

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO



COBERTURA PARA GALPÕES EM ESTRUTURA METÁLICA

Cláudio Júnior Ferreira de Carvalho

Devlin Maxwell de Moraes Santos

ORIENTADOR: Profº. Paulo de Araújo Regis

Recife, PE – Brasil

Agosto de 2012

Cobertura para galpões em estrutura metálica

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Paulo de Araújo Regis

RECIFE, AGOSTO DE 2012

C331c Carvalho, Claudio Júnior Ferreira de
 Cobertura para galpões em estrutura metálica / Claudio Júnior Ferreira
 de Carvalho, Devlin Maxwell de Moraes Santos. – Recife: O Autor, 2012.
 72 folhas, il., figs., tabs.
 Orientador: Prof. Dr. Paulo de Araújo Regis
 TCC (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
 Departamento de Engenharia Civil e ambiental, 2012.
 Inclui referências.

 1. Engenharia Civil. 2. Aço estrutural 3. Estruturas metálicas. 4 Galpões.
 I. Regis, Paulo de Araújo (orientador). II. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE

Dedicatória

Dedicamos este trabalho as pessoas que lutam diariamente ao nosso lado, transmitindo fé, amor, alegria, determinação, paciência, e coragem. E ao nosso querido amigo “Seu Silvio” que foi um ótimo exemplo de alegria e amizade para todos, nos deixando com saudades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos aos nossos pais que sempre estiveram ao nosso lado em todos os momentos de nossas vidas, nunca nos deixando faltar integridade, apoio e carinho.

Ao nosso orientador, Paulo de Araújo Regis, pela paciência, apoio e contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos nossos amigos de universidade e colegas de trabalho, pela confiança depositada, paciência e apoio dado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco e a todos os seus professores que contribuíram na realização dessa jornada.

Aos nossos avós, tios, primos, namoradas e amigos, mesmo que alguns deles não estejam mais conosco nunca vamos esquecer-nos do amor, carinho e incentivo dados por eles todos esses anos.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho iremos abordar algumas considerações teóricas e práticas do dimensionamento da cobertura metálica de um galpão de forma a suportar as solicitações de utilização durante toda sua vida útil. Utilizamos como recurso estrutural a treliça como estrutura principal de cobertura, perfis $U_{e\#}$ como estruturas secundárias de cobertura e como solução de proteção contra corrosão peças galvanizadas.

Empregamos neste trabalho uma treliça Steel Joist totalmente parafusada, que foi projetada pelo professor Ézio Araújo, Professor-Doutor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Todas as memórias de cálculo estão apresentadas neste trabalho.

Sumário

Capítulo I – Introdução.....	14
1.1 – Consideração Geral.....	Erro! Indicador não definido. 24
1.2 – Objetivo	14
1.3 – Organização do trabalho.....	14
Capítulo II – Revisão Bibliográfica	16
2.1 – Considerações Gerais	16
2.2 – Aço estrutural	16
2.2.1 – Tipos de aço.....	16
2.2.1.1 – Aço carbono.....	16
2.2.1.2 – Aço de baixa liga.....	17
2.2.2 – Propriedades do aço.....	18
2.2.2.1 – Ductibilidade	18
2.2.2.2 – Fragilidade	18
2.2.2.3 –Corrosão.....	18
2.2.2.4 – Dureza	18
2.2.2.5 – Resiliência.....	18
2.2.2.6 – Tenacidade	18
2.2.2.7 – Fadiga.....	19
2.2.2.8 – Efeito de temperatura.....	19
2.2.2.9 – Elasticidade.....	19
2.2.3 – Constantes Físicas	19
2.3 – Edifícios industriais.....	19
2.3.1 – Definição.....	19
2.3.2 – Tipos de edifício industrial.....	20
2.4 – Projeto	21
2.4.1 – Características	21
2.5 – Ações atuantes na estrutura.....	23
2.5.1 – Tipos de Carregamento.....	23
2.5.1.1 – Carga Permanente	23
2.5.1.2 – Carga Acidental.....	23

