

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA DUARTE MILANI DE HOLANDA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE COBERTURA METÁLICA DE
UM GALPÃO AVIÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO - PR

2017

GABRIELA DUARTE MILANI DE HOLANDA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE COBERTURA METÁLICA DE UM
GALPÃO AVIÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO - PR

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Toledo

Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de N° TD_COECI_2017_2_089

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE COBERTURA METÁLICA DE UM GALPÃO AVIÁRIO

por

Gabriela Duarte Milani de Holanda

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 9:10h do dia **14 de Novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Evandro Kolling
(UTFPR – TD)

Prof. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

A região oeste do Paraná possui boa parte de sua economia voltada a atividade avícola, sendo a construção de galpões responsável por significativa parcela do investimento realizado pelos produtores do setor. Dessa forma esse trabalho buscou analisar a cobertura metálica de um galpão aviário construído na região. O trabalho seguiu as orientações da NBR 8800 (ABNT, 2008) para analisar a estrutura original e propor uma nova através de um redimensionamento. A análise revelou que a cobertura foi subdimensionada podendo essa entrar em colapso. Algumas hipóteses para o motivo do subdimensionamento foram apresentadas, porém o trabalho conclui-se que ainda que econômica, se a estrutura vir a falhar, o prejuízo financeiro pode superar a economia proporcionada pela estrutura menos onerosa adotada.

Palavras-chave: aviário, cobertura, subdimensionamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Malha das terças e treliças.

Figura 2: Aviário pronto para recebimento de novas aves.

Figura 3: Numeração dos nós para identificação dos mesmos e das barras.

Figura 4: Configuração da treliça tipo “Howe” (un.: metros).

Figura 5: Nomenclaturas adotadas das dimensões dos perfis U.

Figura 6: Posicionamento das terças.

Figura 7: Esquema representativo de áreas de influência de terças.

Figura 8: Distância entre os pontos de aplicação das cargas pontuais dos comedouros.

Figura 9: Mapa de Isopletas.

Figura 10: Convenção de direção do vento (D.V.).

Figura 11: Carregamento crítico para ventos na direção de 0° (kN/m^2).

Figura 12: Carregamento crítico para ventos na direção de 90° (kN/m^2).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de ponderação de cargas permanentes e acidentais.

Tabela 2: Fatores de minoração de ações.

Tabela 3: Coeficientes de segurança.

Tabela 4: Valores de resistência e rigidez do aço-carbono ASTM A36.

Tabela 5: Medidas dos perfis empregados.

Tabela 6: Propriedades de cada perfil.

Tabela 7: Ações admitidas para o galpão.

Tabela 8: Cargas aplicadas nas terças no Ftool.

Tabela 9: Forças cortantes, momentos fletores e deformações mais significativos nas terças.

Tabela 10: Cargas aplicadas nas treliças no Ftool.

Tabela 11: Forças axiais de tração (+) e compressão (-) e deformações.

Tabela 12: Combinações ELU e ELS para as terças.

Tabela 13: Combinações ELU e ELS para as treliças.

Tabela 14: Análise das condições de segurança das terças.

Tabela 15: Análise do deslocamento das terças

Tabela 16: Análise das barras tracionadas da treliça.

Tabela 17: Análise das barras comprimidas da treliça.

Tabela 18: Análise do deslocamento das treliças.

Tabela 19: Novos perfis adotados no redimensionamento da estrutura.

Tabela 20: Verificação das condições de segurança das terças.

Tabela 21: Verificação da flambagem das terças.

Tabela 22: Verificação da validade dos valores das forças cortantes.

Tabela 23: Reverificação das condições de segurança das terças.

Tabela 24: Análise do deslocamento das terças.

Tabela 25: Verificação das barras tracionadas da treliça.

Tabela 26: Verificação das barras comprimidas da treliça.

Tabela 27: Peso e custo da estrutura original.

Tabela 28: Peso e custo da estrutura redimensionada.

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Romanas Minúsculas:

b_f : largura total da mesa;

b/t : relação entre largura e espessura de cada componente da seção, AA ou AL;

$(b/t)_{lim}$: valores limites para relação entre largura e espessura para cada tipo de componente de seção;

d : altura da alma;

e : comprimento da aba de enrijecimento;

f_u : resistência à ruptura do aço;

f_y : resistência ao escoamento do aço;

f_d : valores de resistência de cálculo;

f_k : valores de resistência características;

i : menor raio de giração;

k_v : parâmetro em geral;

r_y : raio de giração da seção em relação ao eixo y;

t_f : espessura da mesa;

t_w : espessura da alma;

t : espessura do enrijecimento;

x : eixo x, distância x;

y : eixo y, distância y;

Letras Romanas Maiúsculas

A_e : área líquida efetiva da seção transversal do perfil;

A_g : área bruta da seção transversal do perfil;

A_w : área efetiva de cisalhamento, da alma quando fletida no eixo x ou das mesas quando fletida no eixo y do perfil U;

E : módulo de elasticidade do aço;

F_d : valores de cálculo das combinações últimas normais;

F_{ser} : valores de cálculo das combinações de serviço;

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

$F_{Qj,k}$: valores característicos das ações variáveis;

$F_{Q1,k}$: valor característico da ação variável principal;
 I_x : momento de inércia em x;
 I_y : momento de inércia em y
 L : comprimento de vão;
 L_b : comprimento entre os travamentos;
 L_{ef} : comprimento efetivo da barra comprimida
 M_{pl} : momento fletor de plastificação da seção transversal;
 M_{Rd} : momento fletor resistente de cálculo;
 $M_{Rd,x}$: momento fletor resistente no eixo x;
 $M_{Rd,y}$: momento fletor resistente no eixo y;
 M_{Sd} : momento fletor solicitante de cálculo;
 $N_{c,Rd}$: força axial de compressão resistente de cálculo;
 $N_{c,Sd}$: força axial de compressão solicitante de cálculo;
 $N_{t,Rd}$: força axial de tração resistente de cálculo;
 $N_{t,Sd}$: força axial de tração solicitante de cálculo;
 $N_{e,y}$: força axial de flambagem elástica para o eixo y;
 Q : fator de redução total associado à flambagem local;
 V_{pl} : força cortante de plastificação da alma ou das mesas;
 V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo;
 $V_{Rd,x}$: força cortante resistente no eixo x;
 $V_{Rd,y}$: força cortante resistente no eixo y;
 V_{Sd} : força cortante solicitante de cálculo;
 X_G : distância x do centro de gravidade;
 Y_G : distância y do centro de gravidade;
 Z_x : módulo de resistência plástico no eixo x;
 Z_y : módulo de resistência plástico no eixo y;
 W_x : módulo de resistência elástico no eixo x;
 W_y : módulo de resistência elástico no eixo y.

Letras gregas:

δ : deslocamento total;
 δ_x : deslocamento em x;

δ_y : deslocamento em y;

γ_{a1} : coeficiente de segurança ao escoamento, à flambagem e à instabilidade;

γ_{a2} : coeficiente de segurança de ruptura;

γ_{gi} : coeficiente de ponderação das ações permanentes;

γ_{q1} : coeficiente de ponderação da ação variável principal;

γ_{qj} : coeficiente de ponderação das ações variáveis secundárias;

λ : índice de esbeltez da seção;

λ_0 : índice de esbeltez reduzido;

λ_p : parâmetro de esbeltez limite para seções compactas;

λ_r : parâmetro de esbeltez limite para seções semicompactas;

χ : fator de redução associado resistência de compressão;

ψ_{0j} : fator de minoração no estado de limite último;

ψ_{2j} : fator de minoração de serviço;

θ : ângulo de inclinação do telhado, ângulo entre os banzos superiores e inferiores.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	9
1.2	OBJETIVO GERAL	10
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	AVICULTURA NO BRASIL	12
2.2	INSTALAÇÕES AVÍCOLAS ATUAIS	13
2.3	ESTRUTURAS METÁLICAS	14
2.4	O PROJETO ESTRUTURAL	16
2.5	Combinações	18
2.6	Resistências de cálculo	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	DESCRIÇÃO DO GALPÃO AVIÁRIO	20
3.2	COBERTURA.....	21
3.3	ESPECIFICAÇÕES DO AÇO	22
3.4	HIPÓTESES DE CÁLCULO	24
3.5	AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA	24
3.5.1	Ações permanentes	24
3.5.2	Ações variáveis.....	26
3.5.2.1	Acidental	26
3.5.2.2	Vento	26
3.6	SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO.....	28
3.7	ANÁLISE DA ESTRUTURA EXISTENTE.....	29
3.7.1	Terças.....	29
3.7.2	Treliças.....	32
3.8	REDIMENSIONAMENTO.....	34
3.9	ORÇAMENTO E CÁLCULO DO PESO TOTAL DAS ESTRUTURAS	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE.....	35
4.1.1	Ações consideradas.....	35

4.1.2	Combinações	38
4.1.3	Verificação das terças.....	39
4.1.4	Verificação das barras das treliças.....	40
4.2	REDIMENSIONAMENTO.....	42
4.3	ORÇAMENTO DO MATERIAL DA ESTRUTURA.....	45
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a União Brasileira de Avicultura, UBABEF, o consumo de carne de frango no Brasil cresceu em proporções significativas nas últimas décadas apesar das crises enfrentadas pelo país. Este crescimento fez do Brasil o maior exportador mundial desta proteína animal, e proporcionou o segundo lugar no ranking de maior produtor mundial, permitindo consideráveis possibilidades no mercado de trabalho do setor avícola para o trabalhador brasileiro.

Buscando por melhores resultados na produção, atualmente os empreendedores do setor estão empregando sistemas automatizados, umidificadores, ventiladores, revestimento térmico de piso e outras opções em suas instalações avícolas. Porém, pouca atenção ainda é voltada para as fases de planejamento e concepção da estrutura.

O aço vem sendo um material bastante utilizado para galpões industriais como os aviários no Brasil em sistemas de terças e vigas ou treliças. O material começou a ser utilizado no país a mais de dois séculos, aumentando seu consumo no mercado desde então devido principalmente às suas boas propriedades que resultam em inúmeras vantagens à utilização como material estrutural.

Regulamentados por norma, os projetos de estruturas metálicas são muito importantes para o bom desempenho da estrutura sem que haja o superdimensionamento dessa. A norma estabelece que o dimensionamento das estruturas deve ser realizado pelo método dos estados limites, porém, muitas vezes, alguns carregamentos são minorados ou até mesmo desconsiderados, podendo levar à ruína da estrutura.

Neste sentido, este trabalho avalia a estrutura metálica da cobertura de um galpão aviário construído na região oeste do Paraná.

