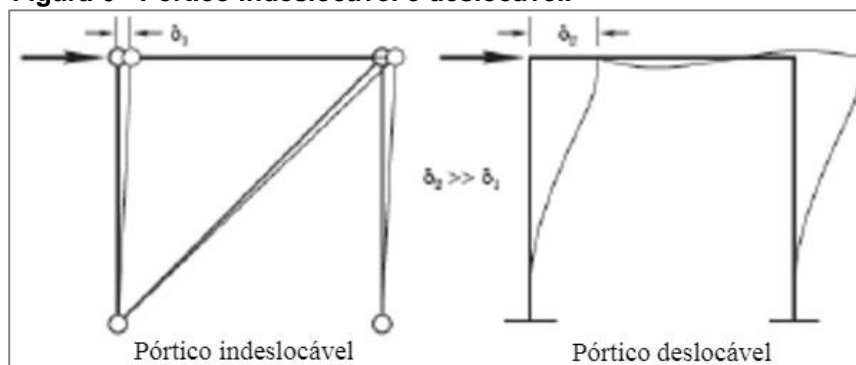
Figura 5 - Exemplo de pórticos contraventados.



Fonte: Leet, Uang e Gilbert (2010, p. 171).

De acordo com Silva e Pannoni (2010) os pórticos podem também classificados em deslocáveis e indeslocáveis, como mostra a figura 6. Os autores ainda mencionam que de maneira geral os pórticos deslocáveis são menos econômicos do que os indeslocáveis devido a ligação rígida exigir maior quantidade de material e mais trabalho de fabricação e montagem da conexão. Além disso, pode ser necessário utilizar pilares mais robustos, afim, de limitar os deslocamentos. Já os indeslocáveis prejudicam eventuais passagens sob eles, pela adição de travamentos o que pode exigir adequações na arquitetura do edifício.

Figura 6 - Pórtico indeslocável e deslocável.



Fonte: Silva e Pannoni (2010, p. 157).

2.4 CÁLCULO DE PÓRTICOS METÁLICOS

Até meados da década de 80, as normas para projeto de estruturas metálicas utilizavam o Método das Tensões Admissíveis (*Allowable Stress Design*, ASD, segundo o AISC, *American Institute of Steel Construction*), quando passaram gradativamente a adotar o Método dos Coeficientes Parciais (LRFD - *Load and*

Resistance Factor Design), denominado no Brasil de método dos estados limites (PFEIL; PFEIL, 2014).

De acordo com Kripka (2011), para fins de análise do cálculo pode-se isolar as barras do pórtico (elementos estruturais: pilares e vigas) desde que se aplique nos nós intermediários os esforços atuantes de modo que seja mantido o equilíbrio das barras.

No método das tensões admissíveis, o dimensionamento é considerado satisfatório quando a máxima tensão solicitante em cada seção é inferior a uma tensão resistente reduzida por um coeficiente de segurança (PFEIL; PFEIL, 2014). Por exemplo, para um membro em tração pura, se a máxima tensão atuante ($\sigma_{m\acute{a}x}$) deve ser menor que a tensão admissível (σ_{adm}) a estrutura estará segura desde que a equação (x) abaixo seja satisfeita:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} < \sigma_{adm}$$

Um estado limite ocorre sempre quando uma estrutura deixa de satisfazer um de seus objetivos. Podem ser divididos em Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Utilização/Serviço (ELS), Pfeil e Pfeil, (2014), Estados Limites Últimos estão associados às cargas excessivas/colapso devido à alguns motivos como:

- Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Plastificação total de um elemento estrutural ou seção;
- Ruptura de ligação ou seção;
- Flambagem em regime elástico ou não;
- Ruptura por fadiga.

Como os principais tipos de esforços em pórticos que devem ser verificados são Compressão, Tração, Cisalhamento, Flexão e Flambagem, será feito um breve descritivo a seguir das equações de análise. Um maior detalhamento sobre o assunto pode ser encontrado na norma NBR 8800:2008 (ABNT, 2008).

2.5 ORÇAMENTO

Os orçamentos são formados pelos custos ligados a execução da obra. Deve-se considerar como aspectos importantes para elaborar um orçamento a qualidade e quantidade das informações disponíveis a respeito da obra. A falta de informações é responsável por muitos insucessos, pois o orçamento pode fornecer valores diferentes da realidade. Entretanto se o erro é a menor, ganha-se vantagem da concorrência, porém só se verifica o erro quando o prejuízo já está configurado (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

De acordo com Gonzáles (2008, p. 7): “Na visão tradicional, um orçamento é uma previsão (ou estimativa) do custo ou do preço de uma obra. O custo total da obra é o valor correspondente à soma de todos os gastos necessários para sua execução”.