2.5.2 – Descrição e obtenção das cargas	23
2.5.2.1 – Peso próprio	23
2.5.1.1 – Carga Permanente	24
2.5.1.3 – Sobrecarga de Norma.....	24
2.5.1.3 – Sobrecarga de utilidades	24
2.5.3 – Vento	26
2.5.3.1 – Fator topográfico	26
2.5.3.1 – Fator de rugosidade	28
2.5.3.3 – Fator estatístico	30
2.6 – Combinações de projeto.....	34
2.6.1 – Combinações otimas normais.....	34
2.2.1.1 – Combinações raras de serviço	37
2.7 – Ligações.....	37
2.7.1 – Ligações parafusadas	38
Capítulo III – Cálculo	41
3.1 –Modulação	41
3.2 – Solução	41
3.2.1 – Estrutura secundária de apoio	41
3.2.2 – Estrutura principal de apoio	54
3.2.3 – Chumbadores	57
3.2.4 – Contraventamentos.....	58
Capítulo IV – Limpeza e pintura	60
4.1 – Corrosão	61
4.2 – Importância do estudo da corrosão	61
4.2.1 – Natureza dos processos corrosivos	61
4.3 – Qualificação da agressividade do ambiente.....	61
4.4 – Proteção.....	62
4.4.1 – Pintura.....	62

4.4.2 – Preparação da superfície de aço	63
4.4.2.1 – Tipos de limpeza	64
4.4.2.1.1 – Utilização de solventes	64
4.4.2.1.2 – Desagregação Natural	64
4.4.2.1.3 – Limpeza Manual	64
4.4.2.1.4 – Limpeza Mecânica	64
4.4.2.1.5 – Limpeza com chamas	64
4.4.2.1.6 – Limpeza com jato abrasivo	65
4.4.2.1.7 – Decapagem	65
4.5 – Posição da tinta no sistema de pintura	66
4.5.1 – Tinta de fundo ou primer	67
4.5.2 – Tinta intermediária	67
4.5.3 – Tinta de acabamento	67
4.6 – Gavanização e zincagem	69
Referências	70
Anexo I	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplo de Viga Trelaçada Tipo Joist.

Figura 2.2 – Pórtico de Fachada Transversal.

Figura 2.3 – Pórtico de Fachada Longitudinal.

Figura 2.4 – Planta baixa.

Figura 2.5 – Mapa de Isopletas da Velocidade Básica do Vento (V_o em m/2).

Figura 2.6.a. – Fator Topográfico $S_1(Z)$, Talude.

Figura 2.6.b. – Fator Topográfico $S_1(Z)$, Morro.

Figura 2.7 – Localização do esforço do vento em um telhado de duas águas simétricas.

Figura 2.8 – Coeficientes de majoração

Figura 2.9 – Diagrama Esquemático de soldagem com eletrodo revestido.

Figura 2.10 – Diagrama Esquemático de soldagem com arco submerso.

Figura 2.11 – Diagrama Esquemático de soldagem em atmosfera gasosa.

Figura 2.12 – Diagrama Esquemático de soldagem eletroescória;

Figura 2.13 – Diagrama Esquemático de soldagem em atmosfera gasosa.

Figura 2.14 – Corte Axial;

Figura 2.15 – Corte Excêntrico;

Figura 2.16 – Tração;

Figura 2.17 – Corte e Tração;

Figura 3.1 – Esquema de terça;

Figura 3.2 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 1)

Figura 3.3 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 2)

Figura 3.4 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 3)

Figura 3.5 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 4)

Figura 3.6 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 5)

Figura 3.7 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 6)

Figura 3.8 – Esforços Axiais na Joist.

Figura 3.9 – Esforços Axiais de Tração no Contraventamento.

Figura 4.1- Sistema simples, com primer e acabamento para ambientes de pouca agressividade

Figura 4.2 - Sistema com primer intermediária e acabamento para ambientes agressivos

Figura 4.3 - Sistema com tinta epoximastic dupla função e demão única.

Figura 4.4 – Aplicação Errada

Figura 4.5 – Aplicação correta, sempre o primer em primeiro lugar

Figura 4.6 – Célula de corrosão eletroquímica

Figura 4.7 – Mecanismo de ação da tinta que atua por proteção catódica

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Valor Máximo dos Compostos do Aço-Carbono;

Tabela 2.2 – Classificação quanto ao teor de Carbono;

Tabela 2.3 – Fator topográfico;

Tabela 2.4 – Fator rugosidade do terreno, dimensões das edificações e altura acima do terreno;

Tabela 2.5.– Fator estatístico;

Tabela 2.6. – Coeficiente de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas simétricas;

Tabela 2.7. – Coeficientes de Segurança Parciais aplicados as ações;

Tabela 2.8. – Fatores de Combinação γ_0 e de Redução γ_1 e γ_2 para as Ações Variáveis;

Tabela 3.1 – Combinações para Estrutura Secundária de Apoio;

Tabela 3.2 – Travamento da Seção;

Tabela 3.3 – Resultados da Combinação 1;

Tabela 3.4 – Resultados da Combinação 2;