1.1 JUSTIFICATIVA

A região oeste do Paraná, e mais especificamente a região do município de Toledo, possui a economia desenvolvida em boa parcela pela avicultura local. Sendo assim, para o desenvolvimento da atividade, a construção de instalações avícolas que proporcionem um ambiente apropriado que otimize a produção das aves, vem sendo

cada vez mais procuradas pelos empreendedores da área, evidenciado a importância da busca de materiais construtivos mais adequados.

Porém a demanda por instalações seguras não anula a necessidade de instalações economicamente viáveis. Uma vez que a estrutura da cobertura influencia diretamente no valor da construção como um todo, o dimensionamento dos elementos interfere no volume necessário de material e conseqüentemente no custo do mesmo.

Dessa forma, uma vez que o aço vem sendo bastante utilizado na construção de galpões na região, um projeto bem executado e que busque minimizar o consumo de material para esses galpões é imprescindível. Por conseqüência disso, esse trabalho busca orientar os empreendedores do setor, através de um estudo de caso de um aviário construído em aço.

1.2 OBJETIVO GERAL

O trabalho em questão teve por objetivo geral avaliar o desempenho da estrutura metálica da cobertura de um aviário na região oeste do Paraná de acordo com os carregamentos que atuam na mesma e propor, caso necessário, novos perfis mais econômicos ou que proporcione melhor desempenho.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para a realização do estudo foram:

- Identificar as ações permanentes e variáveis que atuam na estrutura metálica da cobertura;
- Realizar as devidas combinações no estado limite último e de serviço para cada elemento;
- Avaliar o desempenho dos perfis utilizados nas terças e nas treliças;
- No caso de uma estrutura superdimensionada ou subdimensionada, redimensionar a mesma com os perfis comerciais da região que atendam com segurança os carregamentos solicitados;
- Comparar o peso e a estimativa de custo do material da estrutura original e da redimensionada.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

- As ligações não são foco deste trabalho, sendo que a área líquida das seções transversais é equivalente a área bruta, uma vez que essa não é reduzida pelas ligações soldadas empregadas na estrutura;
- A estimativa de custos engloba apenas o consumo de material, não considerando custos mais específicos como operacionais, de fabricação ou manutenção, por exemplo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados temas como o desenvolvimento da atividade avícola no Brasil, a situação das instalações atuais, a utilização de construções metálicas e uma breve explicação das instruções normativas para o desenvolvimento de projetos estruturais em aço.

2.1 AVICULTURA NO BRASIL

Desenvolvida por séculos como uma atividade familiar no Brasil, de acordo com Ferreira (2011), a avicultura se profissionalizou e se expandiu de forma extraordinária nas últimas décadas. O crescimento do setor foi marcado a partir de 1960 por um novo modelo de produção implantando, o sistema de integração. A implantação deste sistema foi um fator preponderante para o setor avícola, aliando o desenvolvimento técnico-científico com toda cadeia produtiva, tornando um dos mais importantes setores do agronegócio nacional. O sistema foi aperfeiçoado ao longo dos anos inclusive com o apoio do governo federal, sendo que em 2011, mais de 90% da criação avícola no Brasil já seguia o novo sistema.

Conforme o relatório anual de 2012 da União Brasileira de Avicultura, UBABEF, o ápice da produção de carne de frango no Brasil atingido no ano de 2011 com 13,06 milhões de toneladas levou a produção brasileira do setor avícola a se aproximar da produção da China com 13,20 milhões de toneladas no mesmo ano, atrás apenas dos Estados Unidos. Os excelentes resultados também tiveram reflexo na exportação, alcançando a marca dos 3,94 milhões de toneladas embarcadas para mais de 150 países no mesmo ano, consolidando dessa forma, a posição do Brasil como maior exportador mundial desde 2004.

Enquanto que segundo o relatório anual de 2016 da Associação Brasileira de Proteína Animal, ABPA, a crise econômica que atingiu o Brasil em 2015 impactou em diversos momentos ao longo do ano a avicultura e a suinocultura. Mas apesar disso, os setores encerraram 2015 com diversos recordes, e como esperado desde 2011, o Brasil assumiu o segundo lugar na produção mundial de frango ultrapassando a China.

Nesse contexto a ABPA (2017) apresenta um resumo do setor de aves, no qual afirma que hoje entre produtores, funcionários de empresas e profissionais vinculados direta e indiretamente ao setor, a avicultura reúne mais de 3,5 milhões de trabalhadores, sendo que cerca de 350 mil deles trabalham diretamente nas plantas frigoríficas e aproximadamente 130 mil famílias do campo são proprietárias de pequenos aviários, que produzem em um sistema totalmente integrado com as agroindústrias exportadoras.

2.2 INSTALAÇÕES AVÍCOLAS ATUAIS

Segundo Castro (2012) atualmente ainda é possível observar que, apesar do alto desenvolvimento tecnológico em todas as cadeias e processos de produção, no caso específico das instalações avícolas, estas continuam sendo um dos pontos em que existem maiores problemas.

Para sustentar a competitividade, os avicultores começaram a buscar nas instalações e no ambiente as possibilidades de melhoria no desempenho avícola e a redução nos custos de produção. Para isso o alvo principal seria oferecer o máximo de conforto às aves com um adequado planejamento e projeto das instalações (TINÓCO, 2001).

De acordo com Azevedo e Nascimento (1999) este objetivo é alcançado se os fatores ambientais mais importantes como a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar não comprometerem a função vital mais essencial das aves, a manutenção da homeotermia das mesmas. Castro (2012) também explica que o ambiente é considerado confortável quando os animais estão em equilíbrio térmico com o meio, quando o calor produzido pelo metabolismo é perdido normalmente para o ambiente, sem perdas produtivas ou de energia.

Nos aviários atuais o uso de comedouros e bebedouros automáticos passou a ser bastante utilizado para uma criação comercialmente competitiva. Enquanto que para a estrutura de cobertura, os materiais que a compõem, o uso de cortinas, ventiladores, umidificadores e revestimento térmico do piso, passaram a ser essenciais para a manutenção de um microclima adequado visando o bem estar animal (NETO, ALVINO E LOPES, 2012)

Para Tinôco (2011), mesmo com a utilização cada vez mais frequente de ambientes controlados e instalações fechadas, a criação de aves ainda ocorre boa parte em instalações abertas e sem ambiente controlado. Porém estas ainda reservam pouca importância às fases de planejamento e concepção.

2.3 ESTRUTURAS METALICAS

O aço começou a ser utilizado em 1750 quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. Sua utilização estrutural iniciou-se em 1757 em uma ponte na Inglaterra e em 1780 na escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal na França. Porém sua utilização em larga escala aconteceu por volta de 1880 nos Estados Unidos. No Brasil, o início da fabricação em ferro deu-se em 1812, mas sua indústria siderúrgica só passou a se desenvolver na década de 1920 com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira e 20 anos mais tarde acontecia a fundação da Companhia Siderúrgica Nacional no Rio de Janeiro com a finalidade de produzir chapas, trilhos e perfis metálicos (BELLEI, 1998).

Atualmente, de acordo com o Instituto Aço Brasil (2017), a Companhia Siderúrgica Nacional tem capacidade de abastecer o mercado brasileiro com 5,6 milhões de toneladas de aço anualmente. De acordo com dados publicados pelo Instituto em agosto deste ano, nos 12 meses anteriores a produção nacional-brasileira acumulada totalizou 33,2 milhões de toneladas de aço bruto e 21,6 milhões de toneladas de laminado.

De acordo com Pravia, Drehmer e Júnior (2010) os edifícios industriais, muitas vezes constituídos de um único pavimento e cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou treliças regularmente espaçadas, são construções com o objetivo de cobrir grandes áreas destinadas a diversos fins, como por exemplo, fábricas, oficinas, almoxarifados, depósitos, lojas, estacionamentos e até mesmo os galpões aviários. Estes edifícios podem admitir atualmente diferentes materiais de construção como aço, madeira, concreto e alumínio, sendo empregados cada um isoladamente ou em conjunto com outros.

Segundo Flôr (2015), o aço é atualmente aplicável em praticamente todos os setores construtivos, sendo que no Brasil os galpões industriais lideram as construções realizadas com esse material. Isso ocorre devido às características do

aço, as quais dão possibilidade à execução de estruturas mais esbeltas comparadas com as de madeira ou de concreto, acarretando em estruturas mais leves, de fácil execução e com fundações mais simples e conseqüentemente menos onerosas.

Conforme Maringoni (2004), o aço é desenvolvido a partir de ligas produzidas industrialmente sob rígido controle, o que proporciona ótimas condições mecânicas, alta resistência, boa trabalhabilidade e homogeneidade. Essa última característica proporciona alto grau de confiança em seu comportamento, tornando possível a utilização de coeficientes de segurança mais baixos e garantindo a otimização no uso do material.

A autora afirma ainda, que além do alívio em fundações e a racionalização de material, o aço proporciona vãos livres maiores, menor mão de obra, apesar de esta ser mais especializada, menor prazo de execução, uma vez que os elementos de aço são fabricados em série dentro oficinas, garantia de níveis e prumos, facilidade de montagem, desmontagem e substituição de elementos da estrutura, organização dos canteiros de obras, baixo índice de desperdício, abundância de material disponível e ainda sustentabilidade garantida por ser um material totalmente reciclável com processo simples e eficiente quando este não é mais útil à construção.

Em seu trabalho de otimização de coberturas em aço, Flôr (2015) destaca que atualmente na construção civil é necessário buscar a diminuição dos custos da obra e a conservação dos recursos naturais, almejando-se cada vez mais a otimização das obras sem que comprometa a eficiência da estrutura das mesmas, ou seja, que estas continuem atendendo os requisitos pelos quais foram projetadas. Ainda para a autora as estruturas treliçadas são bastante utilizadas hoje em dia por serem leves e de fácil montagem, e também por serem versáteis e adaptáveis à inúmeras situações além da utilização em estruturas de cobertura, como é o caso do emprego em larga escala em pontes, torres e guindastes.

Dessa forma, para os edifícios industriais, e para o caso específico de galpões aviários, é importante observar que o investimento aplicado sobre a estrutura da cobertura de um galpão representa uma parcela significativa do capital inicial necessário investido pelo produtor, sendo de extrema importância buscar por estruturas economicamente viáveis que atendam aos carregamentos solicitados.

No estudo para o desenvolvimento de um software, Souza (2002) alega que as treliças são geralmente bi-apoiadas em pilares de concreto através de um sistema rotulado ou em pilares treliçados formando pórticos. Estes sistemas são utilizados

para vencer grandes vãos devido à sua leveza se comparadas com sistemas de vigas maciças. As barras das treliças são ligadas pelas extremidades formando um conjunto rígido, onde os nós ou as articulações, apesar da rigidez, para efeitos de cálculo, são admitidos como rotulados, onde sempre as forças externas são aplicadas. Outro ponto relevante observado pelo autor sobre as treliças, é que elas têm suas barras dispostas de tal forma que só sejam solicitadas por forças normais, ou seja, tração ou compressão.

