

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ULISSES DOS REIS BARROS

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO EM
ESTRUTURA METÁLICA

VOLTA REDONDA

2017

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO EM
ESTRUTURA METÁLICA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aluno:

ULISSES DOS REIS BARROS.

Orientador:

Prof. LUIGI WALTER ANDRIGHI.

VOLTA REDONDA

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno:

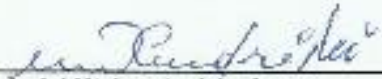
Ulisses dos Reis Barros

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUCTIVO EM ESTRUTURA METÁLICA

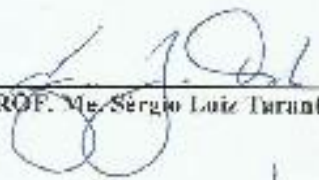
Orientador

PROF. Luigi Walter Andrigui

Banca Examinadora



PROF. Luigi Walter Andrigui



PROF. M. Sérgio Luiz Taranto Reis



PROF. Westen Neri de Lima

Dedicado a minha filha Cecília.

AGRADECIMENTOS

À Deus;

Aos meus pais, Pedro Batista e Marilza Catarina, por me darem todo apoio e força;

A minha amada esposa, Patrícia Fernandes, por me dar todo amor e carinho estando sempre ao meu lado;

Ao Prof. Luigi Walter Andrichi por me proporcionar todo conhecimento para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

RESUMO

A competitividade existente nos dias atuais exige que os projetos cumpram os requisitos de desempenho e segurança, obtendo um custo menor que os concorrentes, então, o menor custo será em função do menor peso, a padronização dos elementos estruturais, sistemas construtivos, conexões e sistemas de vedação também influenciam para que o projeto obtenha um menor custo. Os erros de cálculo, escolha de perfis ou chapas de espessura inadequada, ou aço de resistência mecânica inferior à considerada no projeto estrutural, são perigosas, pois, comprometem a segurança e a funcionalidade da estrutura, dificultando a recuperação, e quando é feito exige um alto custo. Este estudo mostrará que com as análises feitas nos perfis, é possível concluir que para o dimensionamento de uma viga o perfil I oferece um melhor desempenho, quando o objetivo é o dimensionamento de um pilar o melhor a ser utilizado é um perfil H. Estas duas escolhas fornecerão ao projeto a economia e segurança almejada. Podemos citar também, como modelo de otimização de uma estrutura, as treliças, que também oferecem possibilidades para reduzir o custo de construção, a ideia é que a inserção das barras na estrutura deve ser analisada de forma que se reduzam as forças de compressão, forças essas que são as mais críticas em uma estrutura metálica. Chegou-se a conclusão que, para ter mais eficiência para suportar as cargas existentes em uma estrutura, os perfis terão que ser dimensionados corretamente para cada caso, fornecendo ao projeto a economia à eficiência desejada.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. CONCEITOS BÁSICOS	3
1.1. Tipos de Aços Estruturais	3
1.2. Propriedades mecânicas do Aço.....	3
1.3. Conceito de Estrutura.....	5
1.4. Ações nas Estruturas	5
1.5. Sistema Estrutural para resistir cargas horizontais	9
2. ESCOLHA DO PERFIL IDEAL PARA CADA CASO.....	11
2.1. Tipos de Perfil	11
2.2. Esforços mecânicos	16
2.3. Perfil utilizado em vigas.....	19
2.3. Perfil utilizado em Pilar.....	20
2.3. Treliças.....	23
CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	27

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Diagrama tensão - deformação para aços estruturais.	4
Figura 2: Perfil I.	11
Figura 3: Perfil H.	12
Figura 4: Cantoneiras de abas iguais.	12
Figura 5: Cantoneiras de abas desiguais.	13
Figura 6: Perfil T.	13
Figura 7: Perfil U.	14
Figura 8: Perfil U enrijecido.	14
Figura 9: Perfil Z.	15
Figura 10: Tubo circular.	15
Figura 11: Tubo quadrado.	16
Figura 12: Esforços mecânicos.	18
Figura 13: Modelo matemático de uma viga.	19
Figura 14: Modelo matemático de um pilar.	21
Figura 15: Elementos de uma treliça.	23
Figura 16: Modelo Treliça 1.	24
Figura 17: Modelo Treliça 2.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Coeficiente de majoração das ações permanentes	8
Tabela 2 Coeficiente de majoração das ações variáveis	9
Tabela 3 Fator Psi para combinação das ações	9
Tabela 4: Tabela de resultados.	20
Tabela 5: Tabela de resultados.	21

LISTA DE SIGLAS

E	Módulo de Elasticidade
ν	Coeficiente de Poison
β	Coeficiente de dilatação térmica
S_d	Solicitação de cálculo
γ_a	Peso específico do Aço
γ_g	Coeficiente de majoração de ações Permanentes
γ_{q1}	Coeficiente de majoração de ação variável principal
γ_{qi}	Coeficiente de majoração das demais ações variáveis
G	Ação permanente
Q_1	Ação variável principal
Q_i	Demais ações variáveis
ψ_i	Fatores de combinação
d	Altura do perfil
b_f	Largura da mesa
t	Espessura
t_f	Espessura da mesa
t_w	Espessura da alma
b	Aba
T	Tração
C	Compressão
f_y	Tensão limite de escoamento
M_{pl}	Momento plástico

Z_x Módulo plástico de resistência da seção x

ε Deformação unitária do Aço

INTRODUÇÃO

Em meados do século XIX houve um grande desenvolvimento da Engenharia Estrutural, que começou a explorar as vantajosas propriedades do Aço. Procurou-se encontrar formas de diminuir os prazos das construções, para isso estudos foram realizados e se concluiu que as propriedades mecânicas do aço transmitem e suportam muito bem os esforços mecânicos.

A primeira construção feita com material siderúrgico datou-se de 1780, quando foram construídas pontes com ferro trabalhando em compressão. No final do século XVIII o ferro forjado começou a ser inserido em pontes suspensas com formas de correntes de barras, o ferro forjado apresenta também, boa resistência à corrosão (PFEIL, Walter; PFEIL, Michele, 2009).

Devido ao grande número de acidentes nas construções com ferro forjados e ferro fundido, estudos e pesquisas sobre materiais mais adequados e eficientes fizeram-se essenciais. Então, voltaram-se as atenções para o Aço, já descoberto, mas, com preço ainda inacessível. Com o processo de fabricação industrial desenvolvido pelo inglês *Henry Bessemer*¹, a produção do Aço em larga escala foi difundida mundialmente, substituindo o ferro forjado e o ferro fundido. A partir deste momento, houve um grande avanço na Engenharia Estrutural. (PFEIL, Walter; PFEIL Michèle, 2009).