Mattos (2006, p. 22) descreve os critérios de um orçamento bem elaborado, conforme segue:

Orçar não é um mero exercício de futurologia ou jogo de adivinhação. Um trabalho bem executado, com critérios técnicos bem estabelecidos, utilização de informações confiáveis e bom julgamento do orçamentista, pode gerar orçamentos precisos, embora não exatos, porque o verdadeiro custo de um empreendimento é virtualmente impossível de se fixar de antemão. O que o orçamento realmente envolve é uma estimativa de custos em função da qual o construtor irá atribuir seu preço de venda - este, sim, bem estabelecido.

Quando se configura uma nova proposta, existe um conflito entre o departamento técnico e o comercial. O técnico resguarda os interesses da área de produção enquanto o comercial busca o menor preço para garantir a venda. Além disso ainda há um conflito com o cliente onde o mesmo busca o preço mais econômico enquanto o vendedor procura fechar o contrato com lucratividade máxima (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa com finalidade descritiva e documental através de um estudo de caso.

No presente estudo foram elaboradas configurações distintas de estruturas de pórticos em aço, sendo dois casos (A-02 e A-07) para o material COR 500 e dois casos (B-02 e B-07) do material ASTM A572 Grau 50. Com a finalidade de fazer um comparativo entre os dois materiais empregados e o peso final da estrutura. Também foi considerado dimensões admissíveis para a estrutura da caldeira.

A ferramenta utilizada para análise dos modelos estruturais desta pesquisa foi o *software* SCIA *Engineer* (versão estudantil), da empresa Nemetschek Company. Neste ambiente, é realizado o desenho da estrutura, a escolha da geometria do perfil, o tipo de material e as solicitações atuantes. O *software* já é configurado concebido de acordo com a norma vigente NBR 8800:2008. Também foi utilizado o *software* AutoCAD 2018 (versão estudantil), da empresa Autodesk, para elaboração do projeto contendo a planta baixa e a vista do pórtico em aço, com dimensões.

A análise de dados foi realizada por meio do *software* Microsoft Excel, utilizando-se quadros para facilitar o entendimento dos resultados obtidos na análise do fator máximo de verificação de cada elemento presente na estrutura.

As informações necessárias para esta pesquisa foram obtidas por meio de pesquisa bibliográfica e normas que fundamentam este tipo de análise estrutural.

Com as análises foi possível um maior entendimento do problema, como distribuição das cargas e solicitações nos diferentes elementos das estruturas, variação dos esforços internos, benefícios dos contraventamentos, valores das tensões em diferentes seções, diferenças nas solicitações nos dois materiais e custo final dos perfis.

4 RESULTADOS

Neste capítulo se dará o desenvolvimento em si do estudo de caso. Nele serão abordados os diagramas de fator de cálculo para quatro casos de dois tipos de aço. Também será gerado listas de materiais para os mesmos, onde será orçado valores para compra dos perfis.

4.1 CARGAS CONSIDERADAS PARA O CÁLCULO

Inicialmente foi considerado para o cálculo estrutural um perfil laminado de abas paralelas W310x97, para o estudo de caso. As cargas atuantes na estrutura do pórtico em aço foram consideradas como 310.000 kgf, informação enviada pela empresa de caldeira.

A carga total da caldeira, que a base do pórtico metálico precisará suportar será de 310.000 kgf. Segue abaixo conversão de unidades de cargas necessárias para utilização no *software SCIA Engineer*.

$$\begin{aligned} \text{Carga total} &= 310.000 \text{ kgf} / 9.8 = 3040,0615 \text{ kN/m} \\ 3040,0615 \text{ kN/m} / 2 &= 1520,03 \text{ kN/m} \\ 1520,03 \text{ kN/m} / 10,307\text{m} &= 147,48 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