Em outro estudo, realizado por Neto, Alvino e Lopes (2012), foi realizada uma análise teórica do comportamento estrutural de treliças de banzos inclinados que pudessem ser utilizados nas coberturas das construções rurais. O trabalho avaliou três tipos de geometria de treliças, Howe, Pratt e Belga empregadas em duas construções com dimensões distintas. A treliça do tipo Belga apresentou as maiores resistências mecânicas e o menor consumo de material, porém, em muitos casos, o uso de treliças em construções no meio rural, como no caso de aviários, é feito sem qualquer procedimento técnico adequado de dimensionamento e construção, o que representa riscos de colapso da cobertura. Os autores afirmam que geralmente essas construções rurais apresentam forma regular plana e um telhado de duas águas sustentado por treliças de banzos inclinados do tipo Howe, muito possivelmente devido a facilidade de montagem ou ao não conhecimento de outros modelos igualmente eficientes.

2.4 O PROJETO ESTRUTURAL

Bellei (1998) afirma que o projeto estrutural de uma obra em aço, que dá corpo a um projeto arquitetônico previamente realizando, é uma das etapas mais importantes, pois um projeto ruim pode causar prejuízos econômicos ao construtor, super ou subdimensionando a obra. Sendo um projeto bem feito, aquele que aplica um método de dimensionamento que preveja que a estrutura tenha resistência necessária às tensões admissíveis e funcione em condições normais quando submetidas às cargas previstas em norma.

Na realização de um projeto, de acordo com Braga (2016), os perfis utilizados na indústria podem ser obtidos de duas formas, pelo processo siderúrgico na obtenção de chapas, barras e perfis laminados ou pelo processo metalúrgico na obtenção de

chapas dobradas e perfis soldados. A escolha do material e o tipo de aço podem depender de fatores como geométrica, esforços solicitantes analisados e do ambiente onde se encontra a construção.

Para o dimensionamento de uma estrutura da cobertura metálica a norma NBR 8800 “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios” (ABNT, 2008), determina a utilização do método dos estados-limites. O qual exige que nenhum estado-limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida à todas as combinações apropriadas.

Dessa forma, a verificação dos estados-limites últimos (ELU) e dos estados limites de serviço (ELS) deve ser realizada em função de combinações últimas e de serviço, respectivamente. Sendo essas combinações feitas de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis, servindo para o dimensionamento de uma estrutura nova ou avaliação e redimensionamento de uma estrutura já existente verificado as condições de segurança e suas deformações e deslocamentos.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), na análise estrutural as ações atuantes que devem ser consideradas que possam produzir efeitos significativos para a estrutura são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais. Sendo:

- ações permanentes: ações que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção ou crescem no tempo tendendo a um valor limite constante como peso próprio da estrutura e dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes;
- ações variáveis: ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção, comumente existentes causadas pelo uso e ocupação da edificação como por sobrecargas de equipamentos, de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela ação do vento e pela variação da temperatura;
- ações excepcionais: ações que tem duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos excepcionais.

Dessa forma admite-se que para construções rurais como galpões aviários, geralmente são admitidas somente ações permanente e variáveis, excluindo ações excepcionais.

2.5 Combinações

Segundo a norma o carregamento é definido pela combinação das ações que tem probabilidade não desprezáveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura. Dessa forma, as combinais últimas e de serviço, conforme com as ações admitidas para a estrutura de estudo deste trabalho, são as combinações últimas normais e as combinações quase permanentes de serviços expressas conforme as Equações 1 e 2. Onde, os valores característicos das ações são multiplicados pelos coeficientes de ponderação para ações permanentes e variáveis dispostos na Tabela 1 e as ações variáveis são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos mais desfavoráveis para a segurança através dos fatores de minoração de ações dispostos na Tabela 2.

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

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj,k}) \quad (2)$$

Tabela 1: Coeficientes de ponderação de cargas permanentes e acidentais.

Peso próprio (γ_g)	1,25
Efeito de vento (γ_q)	1,4
Uso e Ocupação (γ_q)	1,5

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Tabela 2: Fatores de minoração de ações.

Ações	ψ_0 (ELU)	ψ_2 (ELS)
Uso e ocupação	0,5	0,3
Vento	0,6	0,0

Fonte: NBR 8800(ABNT, 2008).

2.6 Resistências de cálculo

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) admite que as resistências de cálculo são determinadas conforme a Equação 3 através da minoração dos valores de resistência característicos pelos coeficiente de segurança apresentados na Tabela 3.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma} \quad (3)$$

Tabela 3: Coeficientes de segurança.

Escoamento, flambagem e instabilidade (γ_{a1})	1,1
Ruptura (γ_{a2})	1,35

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

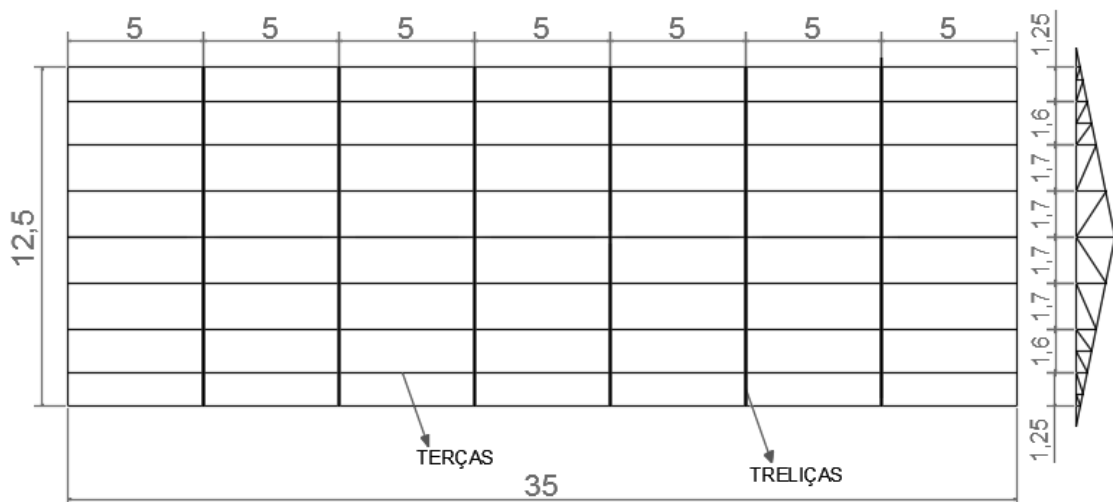
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho inicialmente foi avaliado o desempenho da estrutura metálica da cobertura de um aviário existente quanto aos carregamentos atuantes e em seguida essa estrutura foi redimensionada, visando otimizar o consumo de aço.

3.1 DESCRIÇÃO DO GALPÃO AVIÁRIO

As dimensões do galpão aviário são de 12,5 m de largura e um comprimento de 35 m, totalizando uma área de 437,5 m², com pé direito de 3 m. As estruturas treliçadas de cobertura são apoiadas em pilares de concreto 20 cm x 20 cm, distanciadas entre si em 5 m. O esquema existente da malha de terças e treliças esta apresentado na Figura 1.

Figura 1: Malha das terças e treliças.



Por ser um galpão experimental esse é dividido em subáreas, separando os frangos em lotes menores, facilitando o trabalho e a inspeção diária conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2: Aviário pronto para recebimento de novas aves.



A divisão é realizada em 6 fileiras, igualmente distribuídas na largura do galpão, sendo cada subárea equipada com bebedouros, com estrutura de alumínio fixada no piso e comedouros suspensos por amarrações nas terças, que permitiam ajuste da altura conforme a idade das aves, além de campânulas para aquecimento.

Para controlar a luminosidade e a temperatura do galpão, auxiliando no crescimento mais eficiente das aves, este é equipado com cortinas fixadas na estrutura de concreto de fechamento do galpão.

3.2 COBERTURA

As telhas do galpão são telhas metálicas, semelhantes às telhas metálicas trapezoidais TopSteel da marca Brasilit. De acordo com esse fabricante, o peso desse tipo de telha é de 3,6 kg/m².

O forro do galpão é de um tipo de lona plástica, com o peso de 200 g/m², conforme informações do fabricante (BEPLASTIC, 2017).

A estrutura treliçada empregada era tipo “Howe” conforme a configuração da Figura 3, sendo as terças apoiadas nos nós 1, 5, 9, 11, 13, 15, 17, 21 e 25 e o ângulo θ entre os banzos igual a 11,79°. Na figura 4 são apresentados os comprimentos das barras que compõe a estrutura.

Figura 3: Numeração dos nós para identificação dos mesmos e das barras.

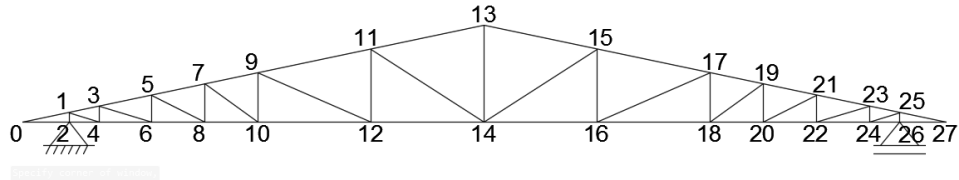
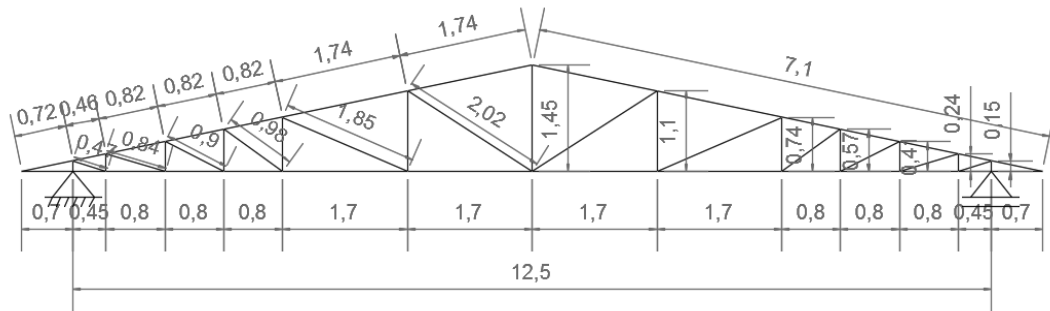


Figura 4: Configuração da treliça tipo “Howe” (un.: metros).