O desenvolvimento industrial das Estruturas Metálicas possibilitou que o Brasil tenha capacidade produtiva expressiva o suficiente para ser equiparada a empresas estrangeiras. Considerando todo o processo, desde o projeto, passando pela fabricação até a montagem. (BARROSO, Paulo, 1992).

Construções metálicas possuem um custo global menor do que as convencionais, quando comparadas a edificações prontas, Barroso explica que as construções metálicas podem obter uma economia de até 25% no projeto total (BARROSO, Paulo, 1992).

¹ Engenheiro metalúrgico que criou o processo Bessemer para fabricação do Aço, patentado em 1856.

Fay (2006), explica que a competitividade existente nos dias atuais exige que os projetos cumpram os requisitos de desempenho e segurança, obtendo um custo menor que os concorrentes, então, o menor custo será em função do menor peso, Castro (1999), complementa que a padronização dos elementos estruturais, sistemas construtivos, conexões e sistemas de vedação também influenciam para que o projeto obtenha um menor custo.

Os erros de cálculo, escolha de perfis ou chapas de espessura inadequada, ou aço de resistência mecânica inferior à considerada no projeto estrutural, são perigosas, pois, comprometem a segurança e a funcionalidade da estrutura, dificultando a recuperação, e quando é feito exige um alto custo (CASTRO, 1999).

Este trabalho mostrará como é possível escolher o perfil ou sistema estrutural que se adapta melhor a cada situação, apresentando um bom desempenho.

Por ter identificado poucos estudos que sugere a execução de estruturas metálicas que suportem valores elevados de carga, mantendo baixo custo, para fins de concorrência, o trabalho se propõe a ser útil para desenvolvimento de novas pesquisas com a intenção de otimizar a construção em Estruturas Metálicas.

1. CONCEITOS BÁSICOS

Nessa unidade será possível entender as teorias básicas relacionadas a uma estrutura metálica. Partindo da composição química do aço estrutural, suas propriedades mecânicas, a função de uma estrutura, e chegando às ações que a estrutura sofrerá durante sua vida útil, incluindo também o sistema que suportará as cargas horizontais. Estes conceitos formarão o conjunto de ideias que levará a solução de como suportar as ações sofridas pelas estruturas.

1.1. Tipos de Aços Estruturais

A classificação dos Aços Estruturais é definida pela composição química sendo dividida em dois grupos: Aços-carbono e Aços de baixa liga.

Os Aços-carbono são os mais usados, podendo variar sua resistência através da quantidade de carbono existente, podendo atingir até 2,0% de carbono. Desta forma, aumenta a resistência, mas, diminui a ductilidade, trazendo problemas na solda (NETO, 2008).

Os Aços de baixa liga são os aços-carbono incrementados com elementos de liga melhorando as propriedades mecânicas. Com os elementos de liga podemos melhorar a soldagem de um aço de baixo carbono (0,20%), mantendo a elevada resistência, (PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle, 2009).

1.2. Propriedades mecânicas do Aço

O Aço possui as seguintes constantes Físicas:

- Módulo de Elasticidade (E) = 20500MPa
- Coeficiente de Poisson (ν) = 0,3
- Coeficiente de dilatação térmica (β) = $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Peso específico (γ_a) = 77 KN/m³

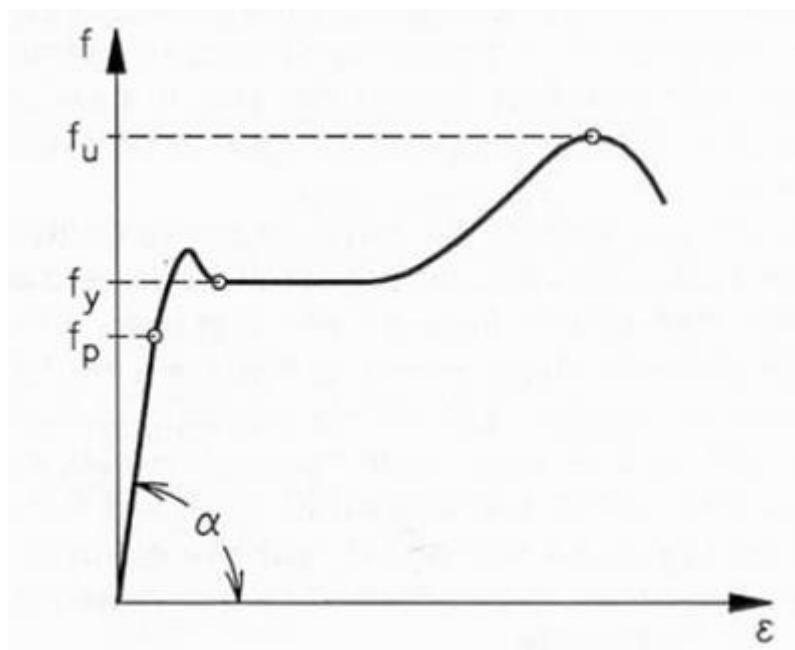


Figura 1: Diagrama tensão - deformação para aços estruturais.

Fonte: RODRIGUES, 2010.

Utilizando o diagrama da figura 1, o cálculo realizado na equação 1 é um exemplo de como se chegou ao módulo de elasticidade do o Aço MR 250 (cada tipo de aço possui um módulo de elasticidade diferente).

$$E = \frac{f_y}{\varepsilon} = tg\alpha \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{f_y}{E}$$

$$E = \frac{25}{0,00122} = 20500$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$E = tg = \frac{25}{0,00122} = 20500KN/cm^2$$

- **Ductilidade** - capacidade de o material deformar antes da ruptura com ação de cargas elevadas.
- **Fragilidade** – O material não apresenta deformação, se rompendo de repente.
- **Elasticidade** – capacidade que material possui de retornar ao seu estado inicial após o descarregamento.
- **Plasticidade** – deformação provocada por tensão igual ou superior ao limite de escoamento, resultando em deformação residual, o material não retorna em seu estado inicial.
- **Resiliência** – capacidade de absorção da energia mecânica elástica.
- **Tenacidade** – Energia total absorvida pelo material até sua ruptura.
- **Dureza** – resistência que a superfície no material apresenta contra risco e penetração.
- **Efeito de temperatura elevada** – Perda na resistência a escoamento, ruptura e módulo de elasticidade.
- **Fadiga** – rompimento do material em resistência menor a medida em ensaios estáticos, por motivo de esforços repetidos em grande número.
- **Corrosão** – provoca perda de seção das peças.

1.3. Conceito de Estrutura

Segundo DIAS (1997), estrutura é a parte ou conjunto de partes de uma construção que se destina a resistir a cargas. Estas partes são ligadas umas as outras através de conexões que tem o objetivo de transmitir a carga solicitante até o solo. A estrutura deve apresentar segurança, funcionalidade e durabilidade.