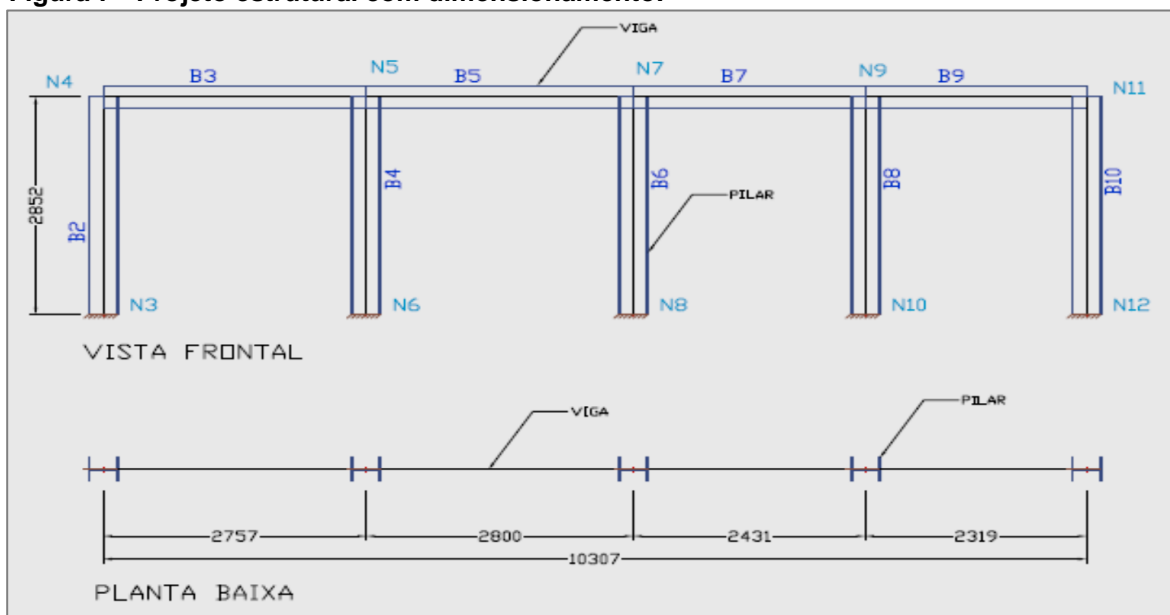
Esta carga da caldeira de 310.000 kgf foi dividida por dois, pois a mesma carga informada serve para as duas bases do pórtico, sendo assim, o valor da carga ficou com 1.520,03 kN/m. Posteriormente foi dividido o mesmo valor pelo comprimento total da estrutura do pórtico, afim de, verificar a carga atuante por metro. Também vale destacar para efeito de cálculo, que a estrutura do pórtico foi concebida no plano 2D.

4.2 PROJETO E MODELO ESTRUTURAL

Para elaboração do projeto estrutural foi utilizado o *software* AutoCAD 2018, através da exportação do *software* SCIA *Engineer* de cálculo, contendo o dimensionamento necessário para o projeto. Esta representação do projeto será utilizada como modelo genérico, mudando apenas a adição ou subtração de contraventamentos e pilar.

Neste projeto podemos verificar os elementos e os nós, representados respectivamente por B e N, onde B corresponde a pilares e vigas e N corresponde aos nós da estrutura. Os nós foram considerados como engastados na base de todos os pilares. Já na ligação entre pilar e viga foi considerado como nó articulado.

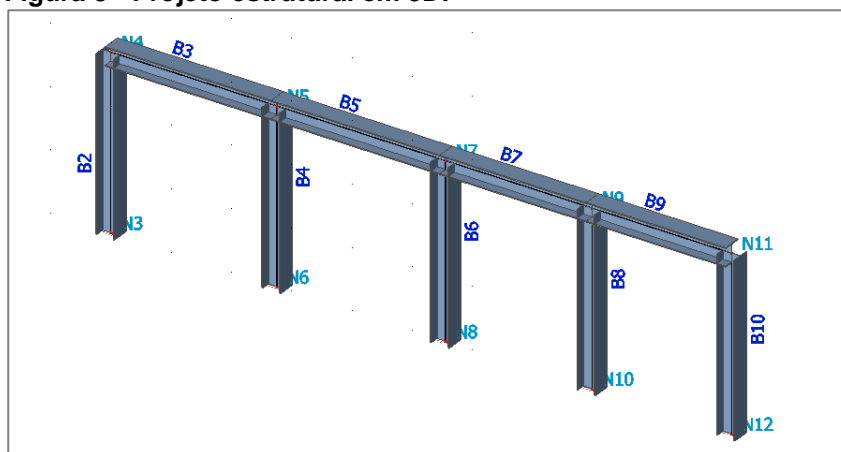
Figura 7 - Projeto estrutural com dimensionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software Autocad 2018.