3.3 ESPECIFICAÇÕES DO AÇO

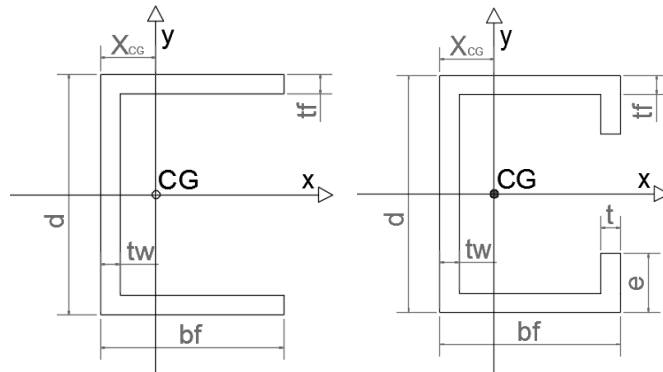
Segundo informações da empresa que produziu a estrutura da cobertura, foi utilizado aço MR250 para produção dos perfis, que, segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), possui as propriedades apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de resistência e rigidez do aço-carbono ASTM A36.

Característica	Valor	Un.
ρ (Peso específico aparente)	7850	(kg/m ³)
f_y (Resistência ao escoamento)	250	(MPa)
f_u (Resistência à ruptura)	400	(MPa)
E (Módulo de elasticidade do aço)	200000	(MPa)

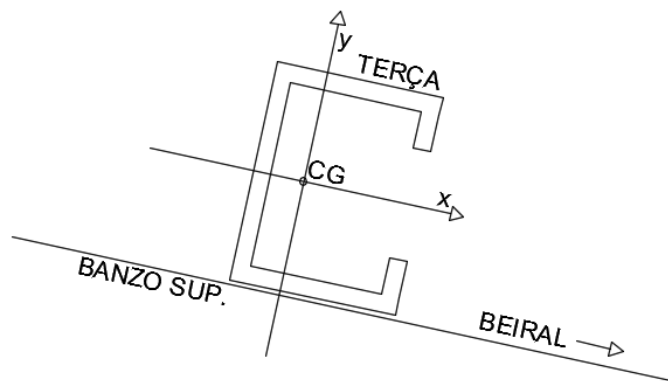
Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Os perfis empregados para as barras da treliça foram os perfis dobrados U (Figura 5.a.) e para as terças perfis dobrados U enrijecidos (Figura 5.b), conforme dimensões apresentadas na Tabela 5.

Figura 5: Nomenclaturas adotadas das dimensões dos perfis U.**Tabela 5:** Medidas dos perfis empregados.

Elemento Estrutural	TERÇA	DIAG./MONT.	BANZOS
Identificação do Perfil	(77x42x13)	(91x32)	(99x40)
d (mm)	77	91	99
bf (mm)	42	32	40
e (mm)	13	--	--
tw, tf e t (mm)	3	3	3

As terças foram posicionadas com a alma dos perfis perpendicular aos banzos superiores e a concavidade voltada para o beiral do telhado conforme a Figura 6, enquanto que nas treliças, os montantes e as diagonais encaixam-se na parte interna dos banzos superiores e inferiores. Sendo que a ligação entre cada elemento foi realizada por soldas metálicas.

Figura 6: Posicionamento das terças.

3.4 HIPÓTESES DE CÁLCULO

Para o dimensionamento da estrutura foram consideradas as seguintes hipóteses de cálculo:

- os nós das treliças foram tomados como rótulas ideais;
- os carregamentos externos foram transferidos para as terças na forma de cargas distribuídas lineares ou pontuais e para as treliças na forma de cargas concentradas nos nós;
- foram considerados apenas esforços axiais (tração e compressão) nas treliças;
- o esquema estático das terças e treliças foi adotado como estruturas isostáticas, com um apoio rotulado fixo e um apoio rotulado móvel;
- foi considerado o material trabalhando no regime elástico linear, ou seja, na faixa de validade da Lei de Hooke em todos os elementos estruturais;
- o módulo de elasticidade longitudinal foi adotado constante para todas as peças.

3.5 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

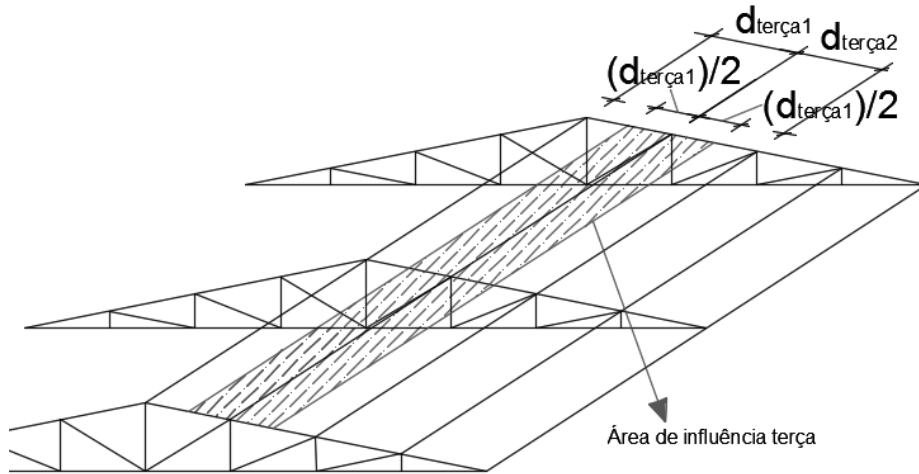
Para o trabalho em questão, foram consideradas apenas ações permanentes e variáveis, excluindo ações excepcionais.

3.5.1 Ações permanentes

Foram identificadas como ações permanentes, os pesos próprios do forro e das telhas como elementos fixos construtivos, da estrutura, terças e treliças, e ainda dos comedouros cheios que são fixados nas terças. O peso próprio das soldas na ligação foram desconsiderados neste trabalho.

O peso próprio das telhas por metro quadrado foi considerado como uma carga aplicada verticalmente na área do plano inclinado do telhado. Para aplicação destes carregamentos nas terças, fez-se necessária a multiplicação pela distância representante da área de influência para cada terça específica. A Figura 7 representa esse esquema de área de influência.

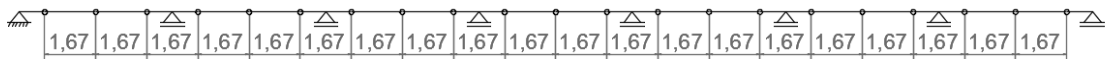
Figura 7: Esquema representativo de áreas de influência de terças.



O peso próprio das treliças foram aplicados nos nós dos banzos inferiores. Sendo que, primeiramente o peso total de cada treliça foi calculado a partir dos perfis utilizados em cada barra e esse dividido pelo comprimento do banzo inferior, e em seguida multiplicado pela área de influência de cada nó. Enquanto que o peso próprio das terças foi admitido por metro linear da seção do perfil empregado, sendo essa carga aplicada verticalmente no comprimento das terças.

O peso do forro por metro quadrado, foi considerado como uma carga fixada nos banzos inferiores das treliças. E por fim, o peso próprio dos comedouros foi aplicado como cargas pontuais verticais nas terças, distanciando 1,67 m entre si, conforme a Figura 8.

Figura 8: Distância entre os pontos de aplicação das cargas pontuais dos comedouros.



3.5.2 Ações variáveis

3.5.2.1 Acidental

Como carga acidental, a norma NBR 6120 “Cargas para o cálculo de estrutura de edificações” (ABNT, 1980) recomenda adotar uma carga vertical de 1kN concentrada na posição mais desfavorável, ou seja no centro dos vãos, de ripas, terças e barra de banzo superior de treliça. Porém segundo Moliterno (2010) este valor é extremamente irrealista e antieconômico, então esse sugere uma distribuição equivalente. Assim, para o trabalho em questão foi prevista uma sobrecarga específica para coberturas comuns (telhados) de 0,25 kN/m² em projeção horizontal, a qual é sugerida pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

A carga em projeção, foi transformada em uma carga equivalente aplicada na inclinação do telhado e em seguida multiplicada pela distância representante da área de influência para cada terça específica.

3.5.2.2 Vento

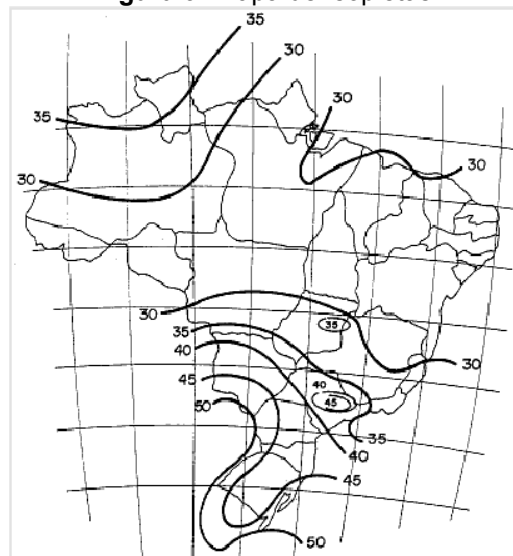
A carga de vento foi determinada utilizando o programa Ciclone 3.0 (GONÇALVES; MACHADO; BENATTI, 2010) uma ferramenta computacional que permite considerar o efeito do vento em edificações usualmente empregadas na construção civil. O programa contempla basicamente alguns dos casos típicos abordados na norma brasileira de ventos, atualmente em vigor, NBR 6123 (ABNT,1988).

Para isso, foram admitidas as seguintes considerações conforme a norma para manipulação do programa:

- Geometria: telhado de duas água e dimensões conforme citado anteriormente;
- Velocidade básica do vento: 48m/s referente a região oeste do Paraná onde o galpão está construído, a qual foi definida pelo mapa das isopleias de acordo com a Figura 9;
- Fator S1: Terrenos planos com poucas ondulações;

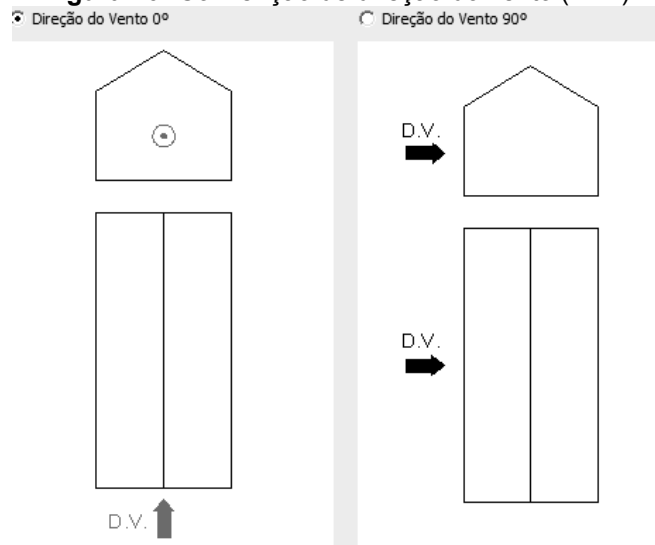
- Fator S2: Granja em terrenos planos ou ondulados com obstáculos de cota média considerada igual a 3m (Categoria II do terreno) e edificação com a maior dimensão de 12m para ventos à 0° (Classe A) e de 150m para ventos à 90° (Classe B), de acordo com a convenção de direção do vento (D.V.) da Figura 10;
- Fator S3: Construção rural com baixo fator de ocupação (Grupo 3);
- Duas faces opostas permeáveis e as outras duas impermeáveis, sendo o vento a 0° nas faces impermeáveis e o vento a 90° nas permeáveis.