Os elementos que compõe a estrutura são: blocos, folhas, barras, placas ou lajes, chapas ou paredes estruturais, vigas, pilares, tirantes e conexões.

1.4. Ações nas Estruturas

O Manual Brasileiro para Cálculo de Estrutura Metálica do Ministério da Indústria e do Comércio (1986) indica que as ações que agem nos elementos

estruturais dos edifícios podem ser de origem gravitacional (meteorológica ou sísmológico) ou humana (pessoas, equipamentos, elevadores e máquinas).

As ações permanentes são causadas pelo peso próprio dos elementos que compõe a estrutura como vigas, colunas etc. Já as ações variáveis são provocadas por cargas que, temporariamente, modificam sua localização, podendo ser veículos, móveis, arquivos, etc.(GUARNIER, 2009).

Por ser muito difícil a estimativa destas cargas, foram definidas como recomendações, valores de cargas e fatores de segurança tabelados, considerando valores equivalentes a cargas uniformemente distribuídas ou cargas concentradas.

Para o dimensionamento da estrutura, a NBR 8800² utiliza o Método dos Estados Limites onde os esforços e as deformações devem ser inferiores a certos valores limites. Existem dois tipos de estado limite:

- Estado Limite Último, está relacionado ao colapso total ou parcial da estrutura podendo ser causado por perda de equilíbrio, ruptura por qualquer tipo de solicitação, instabilidade total ou parcial, flambagem global de barras e flambagem local de elementos das barras.
- Estado Limite de Utilização, está relacionado com o comportamento da estrutura, caso as deformações e as vibrações fiquem acima do normal, a estrutura não poderá ser utilizada para o fim que se propõe.

Como critério de dimensionamento para o estado limite último, a solicitação de cálculo deve ser menor ou igual à resistência de cálculo.

As estruturas podem sofrer mais de uma ação variável³, por isso, a NBR 8800 considera três tipos de combinações para o estado limite último:

- Combinações Normais são os carregamentos que podem surgir durante a vida da estrutura;

² A NBR 8800 trata do Projeto e Execução de Estruturas de Aços em Edifícios.

³ São consideradas ações variáveis as sobrecargas, cargas de equipamentos, variação de temperatura e vento.

- Combinações Construtivas incluem os carregamentos gerados pela construção e montagem da própria estrutura;
- Combinações Excepcionais, consideram os acidentes que podem surgir, gerando um carregamento não previsto.

As combinações Normais e Construtivas podem ser calculadas conforme a equação 2.

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g G + \gamma_{q1} Q_1 + \sum_{j=2}^n \gamma_{qi} \psi_i Q_i \quad (2)$$

Para as Ações Excepcionais utiliza-se a equação 3.

$$S_d = \sum \gamma_g G + E + \sum_{j=2}^n \gamma_{qi} \psi_i Q_i \quad (3)$$

Onde:

- S_d = Solicitação de cálculo;
- γ_g = coeficiente de majoração de ação permanente;
- G = Ação permanente;
- γ_{q1} = Coeficiente de majoração da ação variável principal;
- Q_1 = Ação variável principal;
- γ_{qi} = coeficiente de majoração das demais ações variáveis;
- ψ_i = fatores de combinação;
- Q_i = demais ações variáveis;
- E = Ação variável principal, que não é majorada, considerando todas as demais ações variáveis secundárias.

As tabelas a seguir demonstram os coeficientes utilizados para majorar as ações nas estruturas, sendo substituídos nas fórmulas de solicitação de cálculos mostradas acima.

As ações permanentes são consideradas os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes (NBR 8681, 2003)

Tabela 1 Coeficiente de majoração das ações permanentes

Coeficiente γ_g de Majoração das Ações Permanentes ^(a)			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Pequena variabilidade ^(b)	1,3 (1,0)	1,2 (1,0)	1,1 (1,0)
Grande variabilidade	1,4 (0,9)	1,3 (0,9)	1,2 (0,9)

Fonte: ANDRADE, 1994.

Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção. (NBR 8681, 2003)

Tabela 2 Coeficiente de majoração das ações variáveis

Coeficiente γ_q de Majoração das Ações Variáveis			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Recalque de apoio não planejado	1,2	1,2	0
Varição temperatura ^(c)	1,2	1,0	0
Proveniente do uso da edificação ^(d)	1,5	1,3	1,1
Demais ações variáveis	1,4	1,2	1,0

Fonte: ANDRADE, 1994.

Para cada tipo de carregamento devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura, sendo indicada a tabela 3. (NBR 8681, 2003).

Tabela 3 Fator Psi para combinação das ações

Fatores ψ de Combinação das Ações ^(a)	
Sobrecargas em pisos de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens. Conteúdo de silos e reservatórios.	0,75
Sobrecargas em outros tipos de pisos. Cargas de equipamentos e pontes rolantes.	0,65
Variações de temperatura. ^(b) Pressão dinâmica do vento.	0,60

Fonte: ANDRADE 1994.

1.5. Sistema Estrutural para resistir cargas horizontais

O sistema mais utilizado para resistir às cargas na horizontal é o contraventamento, considerado uma estrutura indeslocável, sua estabilidade é

adquirida através de barras inclinadas que juntamente com as vigas e pilares formam um sistema treliçado.

O contraventamento é vantajoso por causa de sua estrutura e suas ligações mais simples que formam um sistema mais leve, que levam a uma maior economia na fabricação, transporte e na montagem. Sua desvantagem é a possibilidade de interferência em espaços destinados a circulação, ou em fachadas e esquadrias.

O papel deste sistema é manter a estabilidade da estrutura quando agem sobre a edificação o vento, terremoto ou até mesmo a montagem com pequeno desvio dentro da tolerância aceita pela norma, fazendo com que os pilares se desviem do prumo, (PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle, 2009).

2. ESCOLHA DO PERFIL IDEAL PARA CADA CASO.

Corre-se o risco de aumentar os custos de fabricação, onerar os serviços de transporte, além de sobrecarregar o projeto estrutural. Por isso, já que há diversos tipos de perfis metálicos disponíveis no mercado, deve-se calcular com precisão a eficiência dos elementos e selecionar os mais adequados ao projeto estrutural.

Quando o perfil ideal para cada situação é empregado na Construção em Estrutura Metálica, os erros de projetos são minimizados, o custo construtivo é reduzido. Para isso, calculam-se os esforços que a barra sofrerá comparando com a capacidade de resistência das barras analisadas.

2.1. Tipos de Perfil

Os padrões comerciais de perfis metálicos são:

Perfil I é o perfil em que as mesas b_f são menores que a alma (figura 2).