No modelo tridimensional ou modelo 3D, conforme figura 8, podemos verificar a estrutura como um todo, as interferências, os perfis empregados e a nomenclatura para nós e barras. Este modelo pode ser exportado para outros softwares utilizados no mercado nacional e internacional.

Figura 8 - Projeto estrutural em 3D.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

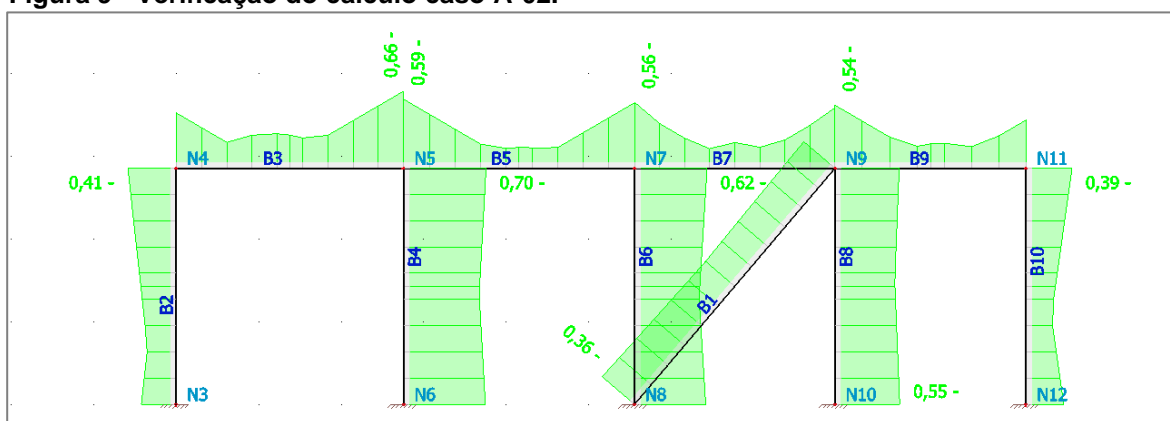
4.3 COMPARATIVO DOS CASOS A-02, B-02, A-07 e B-07

Com o estudo dos dois casos para cada tipo de material (COR 500 e ASTM A572 Grau 50), podemos demonstrar que as soluções escolhidas que foram

consideradas as mais adequadas em relação as cargas solicitantes, são os casos A-02, B-02, A-07 e B-07. Sendo assim, foram utilizados estes casos para otimizar os perfis empregados, não alterando os materiais (COR 500 e ASTM A572 Grau 50) propostos em cada caso analisado.

No caso A-02 podemos verificar que os pilares foram calculados para o perfil W 200x35.9 e as vigas para W 310x79. Para todos os pilares foram considerados os mesmos perfis assim como para as vigas, por questões de fabricação e orçamento dos perfis. Neste caso o pilar mais solicitado é o B4 com 70% e a viga B3 com 66%. No contraventamento B1 a solicitação ficou com 36% e o perfil foi alterado para W 150x13.

Figura 9 - Verificação do cálculo caso A-02.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

O quadro 1 mostra o peso total da estrutura e também de cada elemento estrutural calculado, mantendo os cálculos conforme a norma NBR 8800:2008. Esta lista de materiais é para o aço COR 500 e ASTM A572, pois no cálculo estrutural houve pouca diferença, permanecendo os mesmos perfis calculados.

Quadro 1 - Lista de materiais para os casos A-02 (COR 500) e B-02 (ASTM A572).

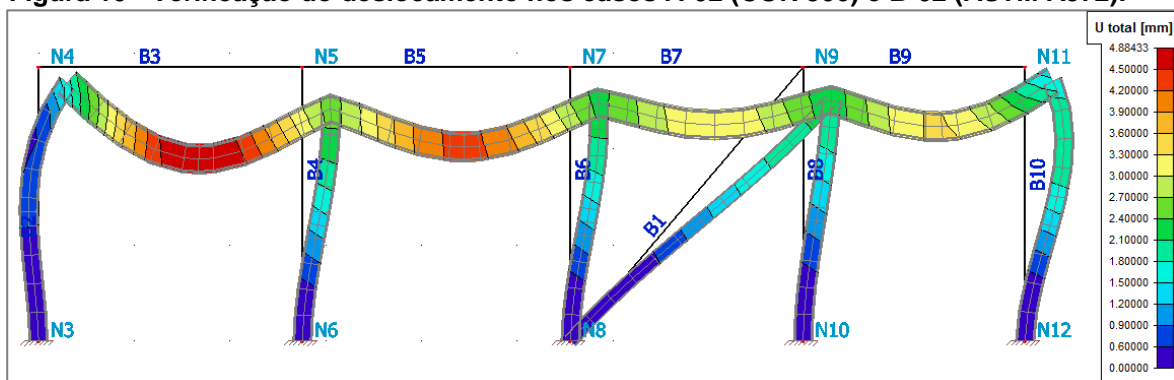
| Perfil | Elemento | Massa unitária [kg/m] | Comprimento [mm] | Massa [kg] |
|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------|
| W200X35.9 | Pilar | 78,5 | 10307,000 | 809,1 |
| W310X79 | Viga | 35,9 | 14260,000 | 511,6 |
| W150X13 | Contraventamento | 12,7 | 3747,490 | 47,7 |
| Total massa [kg] | | | | 1.368,40 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