Figura 9: Mapa de Isopletas.



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1998).

Figura 10: Convenção de direção do vento (D.V.).



Fonte: Programa Ciclone 3.0.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os carregamentos críticos sobre o telhado para os ventos na direção de 0° e 90° respectivamente, conforme os resultados obtidos pelo programa.

Figura 11: Carregamento crítico para ventos na direção de 0° (kN/m^2).

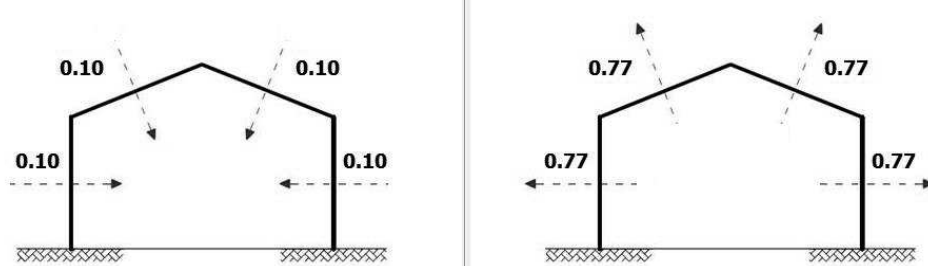
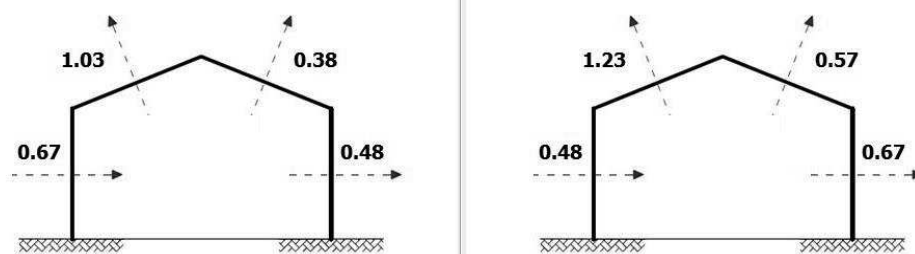


Figura 12: Carregamento crítico para ventos na direção de 90° (kN/m^2).



Analisando os resultados, admitiu-se as piores situações de sobrepressão e sucção proporcionada pelo vento são iguais a $0,10 \text{ kN/m}^2$ e $1,23 \text{ kN/m}^2$, respectivamente. É importante destacar, que a força de vento obtida é aplicada na estrutura perpendicularmente ao plano do telhado.

3.6 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

Inicialmente utilizando o programa Ftool (MARTHA, 2012), uma ferramenta de análise estrutural bidimensional, aplicou-se cada carregamento que incide nas terças separadamente e decompostos nos eixos x e y do perfil. Foram observados os valores máximos, dos momentos fletores, das forças cortantes e das flechas para cada caso e as reações máximas para cada carregamento para a aplicação como carregamento nas treliças.

Dessa forma, da mesma maneira que nas terças, aplicou-se nos nós das treliças essas reações observadas e ainda o peso próprio das próprias treliças. Porém

neste caso, foram observadas, para cada carregamento, as forças axiais de tração e compressão de cada barra e a flecha máxima medida no nó central do banzo inferior.

Em seguida, com estes dados, foram desenvolvidas planilhas de cálculo no Excel para o desenvolvimento das combinações.

3.7 ANÁLISE DA ESTRUTURA EXISTENTE

Uma vez obtidas as solicitações de cálculo mais desfavoráveis para cada elemento considerando as combinações de ações, foi possível avaliar as seções dos elementos estruturais utilizados na estrutura, verificando as condições de segurança e os deslocamentos máximas admitidos por norma.

As ligações entre os elementos estruturais não foram avaliadas, mas uma vez que essas são ligações soldadas não houve redução da área bruta das seções.

3.7.1 Terças

As terças são solicitadas por momentos fletores e forças cortantes nas duas direções, sendo verificadas para atender as condições de segurança de acordo com as Equações 4 e 5.

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (4)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (5)$$

Devido a existência dos momentos fletores nos dois eixos do perfil, é necessário satisfazer a condição da Equação 6.

$$\left(\frac{M_{Sd,x}}{M_{Rd,x}}\right)^2 + \left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}}\right)^2 \leq 1 \quad (6)$$

Os momentos fletores e forças cortantes resistentes foram calculados conforme as Equações 7, 8, 9 e 10.

$$M_{Rd,x} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{Z_y \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (7)$$

$$M_{Rd,y} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{Z_x \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8)$$

$$V_{Rd,x} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \cdot A_{w_{alma}} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (9)$$

$$V_{Rd,y} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \cdot A_{w_{mesa}} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (10)$$

As terças também foram verificadas quanto a flambagem, assumindo inicialmente que a condição da Equação 11 fosse respeitada, verificando a possibilidade de ocorrência de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM) ou flambagem local da alma (FLA).

$$\lambda \leq \lambda_p \quad (11)$$

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), quando as seções U são fletidas no eixo de maior inércia (eixo x), é necessário fazer a verificação da Equação 11 de FLT, FLM e FLA através das Equações 12, 13 e 14, respectivamente. Enquanto que quando fletidas no eixo de menor inércia (eixo y) é necessário verificar apenas a flambagem local, FLM e FLA, através das Equações 14 e 15 respectivamente.

$$\frac{L_b}{r_y} \leq 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (12)$$

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (13)$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (14)$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (15)$$

Para garantir a condição da Equação 12, igualou-se essa para determinar-se o comprimento máximo entre os travamentos, sendo estes travamentos realizados por barras de aço perpendiculares entre as terças, cujo dimensionamento não foi realizado neste trabalho.

Em alguns casos, a Equação 11 não foi garantida pela Equação 14, sendo necessário a verificação da condição da Equação 16 através da Equação 17.

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad (16)$$

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \leq \frac{d}{t_w} \leq 0,83 \sqrt{\frac{E}{(0,7 \cdot f_y)}} \quad (17)$$

Uma vez garantida a condição anterior, as Equações 7 e 8 não são mais validas, sendo necessário recalculer os momentos resistentes através das Equações 18 e 19.

$$M_{Rd,x} = \frac{1}{\gamma_{a1}} [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)]$$

$$M_{Rd,x} = \frac{1}{\gamma_{a1}} [Z_y \cdot f_y - (Z_y \cdot f_y - W_y \cdot 0,7 \cdot f_y) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)] \quad (18)$$

$$M_{Rd,y} = \frac{1}{\gamma_{a1}} [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)]$$

$$M_{Rd,y} = \frac{1}{\gamma_{a1}} [Z_x \cdot f_y - (Z_x \cdot f_y - W_x \cdot 0,7 \cdot f_y) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)] \quad (19)$$

Da mesma forma que para os momentos, para que as Equações 9 e 10 para o cálculo dos esforços cortantes sejam validas, é necessário garantir a Equação 11 através da Equação 20. Onde k_v é igual a 5,0 para almas sem enrijecedores quando

a flexão é em relação ao eixo perpendicular à alma (eixo x) ou igual a 1,2 quando a flexão é em relação ao eixo perpendicular às mesas (eixo y).

$$\frac{d}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} \quad (20)$$

Para garantir o ELS foi verificado o deslocamento das terças através da condição disposta na Equação 21, onde o deslocamento total da terça é definida de conforme a Equação 22.

$$\delta \leq \frac{L}{180} \quad (21)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (22)$$

3.7.2 Treliças

Para a verificação das barras da treliça, foram avaliadas as condições de segurança para as forças axiais de tração e compressão conforme as Equações 23 e 24, respectivamente.

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (23)$$

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (24)$$

Sendo a força axial de tração resistente de cálculo admitida entre o menor valor das Equações 25 e 26.

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (25)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (26)$$

Enquanto que a força axial de compressão resistente de cálculo para cada barra foi determinada pela Equação 27.

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (27)$$

Sendo:

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \leq 1,5 \quad (28)$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 > 1,5 \quad (29)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N e_y}} \quad (30)$$

$$N e_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L e f^2} \quad (31)$$

$$Q = 1,0 \text{ se } (b/t) \leq (b/t)_{lim} \quad (32)$$

$$(b/t)_{lim} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (AA, \text{almas de seção } U) \quad (33)$$

$$(b/t)_{lim} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (AL, \text{abas de seção } L) \quad (34)$$

$$(b/t)_{lim} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (AL, \text{mesas de seção } U) \quad (35)$$

Para as peças comprimidas a norma limita o maior índice de esbeltez, determinado pelo menor momento de inércia, no caso dos perfis U o momento de

inércia referente ao eixo y a 200. Sendo assim, a condição gerada pelo da Equação 36 deve ser atendida.

$$\frac{Lef}{i} \leq 200 \quad (36)$$

Assim como para as terças, para garantir o ELS foi verificado o deslocamento do nó central da treliça através da condição disposta na Equação 37, onde o deslocamento total da treliça é definida da mesma forma que na Equação 22.

$$\delta \leq \frac{L}{200} \quad (37)$$

3.8 REDIMENSIONAMENTO

Uma vez verificados os elementos da estrutura, quando subdimensionado ou superdimensionados buscou-se redimensionar os mesmos, adotando perfis que resistissem melhor estruturalmente ou que fossem mais econômicos, respectivamente.

3.9 ORÇAMENTO E CÁLCULO DO PESO TOTAL DAS ESTRUTURAS

Para o orçamento e o posterior cálculo do peso da estrutura, foram consultados os catálogos de três empresas de distribuição de aço na região, Diferral, Arcelor Mittal e Bortolotto. Sendo que foram adotados os menores preços encontrados para cada perfil.

Os catálogos também forneciam o peso por metro de cada perfil, o que permitiu o cálculo do peso total para as duas estruturas a fim de comparação entre elas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE

Inicialmente, para avaliar a estrutura foram calculadas as propriedades dos perfis empregados nas terças e treliças conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades de cada perfil.

Elemento	TERÇA	DIAG./MONT.	BANZOS
Perfil	(77x42x13)	(91x32)	(99x40)
A (mm ²)	525,00	447,00	519,00
X_{CG} (mm)	12,00	7,73	10,05
I_x (mm ⁴)	490969,75	525387,25	754229,25
I_y (mm ⁴)	81998,74	39603,97	76365,43
W_x (mm ³)	12752,46	11546,97	15236,95
W_y (mm ³)	2733,55	1631,69	2550,18
r_y (mm)	12,50	9,41	12,13

4.1.1 Ações consideradas

As ações permanentes e variáveis admitidas para o galpão, conforme especificado no capítulo anterior, estão resumidas na Tabela 7.