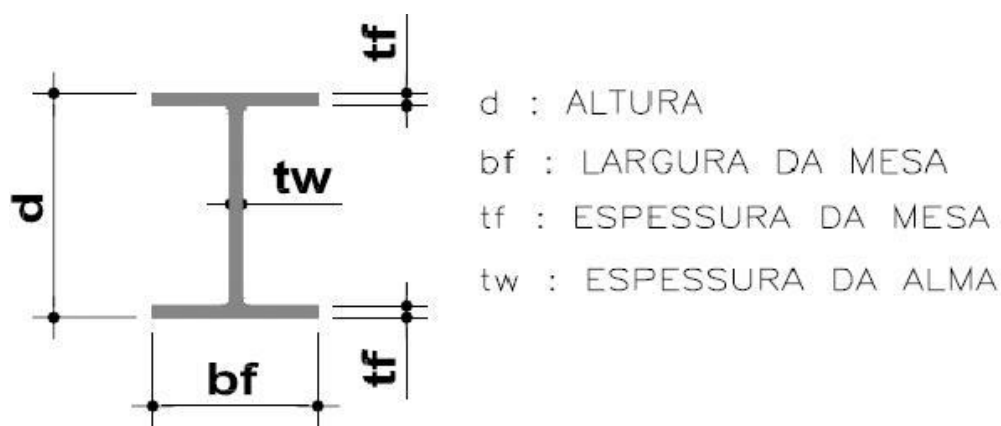


Figura 2: Perfil I.

Fonte:NETO, 2008.

3). Perfil H é o perfil em que as mesas (b_f) são maiores que a alma (figura



Figura 3: Perfil H.

Fonte: NETO, 2008.

Cantoneiras de abas iguais (figura 4).

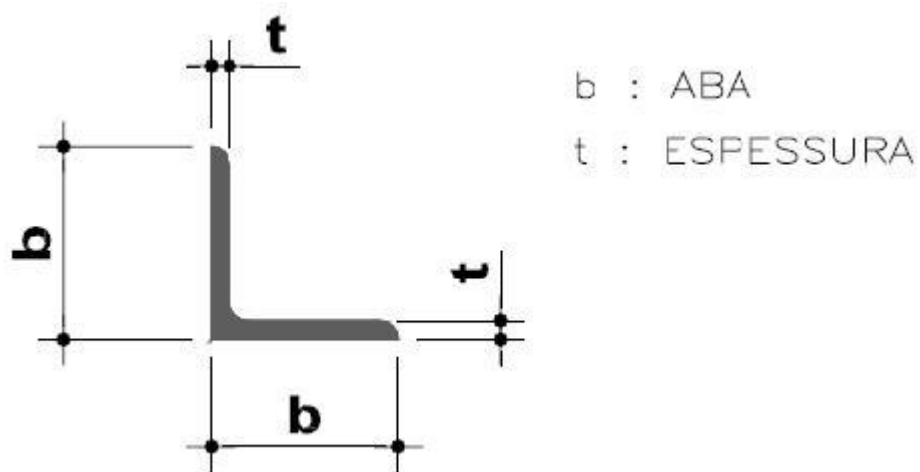


Figura 4: Cantoneiras de abas iguais.

Fonte: NETO, 2008.

Cantoneira de abas desiguais (figura 5).

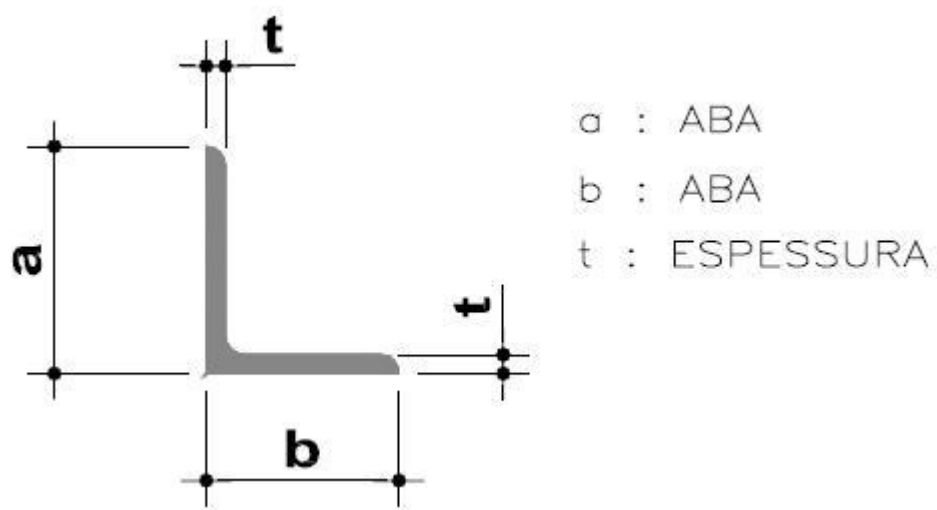


Figura 5: Cantoneiras de abas desiguais.

Fonte: NETO, 2008.

Perfil T (figura 6).

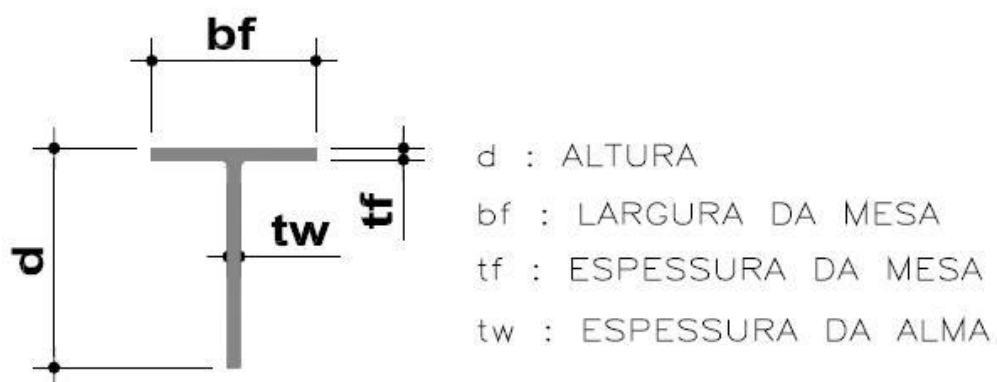


Figura 6: Perfil T.

Fonte: NETO, 2008.

Perfil U (figura 7).