Podemos observar também o deslocamento em milímetros para cada elemento na figura 10. A viga representada pelo elemento B3 se deslocou 4,8 mm, o que significa a pior situação deste elemento calculado, mesmo assim passa no cálculo.

Já o pilar B4 está com 3 mm de deslocamento. Nesta verificação de deslocamento permaneceram os mesmos perfis, tanto para o aço COR 500 quanto para o ASTM A572, que no cálculo não apresentavam diferenças entre perfis.

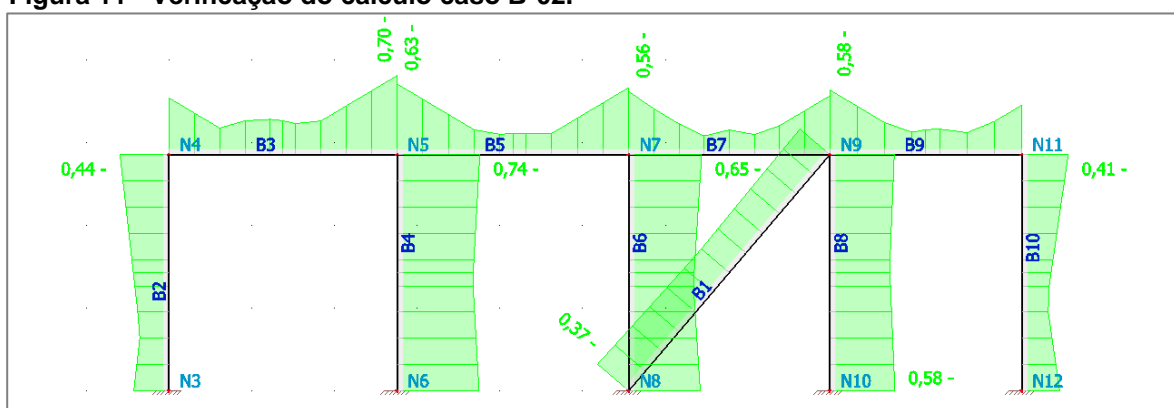
Figura 10 - Verificação do deslocamento nos casos A-02 (COR 500) e B-02 (ASTM A572).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

No caso B-02 podemos verificar que os pilares foram calculados para o perfil W 200x35.9 e as vigas para W 310x79. Para todos os pilares foram considerados os mesmos perfis assim como para as vigas, por questões de fabricação e orçamento dos perfis. Neste caso o pilar mais solicitado é o B4 com 74% e a viga B3 com 70%. No contraventamento B1 a solicitação ficou com 37% e o perfil foi alterado para W 150x13.

Figura 11 - Verificação do cálculo caso B-02.



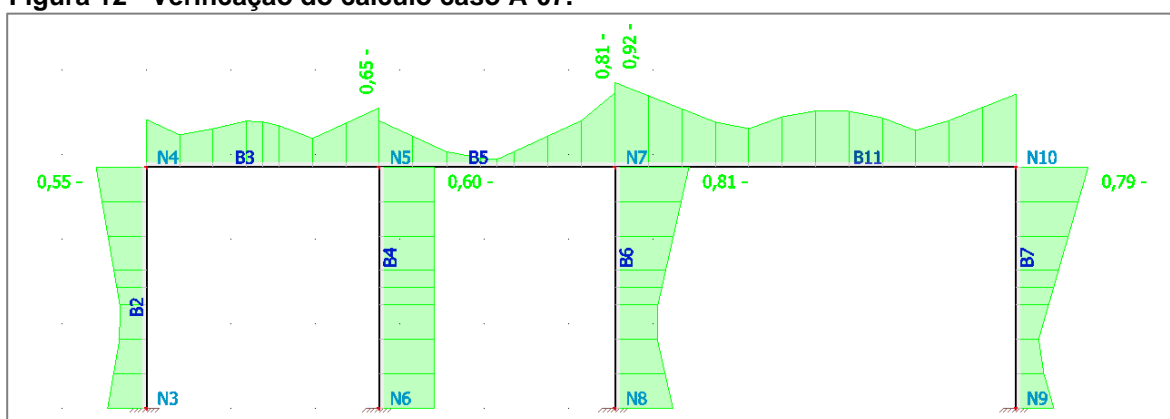
Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