Tabela 7: Ações admitidas para o galpão.

Ações	Valor	Un.
PP Telhas	36	N/m ²
PP Forro (lona) (projeção)	2	N/m ²
PP Comedouros	150	N/un.
Carga Acidental (projeção)	0,25	kN/m ²
Vento Sucção (-)	-1,17	kN/m ²
Vento Sobrepressão (+)	0,10	kN/m ²
PP Terças	0,041	kN/m
PP Treliças	1,916	kN/un.

Para a aplicação das ações da Tabela 7, as cargas lineares ou pontuais verticais foram decompostas nos eixos x e y do perfil U da terça, conforme apresentado na Tabela 8. Em seguida esses valores foram devidamente aplicados na terça utilizando o Ftool, obtendo-se os valores de forças cortantes (V), de momentos fletores (M), de deslocamentos (δ) e de reações (R) nas terças, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 8: Cargas aplicadas nas terças no Ftool.

Ações	Tipo de carga (un.)	Eixo x	Eixo y
<i>g</i> (telhas+ppterças)	Linear vert. (kN/m)	0,022	0,105
<i>g</i> (comed.)	Pontual vert. (kN)	0,031	0,147
<i>q</i> (acid.)	Linear vert. (kN/m)	0,417	0,087
<i>q</i> (vento +)	Linear perpendicular (kN/m)	--	0,174
<i>q</i> (vento -)	Linear perpendicular (kN/m)	--	-2,036

Tabela 9: Forças cortantes, momentos fletores e deformações mais significativos nas terças.

	<i>V_x</i> (kN)	<i>M_x</i> (kN.m)	δx (mm)	<i>R_x</i> (kN)	<i>V_y</i> (kN)	<i>M_y</i> (kN.m)	δy (mm)	<i>R_y</i> (kN)
<i>g</i> (telhas+pp)	0,066	0,058	1,019	0,124	0,317	0,275	4,863	0,593
<i>g</i> (comed.)	0,057	0,052	0,898	0,106	0,270	0,245	4,253	0,503
<i>q</i> (acid.)	1,258	1,092	19,324	2,355	0,262	0,228	4,030	0,491
<i>q</i> (vento +)	--	--	--	--	0,525	0,456	8,063	0,982
<i>q</i> (vento -)	--	--	--	--	-6,141	-5,334	-94,348	-11,496

Vale ressaltar que os valores da Tabela 8 são para as terças do tipo 2, terças que são apoiadas nos nós 11 e 15 das treliças, uma vez que essas terças são as mais solicitadas pois possuem a maior área de influência sobre elas.

A partir das reações observadas na terça do tipo 2, fez-se o cálculo para transformar essas reações no sentido vertical e horizontal para que pudessem ser aplicadas pelo Ftool nos nós das treliças conforme demonstra a segunda e a terceira coluna da Tabela 10. Para as outras colunas, referente aos outros tipos de terça, os valores foram proporcionalmente ajustados conforme a área de influência de cada uma. E ainda, os valores da última linha indicam o peso próprio das treliças, o qual foi aplicado nos nós do banzo inferior também de acordo com sua área de influência.

Tabela 10: Cargas aplicadas nas treliças no Ftool.

Tipo da Terça	1 e 2		3		4		5	
Nós da Treliça	(13) e (11 e 15)		9 e 17		5 e 21		1 e 25	
Sentido da ação	Vert.	Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.	Horiz.
<i>g</i> (telh.+forr.+ppterç.)	0,606	0,000	0,588	0,000	0,508	0,000	0,474	0,000
<i>g</i> (comed.)	0,514	0,001	0,499	0,001	0,431	0,001	0,402	0,001
<i>q</i> (acid.)	0,962	2,205	0,934	2,142	0,807	1,850	0,752	1,724
<i>q</i> (vento +)	0,961	-0,201	0,934	-0,195	0,807	-0,168	0,751	-0,157
<i>q</i> (vento -)	-11,254	2,348	-10,930	2,280	-9,443	1,970	-8,796	1,835
Nós da Treliça	0 e 27	2 e 26	4 e 24	6 e 22	8 e 20	10 e 18	12 e 16	14
<i>g</i> (pptrel.)	0,048	0,079	0,086	0,110	0,110	0,172	0,234	0,234

Os valores da Tabela 10 foram devidamente aplicados na treliça, sendo possível observar as forças axiais de tração e compressão em cada barra e o deslocamento da treliça para cada carga aplicada conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Forças axiais de tração (+) e compressão (-) e deformações.

Barra	<i>g</i> (telh.+forr.+ ppterç.)	<i>g</i> (comed.)	<i>q</i> (acid.)	<i>q</i> (vento +)	<i>q</i> (vento -)	<i>g</i> (pptrel.)
0 a 1	-0,096	-0,081	-0,138	-0,153	1,792	0,093
1 a 3	-2,965	-2,506	-5,743	-4,591	53,745	-1,079
3 a 5	-5,853	-4,946	-9,884	-9,196	107,646	-2,177
Banzo Sup.						
5 a 7	-6,487	-5,480	-12,037	-10,089	118,096	-2,504
7 a 9	-6,691	-5,650	-11,956	-10,440	122,254	-2,528
9 a 11	-6,019	-5,079	-11,917	-9,278	108,620	-2,279
11 a 13	-4,944	-4,166	-11,311	-7,468	87,432	-1,872
0 a 2	0,096	0,081	0,137	0,153	-1,786	-0,088
2 a 4	1,126	0,951	1,586	1,798	-21,045	0,317
4 a 6	3,713	3,137	5,209	5,930	-69,418	1,379
Banzo Inf.						
6 a 8	5,862	4,952	8,160	9,368	-109,656	2,189
8 a 10	6,348	5,361	8,228	10,195	-119,343	2,449
10 a 12	6,521	5,505	8,095	10,502	-122,941	2,462
12 a 14	5,859	4,940	5,096	9,549	-111,785	2,218
1 a 2	-2,102	-1,777	-3,351	-3,322	38,894	-0,699
3 a 4	-1,001	-0,846	-1,401	-1,599	18,718	-0,350
5 a 6	-0,756	-0,639	-1,067	-1,207	14,127	-0,164
Montantes						
7 a 8	-0,208	-0,174	0,029	-0,358	4,196	-0,021
9 a 10	0,450	0,121	0,058	-0,253	2,963	0,157
11 a 12	0,281	0,240	0,947	0,404	-4,725	0,336
13 a 14	1,369	1,150	3,583	2,020	-23,650	0,746

Continua

		Continuação					
Diagonais	1 a 4	1,835	1,550	2,387	2,948	-34,510	0,764
	3 a 6	2,093	1,768	2,845	3,351	-39,230	0,781
	5 a 8	0,546	0,458	0,058	0,930	-10,894	0,296
	7 a 10	0,244	0,204	-0,119	0,428	-5,013	0,032
	9 a 12	-0,686	-0,585	-2,338	-0,982	11,487	-0,252
	11 a 14	-1,209	-1,028	-3,265	-1,799	21,061	-0,456
Deslocamento δ (mm)	x	0,331	0,202	0,403	0,533	-6,238	0,124
	y	-2,610	-2,191	-4,184	-4,090	47,880	-0,985

4.1.2 Combinações

Como já explicado anteriormente, visando buscar os efeitos mais desfavoráveis, foram realizadas combinações, de acordo com formulação apresentada, no estado limite último e de serviço. Sendo que a Tabela 12 apresenta as combinações feitas para as terças e a Tabela 13 para cada barra das treliças. Foram feitas cinco tipos de combinações diferentes para melhor análise do comportamento da estrutura, sendo:

- 1ª → Peso próprio;
- 2ª → Peso próprio + Carga Acidental;
- 3ª → Peso próprio + Carga Acidental + Vento de Sobrepressão;
- 4ª → Peso próprio + Vento de Sobrepressão + Carga Acidental;
- 5ª → Peso próprio + Vento de Sucção.

Tabela 12: Combinações ELU e ELS para as terças.

Nº	V_x (kN)	M_x (kN.m)	δ_x (m)	V_y (kN)	M_y (kN.m)	δ_y (m)
1ª	0,154	0,138	13,163	0,734	0,650	9,116
2ª	2,041	1,776	44,222	1,127	0,992	10,325
3ª	--	--	--	1,568	1,375	--
4ª	--	--	--	1,482	1,300	--
5ª	--	--	--	-5,714	-4,951	--

Tabela 13: Combinações ELU e ELS para as treliças.

COMBINAÇÕES (ELU e ELS) - Treliça									
	Barra	<i>Lef</i>	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Maior	Menor
Banzo Sup.	0 a 1	0,72	-0,105	-0,312	-0,441	-0,423	2,404	2,404	-0,441
	1 a 3	0,46	-8,188	-16,802	-20,658	-18,922	67,056	67,056	-20,658
	3 a 5	0,82	-16,220	-31,046	-38,771	-36,507	134,484	134,484	-38,771
	5 a 7	0,82	-18,089	-36,144	-44,619	-41,241	147,246	147,246	-44,619
	7 a 9	0,82	-18,586	-36,520	-45,290	-42,169	152,569	152,569	-45,290
	9 a 11	1,74	-16,721	-34,597	-42,390	-38,648	135,347	135,347	-42,390
	11 a 13	1,74	-13,728	-30,694	-36,967	-32,666	108,677	108,677	-36,967
Banzo Inf.	0 a 2	0,7	0,111	0,317	0,445	0,428	-2,389	0,445	-2,389
	2 a 4	0,45	2,993	5,372	6,882	6,699	-26,471	6,882	-26,471
	4 a 6	0,8	10,286	18,100	23,081	22,495	-86,899	23,081	-86,899
	6 a 8	0,8	16,254	28,494	36,363	35,489	-137,265	36,363	-137,265
	8 a 10	0,8	17,698	30,040	38,603	38,142	-149,383	38,603	-149,383
	10 a 12	1,7	18,110	30,253	39,074	38,884	-154,007	39,074	-154,007
	12 a 14	1,7	16,271	23,915	31,936	33,462	-140,228	33,462	-140,228
Mont.	1 a 2	0,15	-5,723	-10,749	-13,539	-12,887	48,729	48,729	-13,539
	3 a 4	0,24	-2,746	-4,848	-6,191	-6,036	23,459	23,459	-6,191
	5 a 6	0,41	-1,949	-3,549	-4,563	-4,439	17,829	17,829	-4,563
	7 a 8	0,57	-0,504	-0,460	-0,761	-0,983	5,371	5,371	-0,983
	9 a 10	0,74	0,910	0,997	0,784	0,599	5,058	5,058	0,599
	11 a 12	1,1	1,071	2,492	2,831	2,347	-5,544	2,831	-5,544
	13 a 14	1,45	4,081	9,456	11,153	9,597	-29,029	11,153	-29,029
Diag.	1 a 4	0,47	5,186	8,767	11,243	11,104	-43,128	11,243	-43,128
	3 a 6	0,84	5,803	10,070	12,885	12,628	-49,120	12,885	-49,120
	5 a 8	0,9	1,625	1,712	2,493	2,971	-13,627	2,971	-13,627
	7 a 10	0,98	0,600	0,422	0,781	1,110	-6,418	1,110	-6,418
	9 a 12	1,85	-1,904	-5,411	-6,236	-5,032	14,178	14,178	-6,236
	11 a 14	2,02	-3,366	-8,264	-9,775	-8,334	26,119	26,119	-9,775
Deslocamento da treliça (mm)	<i>x</i>		0,657	0,778	--	--	--	--	--
	<i>y</i>		-5,786	-5,786	--	--	--	--	--

4.1.3 Verificação das terças

Inicialmente, a partir do cálculo das forças cortantes resistentes e dos momentos fletores resistentes do perfil empregado nas terças, foi possível analisar as condições de segurança conforme a Tabela 14. Na qual pode-se observar que as terças empregadas resistem satisfatoriamente às forças cortantes solicitantes, porém não resistem aos momentos solicitantes, sendo necessário o redimensionamento das mesmas.