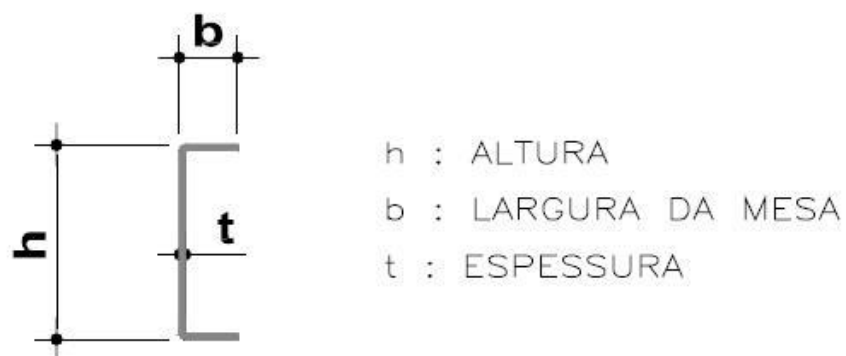


Figura 7: Perfil U.

Fonte: NETO, 2008.

Perfil U enrijecido (figura 8).

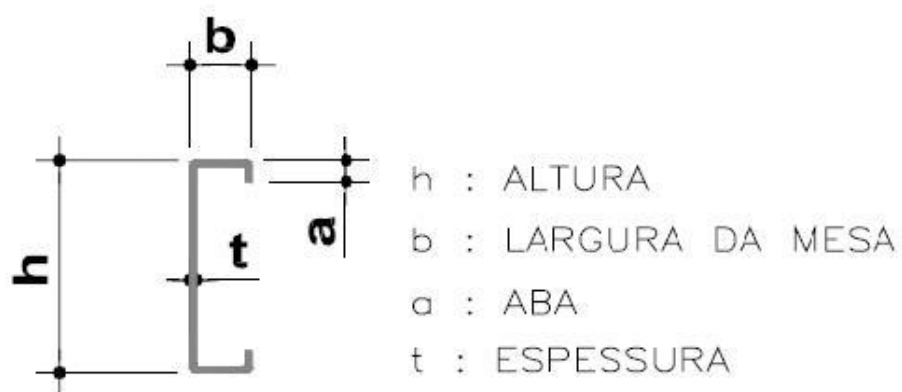


Figura 8: Perfil U enrijecido.

Fonte: NETO, 2008.

Perfil Z (figura 9).

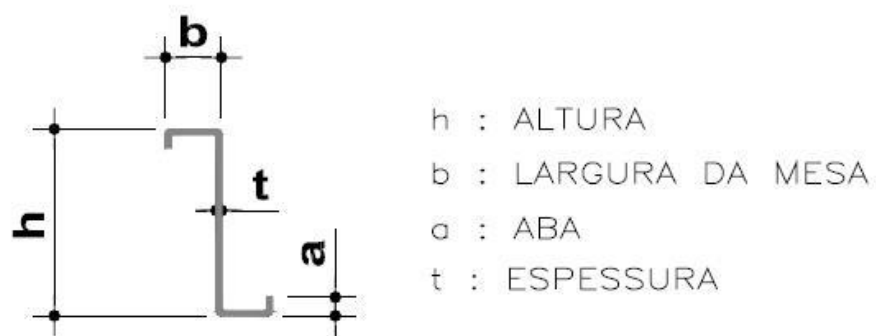


Figura 9: Perfil Z.

Fonte: NETO, 2008.

Tubo circular (figura 10).

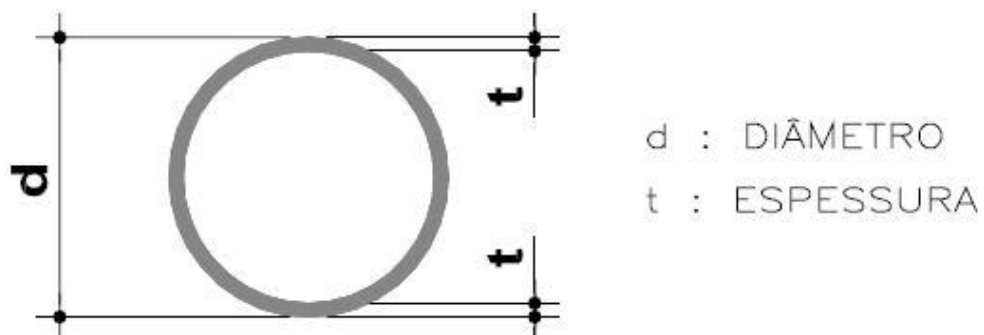


Figura 10: Tubo circular.

Fonte: NETO, 2008.

Tubo quadrado (figura 11).

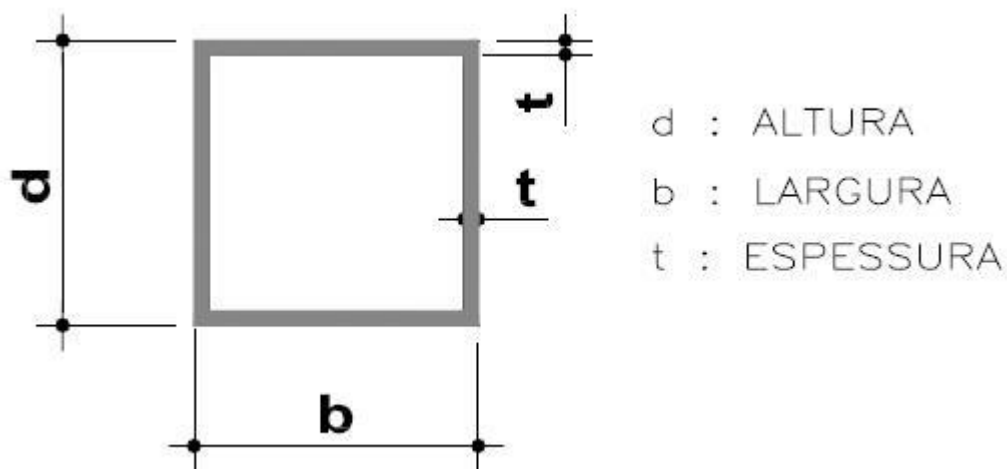


Figura 11: Tubo quadrado.

Fonte: NETO, 2008.

2.2. Esforços mecânicos

Tensão é a quantidade de força atuante em uma unidade de área, quando a força aplicada é perpendicular a superfície resistente denomina-se de tensão normal, tensão de compressão e tensão de tração (figura 12), esta força pode ser ainda, paralela à seção transversal, recebendo o nome de tensão de cisalhamento. As estruturas não trabalham dentro dos limites de resistência, mas, sim abaixo deles, dando origem às tensões admissíveis. A instabilidade da peça antes de atingir a tensão de ruptura gera a flambagem, que depende de alguns fatores como: intensidade da força, material, comprimento da barra, forma e dimensão da seção, e ainda, quando o material recebe as tensões, suas moléculas sofrem deslocamento, à este deslocamento dá-se o nome de deformação, através desta deformação é possível verificar se o material está sendo muito ou pouco solicitado (FAY, 2006).