O quadro 1 apresentado anteriormente, mostra o peso total da estrutura para o caso B-02 e também de cada elemento estrutural calculado, mantendo os cálculos conforme a norma NBR 8800:2008. Esta lista de materiais é para o aço COR

500 e ASTM A572, pois no cálculo estrutural houve pouca diferença, permanecendo os mesmos perfis calculados.

No caso A-07 podemos verificar que os pilares foram alterados. O elemento B2 e B4 foram alterados para o perfil W 200x35.9. Já os pilares B6 e B7, assim como as vigas B3 e B5 foram alteradas para o perfil W 310x67. Somente a viga B11 foi calculada para o perfil W 310x97. Para a estrutura como um todo, pilares e vigas, foram considerados perfis similares afim de otimizar os processos de fabricação e orçamento dos perfis. Neste caso o pilar mais solicitado é o B6 com 81% e a viga B11 com 92%. Neste caso não há contraventamento.

Figura 12 - Verificação do cálculo caso A-07.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do *software SCIA Engineer*.

O quadro 2 mostra o peso total da estrutura e também de cada elemento estrutural calculado, mantendo os cálculos conforme a norma NBR 8800:2008. Esta lista de materiais é para o aço COR 500 e ASTM A572, pois no cálculo estrutural houve pouca diferença, permanecendo os mesmos perfis calculados.

Quadro 2 - Lista de materiais para os casos A-07 (COR 500) e B-07 (ASTM A572)

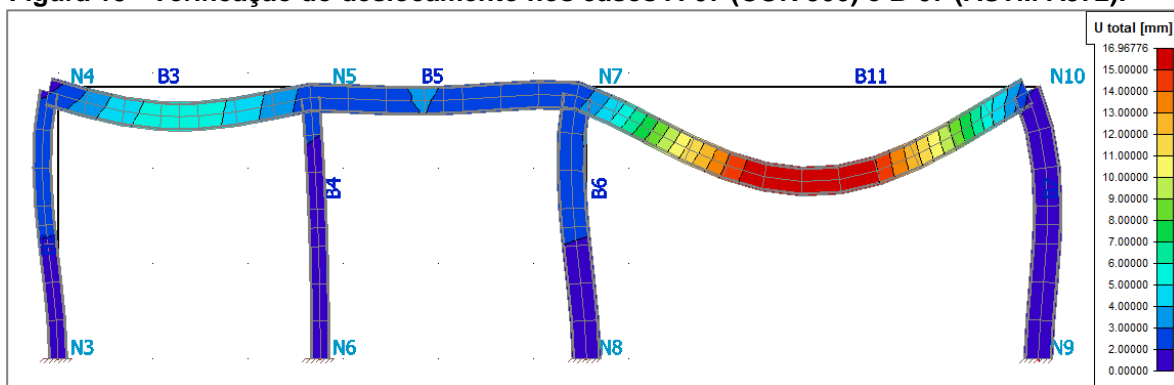
| Perfil | Elemento | Massa unitária [kg/m] | Comprimento [mm] | Massa [kg] |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|------------|
| W310X97 | Viga B11 | 96,6 | 4750,000 | 458,6 |
| W310X67 | Vigas B3, B5 e Pilares B6, B7 | 66,5 | 11261,001 | 748,7 |
| W200X35.9 | Pilares B2 e B4 | 35,9 | 5704,000 | 204,6 |
| Total massa [kg] | | | | 1.411,90 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do *software SCIA Engineer*.

Podemos observar também o deslocamento em milímetros para cada elemento na figura 13. A viga representada pelo elemento B11 se deslocou 16,9 mm, o que significa a pior situação deste caso, porém, ainda assim passa no cálculo. Já o

pilar B6 está com 3 mm de deslocamento. Nesta verificação de deslocamento permaneceram os mesmos perfis calculados, tanto para o aço COR 500 quanto para o ASTM A572, que no cálculo não apresentavam diferenças entre perfis.