Tabela 14: Análise das condições de segurança das terças.

Solicitantes	Valor	Resistentes	Valor	Verif.
$V_{Sd, x}$ (kN)	2,041	$V_{Rd, x}$ (kN)	31,500	Ok!
$V_{Sd, y}$ (kN)	5,714	$V_{Rd, y}$ (kN)	17,182	Ok!
$M_{Sd, x}$ (kN.m)	1,776	$M_{Rd, x}$ (kN.m)	0,714	Falha!
$M_{Sd, y}$ (kN.m)	4,951	$M_{Rd, y}$ (kN.m)	3,333	Falha!
Condição $\left(\frac{M_{Sd,x}}{M_{Rd,x}}\right)^2 + \left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}}\right)^2 \leq 1$			8,382	Falha!

Uma vez que o perfil das terças não suportou aos momentos solicitantes, não foi necessária a verificação quanto a flambagem. Porém, a Tabela 15 mostra que além de não passar nas condições de segurança, o perfil utilizado apresenta um deslocamento total que ultrapassa o deslocamento limite imposta pela norma.

Tabela 15: Análise do deslocamento das terças.

Deslocamento	Valor
δx (mm)	44,222
δy (mm)	10,325
δ_{total} (mm)	45,411
δ_{lim} (mm)	27,778
Verificação	Falha!

4.1.4 Verificação das barras das treliças

Analisando as forças axiais observadas nas barras das treliças na Tabela 13, pode-se observar que cada barra da treliça estas estavam sendo tracionadas e comprimidas dependendo da situação. Sendo necessária a verificação dessas barras para ambas as forças axiais mais significativas.

Dessa forma, as análises de tração e compressão estão apresentadas nas Tabelas 16 e 17, onde nota-se que o perfil empregado para os banzos não suporta a tração no banzo superior e a compressão no banzo inferior e ainda que o perfil empregado para as diagonais e os montantes não suporta a compressão observada nas diagonais, sendo necessário um redimensionamento dos dois tipos de perfis utilizados.

As barras comprimidas foram ainda analisadas na Tabela 17 quanto ao limite do índice de esbeltez igual a 200, mostrando que os dois tipos de perfil empregados não ultrapassa esse limite em nenhum elemento.

Tabela 16: Análise das barras tracionadas da treliça.

	Banzo Sup.	Banzo Inf.	Diagonal	Mont.
<i>Nt, Sd (kN)</i>	152,569	39,074	26,119	48,729
<i>Lef (m)</i>	0,82	1,70	2,02	0,15
<i>Nt, Rd, Esc (kN)</i>	117,955	117,955	101,591	101,591
<i>Nt, Rd, Rup (kN)</i>	96,111	96,111	82,778	82,778
<i>Nt, Rd (kN)</i>	96,111	96,111	82,778	82,778
Verificação	Falha!	Ok!	Ok!	Ok!
<i>Ag min. (mm²)</i>	823,874	211,001	141,043	263,137

Tabela 17: Análise das barras comprimidas da treliça.

	Banzo Sup.	Banzo Inf.	Diagonal	Mont.
<i>Nc, Sd (kN)</i>	45,290	154,007	49,120	29,029
<i>Lef (m)</i>	0,82	1,70	0,84	1,45
<i>(b/t) (AA)</i>	33,000	33,000	30,333	30,333
<i>(b/t) (AL)</i>	13,333	13,333	10,667	10,667
<i>(b/t)lim (AA)</i>		42,144		
<i>(b/t)lim (AL)</i>		15,839		
<i>Q</i>	1	1	1	1
<i>Ney (N)</i>	224181,033	52158,937	110792,394	37181,980
<i>λo</i>	0,761	1,577	1,004	1,734
<i>χ</i>	0,529	0,353	0,432	0,292
<i>Nc, Rd (kN)</i>	62,398	41,638	43,887	87,470
Verificação	Ok!	Falha!	Falha!	Ok!
<i>Lef/ry < 200</i>	67,600	140,147	89,241	154,047
Verificação	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!

Apesar dos perfis empregados nas barras das treliças não suportarem satisfatoriamente às forças axiais em alguns pontos, a Tabela 18 expõe que o limite de deslocamento imposto pela norma não é superado.

Tabela 18: Análise do deslocamento das treliças.

Deslocamento	Valor
<i>δlim (mm)</i>	62,5
<i>δtotal (mm)</i>	5,838
Verificação	Ok!

Comparando-se as resistências dos perfis utilizados nos elementos das treliças (Tabelas 16 e 17) com os valores das combinações no estado limite último (ELU) dos mesmos (Tabela 13), é possível observar que esses perfis falham apenas na quinta combinação, na qual considera-se a ação de sucção do vento, o que sugere a possibilidade do engenheiro projetista não ter considerado as ações do vento.

Porém, o mesmo não pode-se dizer a respeito das terças, pois o momento resistente no eixo x do perfil utilizado (Tabela 14) não suporta o momento solicitante no eixo x na segunda combinação (Tabela 12), a qual não é influenciada pelas ações do vento. E ainda, uma vez que o fator de minoração do vento no estado limite de serviço (ELS) é nulo (Tabela 2), o deslocamento superior ao limite observado nas terças também não é influenciado pelo vento. Dessa forma, também existe a possibilidade do galpão ter sido construído sem projeto algum.

4.2 REDIMENSIONAMENTO

Uma vez que os perfis utilizados não suportaram os esforços solicitantes, admite-se que estes estavam subdimensionados, sendo necessária a adoção de perfis mais resistentes para a estrutura. Dessa forma, buscou-se por novos perfis que satisfizessem à estes esforços.

Nesse redimensionamento, para as barras da treliça, manteve-se o padrão de utilizar um mesmo perfil para os banzos superiores e inferiores e outro para os montantes e diagonais. Foram escolhidos novos perfis que suportassem os carregamentos solicitantes, sendo estes apresentados na Tabela 19 com suas devidas propriedades calculadas.

Tabela 19: Novos perfis adotados no redimensionamento da estrutura.

Elemento	TERÇA	DIAG./MONT.	BANZOS
Identificação do Perfil	(150x60)	(100x40)	(200x75)
<i>d</i> (mm)	150	100	200
<i>bf</i> (mm)	60	40	75
<i>tw</i> e <i>tf</i> (mm)	4,75	2,65	4,75
<i>A</i> (mm²)	831,00	462,96	1617,38
<i>X_{CG}</i> (mm)	15,10	9,88	17,85
<i>I_x</i> (mm⁴)	4105320,15	689955,18	9528432,80
<i>I_y</i> (mm⁴)	406865,62	68492,28	827493,51
<i>W_x</i> (mm³)	54737,60	13799,10	95284,33
<i>W_y</i> (mm³)	9061,70	2273,74	14478,96
<i>ry</i> (mm)	22,13	12,16	10,27

A Tabela 20 apresenta as verificações quanto às condições de segurança em relação ao perfil (150x60) adotado para as terças. Porém, apesar das validade dos valores de resistência dos esforços cortantes garantido pelas verificações da Tabela

22, a Tabela 21 mostra que o mesmo não ocorre com os valores dos momentos fletores uma vez que foi necessária a verificação da condição da Equação 16 para a FLM.

Tabela 20: Verificação das condições de segurança das terças.

Solicitantes	Valor	Resistentes	Valor	Verif.
$V_{Sd, x}$ (kN)	2,041	$V_{Rd, x}$ (kN)	97,159	Ok!
$V_{Sd, y}$ (kN)	5,714	$V_{Rd, y}$ (kN)	38,864	Ok!
$M_{Sd, x}$ (kN.m)	1,776	$M_{Rd, x}$ (kN.m)	2,368	Ok!
$M_{Sd, y}$ (kN.m)	4,951	$M_{Rd, y}$ (kN.m)	14.306	Ok!
Condição $\left(\frac{M_{Sd,x}}{M_{Rd,x}}\right)^2 + \left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}}\right)^2 \leq 1$			0,682	Ok!

Tabela 21: Verificação da flambagem das terças.

Eixo x					
	λ_p	$l_b \text{ max}$ (cm)	Verif. $\lambda = \lambda_p$	--	--
FLT	49,78	110,15	Ok!	--	--
Eixo y					
	λ	λ_p	Verif. $\lambda \leq \lambda_p$	λ_r	Verif. $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$
FLM	12,63	10,75	Calcular λ_r	28,06	Ok!
FLA	31,58	106,35	Ok!	--	--
Eixo y					
	λ	λ_p	Verif. $\lambda \leq \lambda_p$	λ_r	Verif. $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$
FLM	12,63	10,75	Calcular λ_r	28,06	Ok!
FLA	31,58	31,68	Ok!	--	--

Tabela 22: Verificação da validade dos valores das forças cortantes.

Eixo x				
	λ	k_v	λ_p	Verif. $\lambda \leq \lambda_p$
	12,63	5	69,57	Ok!
Eixo y				
	λ	k_v	λ_p	Verif. $\lambda \leq \lambda_p$
	31,58	1,2	34,08	Ok!

Sendo assim, a Tabela 23 apresenta a reavaliação quanto as condições de segurança em relação ao perfil mencionado adotado para as terças, concluindo que esse resiste satisfatoriamente às forças cortantes e aos momentos fletores.

Tabela 23: Reavaliação das condições de segurança das terças.