Neto (2008) explica que a curvatura no eixo longitudinal da peça, chamada de Momento Fletor, será equilibrada pelas tensões normais. O

momento Torsor tende a girar a seção da peça em torno do seu eixo longitudinal sendo equilibrada pelas tensões de cisalhamento.

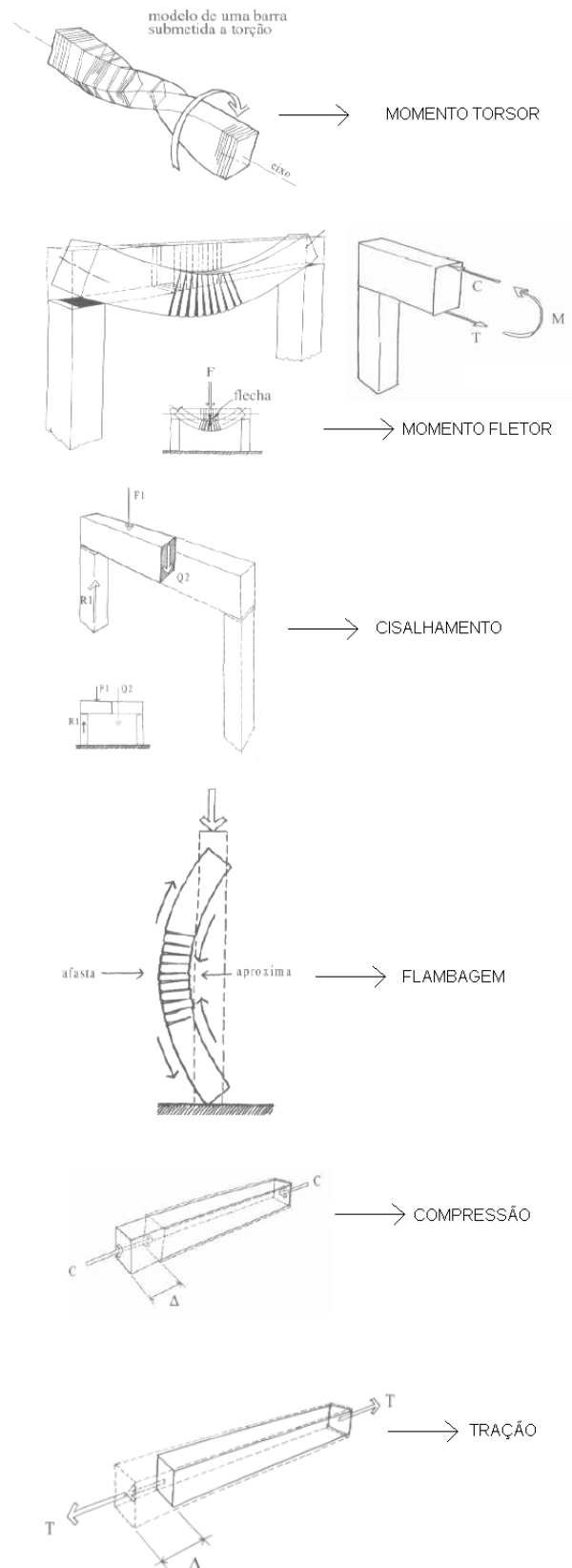


Figura 12: Esforços mecânicos.

Fonte: FAY, 2006.

2.3. Perfil utilizado em vigas.

As vigas são caracterizadas por transmitir cargas ao longo de um vão através de um eixo horizontal, está sujeita aos esforços de momento fletor e cisalhamento (FAY, 2006).

O perfil I é ideal para ser utilizado em vigas, pois, suportam muito bem os esforços de flexão. Em uma viga delgada o braço entre as forças de tração e compressão é muito curto, sendo ineficiente para transmitir as cargas para os pilares, então, para aumentar o braço entre estas forças, é removido material do centro da seção e transferido para as superfícies inferior e superior, formando uma seção em forma de I (LEET, UANG e GILBERT, 2010).

O exemplo da figura 13 mostra como o perfil I tem mais eficiência que outros perfis.

- A viga biapoiada com duas cargas concentradas será dimensionada para resistir o momento fletor aplicado pelas duas cargas concentradas existentes, os perfis abaixo serão testados para verificar qual deles terá o melhor desempenho.

1– Perfil laminado Gerdau série H HP 310 x 79,0

2 – Perfis laminado Gerdau série I W 360 x 79,0

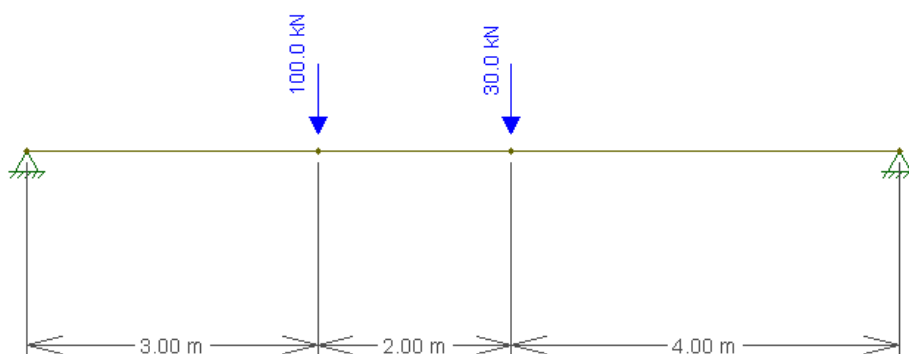


Figura 13: Modelo matemático de uma viga.

Fonte: Autor.

Resultados obtidos:

Tabela 4: Tabela de resultados.

PERFIL	Kg/m	RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR (KNm)
Laminado Gerdau série H HP 310 X 79,0	79,0	272,25
Laminado Gerdau série I W 360 X 79,0	79,0	316,00

Fonte: Autor.

Pode-se observar que o perfil laminado Gerdau série I W 360 x 79,0 obteve um melhor desempenho, com uma diferença de 43,75 KNm a mais que o perfil série H, é válido lembrar que os dois perfis possuem a mesma densidade linear, desta forma, o projeto será otimizado gastando a mesma quantidade de aço, mas, com uma eficiência melhor.

O resultado, neste caso, comprova que o perfil I é mais indicado para o dimensionamento de vigas. Não deve ser considerado como sempre será a melhor situação, pois se deve analisar sempre os perfis I e H em cada caso observando as suas inércias.

2.3. Perfil utilizado em Pilar.

Pilares resistem à tensão de compressão, dependendo da seção e do comprimento do pilar podem sofrer, também, flambagem (Fay, 2006).