Tabela 3.5 – Resultados da Combinação 3;

Tabela 3.6 – Resultados da Combinação 4;

Tabela 3.7 – Resultados da Combinação 5;

Tabela 3.8 – Resultados da Combinação 6;

Tabela 3.9 – Combinações para Estrutura Principal de Apoio;

Tabela 3.10 – Carga Última de Compressão;

Tabela 3.11 – Resis. dos Chumbadores em kN – Met. das Tensões Admissíveis – AISC – ASD;

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 2.1 – Pressão Dinâmica em kgf/m^2 ;

Eq. 2.2 – Pressão Dinâmica em N/m^2 ;

Eq. 2.3 – Velocidade característica do vento;

Eq. 2.4 – Combinação Última Normal;

Eq. 2.5 – Combinação de Serviço;

Eq. 3.1 – Cálculo do Chumbador a Tração – Método AISC-ASD;

Eq. 3.2 – Cálculo da Espessura da Chapa do Chumbador– Método AISC-ASD;

Eq. 3.3 – Cálculo da tensão a ser usada no concreto;

Eq. 3.4 – Cálculo do Escoamento da Seção;

Eq. 3.5 – Cálculo da Ruptura da Seção Bruta;

LISTA DE SÍMBOLOS

CC – Carga Construtiva;

C_e – Coeficiente de forma externo;

C_i – Coeficiente de forma interno;

CP – Carga Permanente;

C_{pe} – Coeficiente de pressão externo;

C_{pi} – Coeficiente de pressão externo;

CP – Carga Permanente;

f_u – tensão última(ruptura) do aço;

f_y – tensão de escoamento do aço;

F_d – Carga de Projeto;

$F_{G1,k}$ – Valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ – Valor característico da ação variável principal para a combinação;

F_{Qj} – Valor característico das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

E – Módulo de Elasticidade;

G – Módulo Transversal de Elasticidade;

PP – Peso Próprio das estruturas;

q – Pressão dinâmica;

S_{cn} – Sobrecarga de Norma;

S_{cu} – Sobrecarga de Utilidades;

S_1 – Fator topográfico;

S_2 – Fator de rugosidade;

S_3 – Fator estatístico;

V – Carga de Vento;

V_o – Velocidade básica do vento;

V_k – Velocidade característica do vento;

α – Coeficiente de Dilatação Térmica;

γ_g – Coeficiente de Segurança para carregamentos permanentes;

γ_q – Coeficiente de segurança para carregamentos variáveis;

ρ_a – Massa Específica;

ν – Coeficiente de Poisson no Regime Elástico;

ν_p – Coeficiente de Poisson no Regime Plástico;

ψ – Fator de redução das ações; fator de combinação das ações;

INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Gerais

O trabalho realizado pelos alunos Cláudio Júnior Ferreira de Carvalho e Devlin Maxwell Santos de Moraes, orientados pelo professor Paulo Regis de Araújo, visou o estudo de um Galpão em Estruturas Metálicas. Mostrando as nuances desse método construtivo.

1.2 – Objetivo

Por em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso sobre análise estrutural. E assim realizar um projeto de um galpão em estruturas metálicas, levando em consideração suas particularidades, para que por fim possamos utilizar em nossa vida profissional.

1.3 – Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma:

[Capítulo 1] – Introdução, Objetivo e Organização do Trabalho: É dada uma visão geral do trabalho, com a Introdução, os objetivos a serem alcançados e uma breve descrição de como estará disposto esse documento;

[Capítulo 2] – Revisão Bibliográfica: É realizada uma descrição bibliográfica acerca dos documentos que foram tomados como base teórica para a formulação do Galpão;

[Capítulo 3] – Metodologia de Cálculo Utilizada: Descrição dos procedimentos de cálculo utilizados, assim como das cargas utilizadas. Também é

demonstrada a obtenção das mesmas e as considerações feitas. São descritas as combinações de cargas utilizadas para o cálculo das estruturas;

[Capítulo 4] – Limpeza e proteção: Descrição das proteções que serão aplicadas nas estruturas para o aumento da sua vida útil;

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nesse capítulo será discutido o material utilizado para a construção da cobertura metálica de um galpão. Assim como seu comportamento e suas particularidades.

A solução estrutural utilizada foi a de treliça como estrutura principal de cobertura e perfis $U_{e\#}$ como estruturas secundárias de cobertura. A treliça utilizada nesse trabalho não foi a treliça Joist padrão americano e sim outro tipo de Joist, que foi desenvolvido por Ézio de Araújo, professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Esse tipo de treliça será descrito no decorrer do trabalho.