Solicitantes	Valor	Resistentes	Valor	Verif.
$V_{Sd, x}$ (kN)	2,041	$V_{Rd, x}$ (kN)	97,159	Ok!
$V_{Sd, y}$ (kN)	5,714	$V_{Rd, y}$ (kN)	38,864	Ok!
$M_{Sd, x}$ (kN.m)	1,776	$M_{Rd, x}$ (kN.m)	2,268	Ok!
$M_{Sd, y}$ (kN.m)	4,951	$M_{Rd, y}$ (kN.m)	13,697	Ok!

$\text{Condição } \left(\frac{M_{Sd,x}}{M_{Rd,x}} \right)^2 + \left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} \right)^2 \leq 1$	0,744	Ok!
---	-------	-----

Uma vez que o perfil das terças atendeu às condições de segurança, fez-se análise quanto ao deslocamento dessas. Sendo que a Tabela 24 mostra que perfil utilizado proporciona um deslocamento total menor que a deformação limite imposta pela norma.

Tabela 24: Análise do deslocamento das terças.

Deslocamento	Valor
δx (mm)	9,064
δy (mm)	1,482
δ_{total} (mm)	9,185
δ_{lim} (mm)	27,778
Verificação	Ok!

Já as Tabelas 25 e 26 apresentam as verificações dos perfis (200x75) e (100x40) utilizados nos banzos e nas diagonais e montantes, respectivamente. Onde é possível observar que esses suportam as forças axiais solicitantes e ainda quando comprimidos não ultrapassam o limite de esbeltez.

Tabela 25: Verificação das barras tracionadas da treliça.

	Banzo Sup.	Banzo Inf.	Diagonal	Mont.
<i>Nt, Sd</i> (kN)	152,569	39,074	26,119	48,729
<i>Lef</i> (m)	0,82	1,7	2,02	0,15
<i>Nt, Rd, Esc</i> (kN)	367,585	367,585	105,217	105,217
<i>Nt, Rd, Rup</i> (kN)	299,514	299,514	85,732	85,732
<i>Nt, Rd</i> (kN)	299,514	299,514	85,732	85,732
Verificação	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!

Tabela 26: Verificação das barras comprimidas da treliça.

	Banzo Sup.	Banzo Inf.	Diagonal	Mont.
<i>Nc, Sd</i> (kN)	45,290	154,007	49,120	29,029
<i>Lef</i> (m)	0,82	1,7	0,84	1,45
<i>(b/t)</i> (AA)	42,105	42,105	37,736	37,736
<i>(b/t)</i> (AL)	15,789	15,789	15,094	15,094
<i>(b/t)lim</i> (AA)		42,144		
<i>(b/t)lim</i> (AL)		15,839		
<i>Q</i>	1	1	1	1
<i>Ney</i> (N)	2429218,803	565192,638	191607,617	64303,607
λo	0,408	0,846	0,777	1,342

χ	0,711	0,493	0,522	0,326
<i>Nt, Rd (kN)</i>	261,353	181,220	54,923	34,301
Verificação	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!
<i>Lef/ry < 200</i>	36,252	75,157	69,060	119,211
Verificação	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!

4.3 ORÇAMENTO DO MATERIAL DA ESTRUTURA

De acordo com as Tabelas 27 e 28, através do peso por metro e do custo por kilo dos perfis fornecidos pelas empresas distribuidoras de aço, foi possível calcular o peso e o custo total da estrutura original e da estrutura redimensionada.

Tabela 27: Peso e custo da estrutura original.

	Perfil	Peso (kg/m)	Custo (R\$/kg)	Peso (kg)	CUSTO (R\$)
Terças	75x40x15	3,87	4,53	1407,47	6377,28
Diag./Mont.	92x30	3,30	4,16	580,54	2414,35
Banzos	100x40	4,12	4,07	925,80	3766,15
				TOTAL	2913,80 12557,78

Tabela 28: Peso e custo da estrutura redimensionada.

	Perfil	Peso (kg/m)	Custo (R\$/kg)	Peso (kg)	CUSTO (R\$)
Terças	150x60	9,37	4,17	3409,47	14214,21
Diag./Mont.	100x40	3,52	4,07	618,65	2516,67
Banzos	200x75	12,52	4,12	2813,75	11592,56
				TOTAL	6841,87 28323,44

Nota-se através dos resultados apresentados, que tanto o peso como o custo total da estrutura original representam menos da metade do que da estrutura redimensionada.

5 CONCLUSÕES

Através dos cálculos realizados neste trabalho verifica-se a pouca praticidade em dimensionar estruturas de aço sem a ajuda de softwares, dada a ampla interatividade do processo de dimensionamento que dificulta a determinação do perfil que melhor se ajuste a cada elemento da estrutura. O aperfeiçoamento constante dos softwares busca cada vez mais simular de forma mais precisa a situação real da estrutura. Não obstante o conhecimento do projetista deve ser cada vez mais aprofundado, tendo em vista que a utilização indiscriminada de softwares sem o conhecimento técnico necessário pode resultar em estruturas quando não onerosas, inseguras.

Ao estudar os efeitos do vento em estruturas metálicas, Lazanha (2003) diz que hipóteses simplificadoras são admitidas aos carregamentos variantes no tempo como o vento, transformando-os em carregamentos estáticos equivalentes. Porém, o autor afirma que como penalidade associada à adoção dessas hipóteses, os carregamentos estáticos adotados podem levar a estruturas superdimensionadas e economicamente inviáveis. Analisando desse ponto de vista, em muitos casos a ação dos ventos proporciona uma maior necessidade de material, acarretando em estruturas mais pesadas e mais caras, o que pode ser observado no orçamento realizado neste trabalho. Sendo assim, como analisado, a estrutura original não suporta a combinação que inclui vento de sucção na totalidade, sugerindo que o engenheiro projetista não tenha considerado as ações do vento.

Dessa forma, apesar da estrutura original ser bastante econômica, essa não apresenta segurança alguma garantida pela NBR 8800 (ABNT, 2008) conforme o comportamento observados pelas terças e pelas barras das treliças, o que determinou a necessidade do redimensionamento.

É importante citar ainda, que apesar do capital economizado ser suficiente para a construção de um novo galpão idêntico, se essa estrutura viesse a ruir, os prejuízos não se limitariam a apenas a estrutura física em si, mas também aos danos causados nos equipamentos, a perda de um lote de aves, a não produção durante a reconstrução do galpão e conseqüentemente a não geração de lucros nesse período e ainda a eventual perda de vida humana. Além disso, de acordo com Bellei (1998), de maneira geral, para uma estrutura metálica o projeto estrutural representa entre 1

e 3% do custo total da obra, enquanto que o custo dos materiais e insumos varia de 20 a 30%. Sendo assim, compreende-se que não vale a pena a economia e correr o risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCELOR MITTAL. **Catálogo de perfis U dobrados**. Disponível em: <<http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/perfis-estruturais/catalogo-perfis-estruturais.pdf>>. Acessado 25 de set. de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 6120:1980 Cargas para o cálculo de estruturas**. 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 6123:1988 Força devido ao vento em edificações**. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7190:1997 Projeto de estruturas de madeira**. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, ABPA. **Relatório anual 2016**. São Paulo, SP: UBPA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, ABPA. **Resumo do setor de aves no website**. Disponível em <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/resumo>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

AZEVEDO, Marluce A. de; NASCIMENTO, José Wallace B. do. **Estruturas de madeira para cobertura de aviários no estado da Paraíba**. Parte de dissertação defendida pelo primeiro autor na UFPB, Campina Grande, PB, publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.3, 1999.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço**. 2ª edição, Editora Pini Ltda, São Paulo, SP, 1998.

BEPLASTIC. **Descrição de produtos**. Disponível em: <<http://beplastic.com.br/?go=produtos&id=6>>. Acessado em 13 de ago. de 2017.

BORTOLOTTO. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.bortolotto.com.br/ferroeaco/catalogo.asp>>. Acessado 25 de set. de 2017.

BRAGA, Bárbara Kelly G. **Projeto estrutural de galpão metálico segundo recomendações da NBR8800**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica na Unesp. Guaratinguetá, SP, 2016.

BRASILIT. **Catálogo de telhas TopSteel**. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/sites/default/files/catalogos_folhetos/Cat%C3%A1logo-TelhasTopSteel-rasilit_0.pdf>. Acessado 13 set. 2016.

CASTRO, Ariane C. de. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. Dissertação de mestrado em Ciências na USP. Piracicaba, SP, 2012.

CORREIA, Emanuel André S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Especialização em estruturas na FEUP, Faculdade de Engenharia do Porto. Portugal, 2009.

DIFERRAL. **Catálogo de vigas U dobradas**. Disponível em: <http://www.diferral.com.br/produto-ver/produto/viga_u_dobrada>. Acessado 25 de set. de 2017.

FERREIRA, Marília. **A saga da avicultura: como o Brasil se tornou o maior exportador mundial de carne de frango**. Rio de Janeiro, RJ: Insight Engenharia de Comunicação; São Paulo, SP: UBABEF, 2011.

FLÔR, Mariane Isabel. **Otimização de coberturas em aço de edifícios industriais**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil na UFSC. Florianópolis, SC, 2015.

GONÇALVES, Bruno R. G.; MACHADO, Gustavo C. P; BENATTI, F. **Ciclone 3.0**. Versão educacional, USP, 2010.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Indicadores de Mercado**. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/index.asp>>. Acesso em 22 de setembro de 2017.

LAZANHA, Estevão C. **Análise dinâmica elasto-plástica de estruturas metálicas sob excitação aleatória de vento**. Dissertação de mestrado em Engenharia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

MARINGONI, Heloisa M. **Princípios de arquitetura em aço**. Coletânea do uso do aço, 2ª ed., v.4, Gerdau, 2004.

MARTHA, Luiz F. **FTOOL - Programa Gráfico-Interativo para ensino de comportamento de estruturas**. Versão educacional, PUC-Rio, 2012.

NETO, José P. L.; ALVINO, Francisco C. G.; LOPES, Fernanda F. de M. **Estruturas treliças para coberturas de construções rurais**. Revista Educação Agrícola Superior, vol. 27, n.1, 2012.

PRAVIA, Zacarias M. C.; DREHMER, Gilnei Artur; JÚNIOR, Enio M. **Manual de construção em aço: galpões para usos gerais**. 4ª ed., Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SOUZA, José Augusto F. **Desenvolvimento de um software de apoio ao estudo de treliças em pontes e telhados**. Dissertação de mestrado em Ciência da Computação na UFSC. Florianópolis, SC, 2002.

TINÔCO, Ilda de F. F. **Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros**. Revista Brasileira de Ciência Avícola, vol.3, n.1, Campinas, SP, 2001.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA, UBABEF. **Relatório anual 2012**. São Paulo, SP: UBABEF, 2012.