O índice de esbeltez⁴ irá determinar a capacidade de compressão de uma barra, onde quanto maior a esbeltez mais a barra sofrerá flambagem, e quando a barra obtiver o índice de esbeltez baixo, ela resistirá altas cargas de compressão. Neste caso o perfil H é o mais indicado, por possuir o

⁴ $\lambda = \frac{b}{t}$, onde "b" é a largura do elemento que se deseja verificar e o "t" é a espessura deste elemento.

comprimento da alma menor que a de um perfil I (LEET, UANG e GILBERT, 2010).

O exemplo da figura 14 mostra como o perfil H tem mais eficiência que outros perfis.

Foram sugeridos dois perfis, fabricados com Aço MR 250, para construção de um pilar de um edifício de estrutura metálica com pé direito estrutural de 3m, conforme modelo estrutural apresentado abaixo:

Dados:

1 - Perfil I W 200 X 22,5

2 - Perfil H W 150 X 22,5

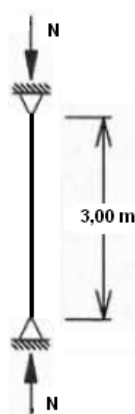


Figura 14: Modelo matemático de um pilar.

Fonte: Autor

Resultados alcançados:

Tabela 5: Tabela de resultados.

PERFIL	kg/m	RESISTÊNCIA DE CÁLCULO (KN)
I W 200 x 22,5	22,5	225,0
H W 150 x 22,5	22,5	390,0

Fonte: Autor.

Pode-se observar que o perfil I W 200 X 22,5 obteve uma resistência de 225 KN e o perfil H W 150 X 22,5 uma resistência de 390 KN, uma diferença, do primeiro para o segundo, de 165 KN as mais. Mesmo tendo a mesma densidade linear, o perfil H demonstrou mais eficiente que o perfil I, sendo indicado para a situação exposta no enunciado. Não deve ser considerado como sempre será a melhor situação, pois se deve analisar sempre os perfis I e H em cada caso observando as suas inércias.

Isso mostra, de forma clara, o objetivo deste trabalho que é a busca pelo perfil que apresenta o melhor desempenho em cada situação, onde resistirá carga imposta com uma melhor eficiência. O fato dos perfis I e H terem a mesma massa linear, não quer dizer que pode ser utilizados aleatoriamente, como mostra os resultados, o perfil com melhor desempenho fornecerá à estrutura projetada mais segurança e eficiência.

Caso os mesmos perfis forem utilizados como viga, os resultados serão:

- Para o perfil H W 150 X 22,5 com Aço MR 250

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y$$

$$M_{pl} = 176 \text{ cm}^3 \cdot 25 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_{pl} = 44 \text{ KNm}$$

- Para o perfil I W 200 x 22,5

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y$$

$$M_{pl} = 222 \text{ cm}^3 \cdot 25 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_{pl} = 55,50 \text{ KNm}$$

Os resultados mostram que o perfil I W 200 x 22,5 terá um melhor desempenho se utilizado como viga. Este exemplo confirma o objetivo deste trabalho que é a escolha do perfil que terá o melhor desempenho para cada situação.

2.3. Treliças

É um sistema estrutural que também poderá intervir na otimização do projeto estrutural, pois é composta por barras delgadas interligadas pelas extremidades através de nós articulados (figura 15).

Em uma estrutura de vão longo, o peso próprio pode representar a maior parte da carga de projeto a ser suportado, utilizando uma treliça, o engenheiro poderá projetar uma estrutura mais leve e mais resistente a um custo menor (LEET, UANG e GILBERT, 2010).

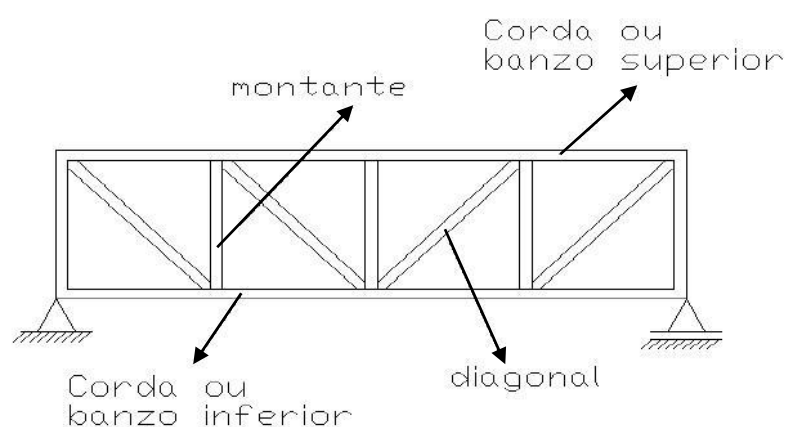


Figura 15: Elementos de uma treliça.

Fonte: SOUZA & RODRIGUES, 2008.

Tost and Medeiros (2010) explicam que para uma mesma situação de vão e carregamento, há inúmeras formas de se dispor as barras na treliça de forma eficaz, o projetista fará baseado em sua habilidade, experiência e intuição, desta forma, Ribeiro (2008) diz que esse processo nem sempre é o mais satisfatório, por causa das falhas humanas e por não apresentar garantias de que a solução será melhor do ponto de vista econômico, Fonseca (2007) afirma que encontrar a melhor solução por tentativas e erros é praticamente impossível.

A melhor forma é analisar a direção em que as diagonais se inclinam, pois, elas determinarão se a barra transmitirá uma força de tração ou compressão (LEET, UANG e GILBERT, 2010).

Através desta informação será possível comparar qual força será menor, onde a barra estará resistindo à compressão ou onde trabalhará a tração.

O exemplo das figuras 16 e 17 mostra, numericamente, como o modelo estrutural de uma treliça pode interferir para que a otimização da estrutura possa ocorrer.

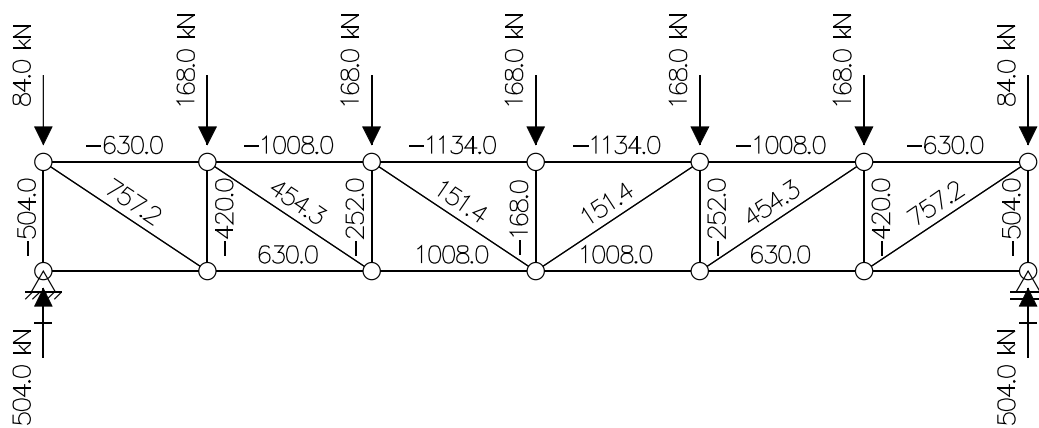


Figura 16: Modelo Treliça 1.