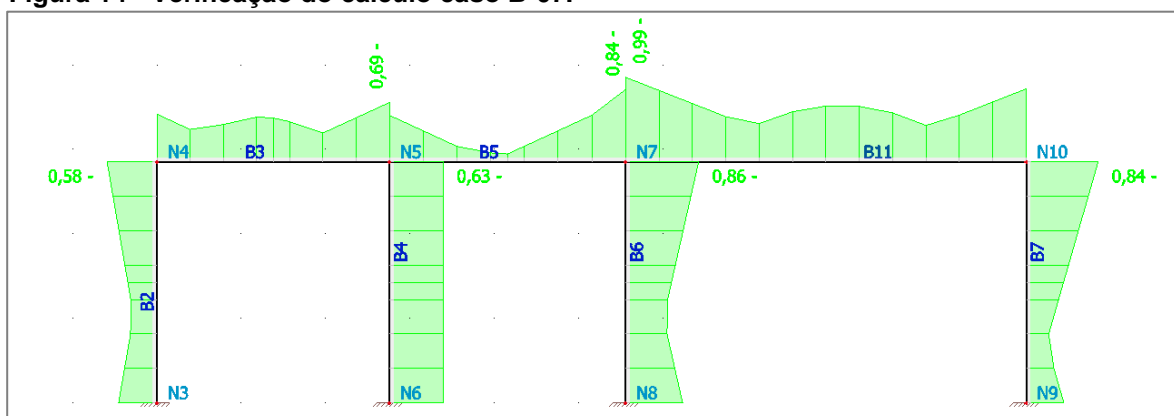
Figura 13 - Verificação do deslocamento nos casos A-07 (COR 500) e B-07 (ASTM A572).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

No caso B-07 podemos verificar que os pilares foram calculados. O elemento B2 e B4 foram alterados para o perfil W 200x35.9. Já os pilares B6 e B7, assim como as vigas B3 e B5 foram alteradas para o perfil W 310x67. Somente a viga B11 foi calculada para o perfil W 310x97. Para a estrutura como um todo, pilares e vigas, foram considerados perfis similares afim de otimizar os processos de fabricação e orçamento dos perfis. Neste caso o pilar mais solicitado é o B6 com 86% e a viga B11 com 99%. Neste caso não há contraventamento.

Figura 14 - Verificação do cálculo caso B-07.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do software SCIA Engineer.

O quadro 2 apresentado anteriormente, mostra o peso total da estrutura para o caso B-07 e também de cada elemento estrutural calculado, mantendo os cálculos conforme a norma NBR 8800:2008. Esta lista de materiais é para o aço COR

500 e ASTM A572, pois no cálculo estrutural houve pouca diferença, permanecendo os mesmos perfis calculados.

4.4 ORÇAMENTO DE PERFIS

O perfil COR 500 além do preço ser maior por quilo é mais difícil de encontrar, pois é produzido sob encomenda de no mínimo sessenta toneladas para cada tipo de perfil laminado, isto se deve ao processo de produção do aço laminado. Já o aço ASTM A572 é o aço mais produzido e mais utilizado, com produção em larga escala no Brasil. Os perfis laminados de abas paralelas (nomenclatura W) são produzidos na usina da Gerdau, localizada em Ouro Branco, Minas Gerais, porém a sua compra é feita através das representações comerciais da Gerdau, encontrada na grande maioria dos estados do Brasil. Os preços utilizados no quadro 3, foram informados através da Comercial Gerdau de Joinville em Santa Catarina.

No quadro 3 está representado os valores totais para cada caso estudado. Podemos observar que o material COR 500 custa R\$ 4,20 por quilo e o ASTM A572 Grau 50 custa R\$ 3,50 por quilo.

Quadro 3 - Orçamento dos perfis para cada material.

| Casos | Material | Total Massa [kg] | Preço [R\$/kg] | Preço total [R\$] |
|-------|--------------|------------------|----------------|-------------------|
| A-02 | COR 500 | 1.368,40 | 4,20 | 5.747,28 |
| B-02 | A572 grau 50 | 1.368,40 | 3,50 | 4.789,40 |
| A-07 | COR 500 | 1.411,90 | 4,20 | 5.929,98 |
| B-07 | A572 grau 50 | 1.411,90 | 3,50 | 4.941,65 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017), através do *software* Microsoft Excel.