Fonte: Autor.

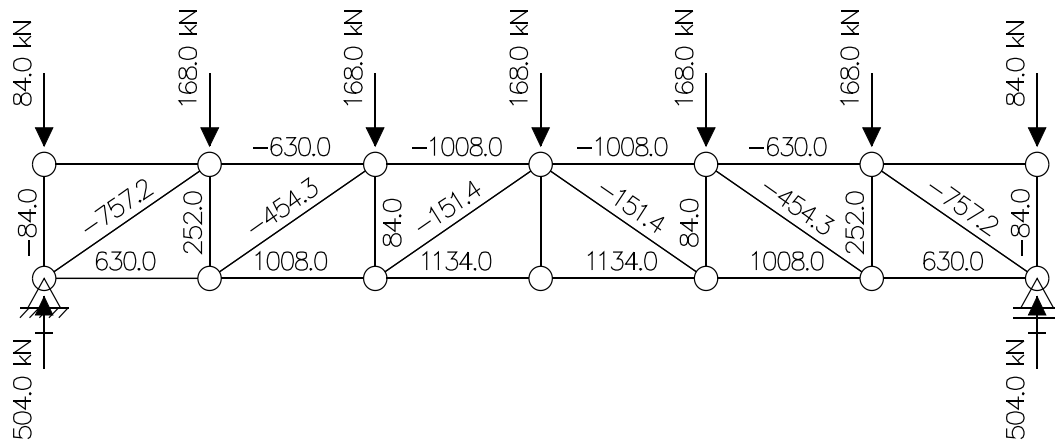


Figura 17: Modelo Treliça 2.

Fonte: Autor.

As treliças expostas mostram que o fato de ter modificado o modelo estrutural, inclinando as diagonais em sentidos diferentes, pode-se ter uma redução nos esforços de compressão, que são as solicitações críticas de uma treliça, pois, são as peças que apresentam efeito de flambagem, desta forma o modelo 2 é o mais eficiente.

CONCLUSÃO

Com as análises feitas nos perfis, é possível concluir que para os casos apresentados o dimensionamento de uma viga com o perfil I oferece um melhor desempenho, quando o objetivo é o dimensionamento de um pilar o melhor a ser utilizado é um perfil H. Estas duas escolhas fornecerão ao projeto a economia e segurança almejada. Pode-se citar também, como modelo de otimização de uma estrutura, as treliças, que também oferecem possibilidades para reduzir o custo de construção, a ideia é que a inserção das barras na estrutura deve ser analisada de forma que se reduzam as forças de compressão, que são as solicitações críticas de uma treliça ou peças comprimidas na estrutura. Assim pode-se otimizar uma estrutura metálica de um edifício de múltiplos andares, obtendo os melhores perfis e desempenhos nos pilares, vigas e até mesmo nas coberturas.

Desta forma, o trabalho apresentou procedimentos embrionários para análise estrutural na investigação de perfis metálicos e modelos estruturais eficientes para cada finalidade.

Chegou-se a conclusão que, para ter mais eficiência para suportar as cargas existentes em uma estrutura, os perfis terão que ser dimensionados corretamente verificando sempre a inércia de cada perfil para cada caso, fornecendo ao projeto economia com a mesma eficiência.

REFERÊNCIAS

ABCEM, **Associação Brasileira de Construção de Estrutura Metálica**, <http://www.abcem.com.br>.

ABNT NBR 8800, **Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios**, ABNT, Rio de Janeiro, 2008;

CHAMBERLAIN, Zacarias; FICANHA, Ricardo; FABEANE, Ricardo. **Projeto e calculo de Estruturas de Aço: Edifício industrial detalhado**. Rio de Janeiro, 2013.

DE CASTRO, EDUARDO MARIANO CAVALCANTE; **“Patologia Dos Edifícios Em Estrutura Metálica”**. Minas Gerais,1999.

DIAS, LUIZ ANDRADE DE MATTOS: **“Estrutura de Aço: conceito, técnicas e linguagem”**. São Paulo: Zigurate Editora,1997.

FAY, Liliana, **Estruturas arquitetônicas composição e moldagem**. UFRJ, Rio de janeiro, 2006.

FERREIRA, W. G., **Dimensionamento de Elementos de Perfis da Aço Laminados e Soldados**, Vitória, 2004;

FONSECA, M. da. **Otimização de estruturas treliçadas planas e espaciais sob carregamentos estáticos e dinâmicos, usando Algoritmos Genéticos e Redes Neurais**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

GUARNIER, Christiane Roberta Fernandes,**Metodologias de Detalhamento de Estruturas Metálicas**, Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas, departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação , Uberlândia, 2008.em Engenharia civil, 2009.

LEÃO, Marcelo; ARAGÃO, Moniz. **Estruturas Metálicas**, São Paulo, 2005.

LEET, Kenneth M, UANG, Chian-Ming, GILBERT, Anne M., **Fundamentos da Análise Estrutural**, Porto Alegre, 3º Ed, AMGH, 2010.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO, **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**, volume I, Brasília, Graphilivros Editores LTDA, 1989.

NETO, Augusto Cantusio, **Estrutura Metálica**, Faculdade de Engenharia Civil, PUC, Campinas, 2008.

PERFIS GERDAU AÇOMINAS, **Informações Técnicas**,
www.gedauacominas.com.br;

PERFIS USIMINAS MECÂNICA, **Catálogo de Perfis**,
www.usiminasmecanica.com.br

PFEIL, WALTER; PFEIL, MICHÈLE ; **Estrutura de aço: dimensionamento prático**. Rio de Janeiro : LTC, 2009.

PINHEIRO, Antônio Carlos. **Estruturas Metálicas: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. São Paulo, Editora Blucher LTDA, 2005.

RIBEIRO, L. M. P. **Otimização e dimensionamento de treliças planas de madeira empregando o método dos algoritmos genéticos**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

RIBEIRO, Juliano. **Estrutura Metálica, Peças tracionadas**. Goiania: PUC-GO, 2016.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes, RODRIGUES, Rafael Bezerra, **Sistemas Estruturais de Edificações e Exemplos**, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Estruturas, Campinas-SP, 2008.

TISOT, Guilherme di Domenico; MEDEIROS, Guilherme Fleith, **Estudo de treliças metálicas para cobertura em duas águas através de otimização topológica**, Construmetal – Congresso Latino Americano da construção metálica, São Paulo, 2010.