Nos pórticos mencionados nestes quatro estudos podemos verificar que o caso mais viável financeiramente para o projeto em questão é o caso B-02, com o preço total de R\$ 4.789,40, seguido do caso B-07 que ficou com o preço total de R\$ 4.941,65 ambos com o material ASTM A572 grau 50. Já os perfis que foram utilizados o material COR 500, casos A-02 e A-07, chegaram ao preço total respectivamente de R\$ 5.747,28 e R\$ 5.929,98, sendo o caso A-07 com o preço mais elevado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo geral analisar a estrutura de um pórtico em aço através da utilização do *software* SCIA *Engineer* e verificar as ações do carregamento de uma caldeira afim de dimensionar os perfis estruturais, conforme a NBR 8800:2008, assim como o melhor material a ser utilizado, o comportamento da estrutura e o custo dos perfis para obtenção dos resultados finais.

Conclui-se que para o caso A-02 com o material COR 500 que possui limite de escoamento igual a 370 MPa, o pilar mais solicitado foi o B4 com 70%, já no caso B-02 com o material ASTM A572 Grau 50 que possui limite de escoamento igual a 345 MPa, o pilar mais solicitado foi o B4 com 74%. Neste caso houve uma pequena diferença nas solicitações, devido a diferença do limite de escoamento entre os dois materiais. Comparando o preço total dos perfis empregados nos pórticos dos casos A-02 e B-02, respectivamente totalizaram o valor de R\$ 5.747,28 e R\$ 4.789,40, chegando a uma diferença R\$ 957,88 no valor final entre os casos.

Para o caso B-02 com o material ASTM A572 Grau 50 que possui limite de escoamento igual a 345 MPa, a viga mais solicitada foi a B3 com 70%, já no caso B-07 também com o mesmo material, a viga mais solicitada foi a B11 com 99%. Neste caso houve uma grande diferença nas solicitações devido ao aumento do vão no caso B-07, com a retirada de um pilar. Comparando o preço total dos perfis empregados nos pórticos dos casos B-02 e B-07, respectivamente totalizaram o valor de R\$ 4.789,40 e R\$ 4.941,65, chegando a uma diferença R\$ 152,25 no valor final.

Comparando os deslocamentos entre as configurações dos pórticos, casos A-02 e B-02 chegaram a um máximo de 4,88 mm, já os casos A-07 e B-07 de 16,96 mm, porém ainda assim os mesmos resistiram aos esforços solicitados no cálculo.

Dentre os quatro pórticos calculados, foi comparado o preço final de cada pórtico. Sendo que no caso A-02 o preço total foi de R\$ 5.747,28, seguido do caso A-07 que ficou com o preço total de R\$ 5.929,98, ambos com o material COR 500, onde no caso A-07 obteve-se o preço mais elevado. Já os perfis que foram utilizados o material ASTM A572 grau 50, os casos B-02 e B-07, chegaram ao preço total respectivamente de R\$ 4.789,40 e R\$ 4.941,65, neste caso conclui-se que o caso mais viável financeiramente para o projeto em questão foi o caso B-02. Foi concluído com este estudo que a melhor base metálica de suporte para a caldeira em questão

foi o caso B-02, devido ao peso total da estrutura e seu preço final, apesar do aço ASTM A572 Grau 50 ser menos resistente que o COR 500.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**. Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de Edifícios. Rio de Janeiro: 2008.

BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2ª. ed. São Paulo: Pini, 2008.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de orçamento e planejamento de obras**. São Leopoldo: UNISINOS, 2008. 49 f. Notas de aula.

KRIPKA, Moacir. **Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura: estruturas isostáticas**. 2ª. ed. São Paulo: Pini, 2011.

LEET, Kenneth M.; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

MACHADO JUNIOR, Eloy Ferraz. **Introdução a isostática**. 3ª. ed. São Carlos: EESC/USP, 1999.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de casos, exemplos**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2006.

PEREIRA, Ronivon Soares. **Ligações em estruturas de aço utilizando emendas com parafusos de alta resistência solicitadas na flexão simples**. 2014. 135 f. Dissertação - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/3997>> . Acesso em: 11 de jun. 2017.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

RAYAPROLU, Kumar. **Boilers for Power and Process**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de aço para edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção**. São Paulo: Blucher, 2010.

TECEM - Tecnologia Empresarial. **Perfis de aço formatos I e H**. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2013/03/AB22-perfis-de-aco-formato-i-e-h-tecem.pdf>>. Acesso em: 11 de jun. 2017.