Será feito um estudo sobre as cargas atuantes na estrutura e suas particularidades, assim como as combinações de esforços últimas e de serviço, previstas pela NBR8800:2008.

2.2 – AÇO ESTRUTURAL

O aço é um composto constituído quase que totalmente por ferro (cerca de 98%), com pequenas quantidades de carbono, cobre, nióbio, cromo, dentre outros. Dentre todos esses materiais que compõem o aço, o que exerce maior efeito é o carbono, que dá as seguintes propriedades ao aço:

- Alta resistência mecânica (comparada com qualquer material disponível);
- Dutibilidade (capacidade que o aço tem de se deformar antes da ruptura);

Nesse trabalho serão utilizados dois tipos de aço.

2.2.1 – TIPOS DE AÇO

2.2.1.1 Aço-Carbono: Aços mais usuais, nos quais o aumento da resistência é dado devido ao teor de carbono em sua composição. A resistência também aumenta (em menor escala) devido ao fator de manganês presente (quanto maior a porcentagem de manganês, mais

resistente é o aço). Esse tipo de aço também recebe uma subclassificação devido ao teor de carbono presente, como demonstrado a baixo:

Carbono	2.00%	Manganês	1.65%
Silício	0.60%	Cobre	0.35%

Tabela 2.1 – Valor Máximo dos Composto do Aço-Carbono.

Também é classificado devido ao teor de carbono presente.

Classificação	Mínimo	Concentração de Carbono	Máximo
Baixo Carbono		C	0.29%
Médio Carbono	0,3%	C	0,59%
Alto Carbono	0,6%	C	2,0%

Tabela 2.2 – Classificação quanto ao teor de Carbono.

Porém em estruturas usuais de aço, o carbono é limitado a um valor não maior que 0,45%, o que garante uma boa soldabilidade.

2.2.1.2 Aço de Baixa Liga: Os aços de baixa liga são aços-carbono acrescidos de elementos de baixa liga (nióbio, silício, manganês, dentre outros). Esses elementos provocam um aumento na resistência do aço, através da modificação da microestrutura para grãos finos. Graças a esse fato, é possível a obtenção de aços com alta resistência e com um teor de carbono da ordem de 0,20%, garantindo assim uma boa soldabilidade. Dependendo da adição feita (valádio, cromo, cobre, níquel, alumínio), esses aços podem ter aumentada sua resistência à corrosão atmosférica de duas até quatro vezes. Esse tipo de aço também é conhecido como patinável.

2.2.2 – PROPRIEDADES DOS AÇOS

Abaixo estão descritas algumas das principais propriedades que os aços possuem. Essas propriedades são de fundamental importância para a compreensão do comportamento das estruturas em aço.

2.2.2.1 Ductilidade: É a característica que o material tem de se deformar sob ação das cargas. Os aços dúcteis, quando sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões.

2.2.2.2 Fragilidade: Oposto da ductilidade. Os aços podem se tornar frágeis devido a fatores como; baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos locais causados por solda elétrica, etc.

2.2.2.3 Corrosão: É o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto desta reação muito similar ao minério de ferro. A corrosão promove a perda de seção das peças de aço, podendo se constituir em causa principal de colapso. Podendo ser evitada com pintura ou por galvanização. Esse assunto será abordado no capítulo 4 deste trabalho.

2.2.2.4 Dureza: É a resistência ao risco ou abrasão que o material possui. As relações físicas entre dureza e resistência foram estabelecidas experimentalmente, de modo que o ensaio de dureza é um meio expedito de verificar a resistência do aço.

2.2.2.5 Resiliência: Capacidade mecânica de absorção de energia mecânica em regime elástico. O módulo de resiliência nada mais é que a quantidade de energia elástica que pode ser absorvida por unidade de volume do metal tracionado.

2.2.2.6 Tenacidade: É a energia total (elástica e plástica) que o material pode absorver por unidade de volume até sua ruptura.

2.2.2.7 Fadiga: É o enfraquecimento do material devido a ocorrência de esforços cíclicos, que podem fazer o material chegar a ruptura, mesmo que esteja sob a influência bem menor do que seu limite de ruptura.

2.2.2.8 Efeito de Temperatura: Sob elevadas temperaturas o aço tem suas resistências de escoamento(f_y) e de ruptura(f_u) reduzidas, assim como seu módulo de elasticidade(E), comprometendo assim a segurança da estrutura.

2.2.2.9 Elasticidade: É a capacidade que os metais têm de voltar a sua forma original após sucessivos ciclos de carregamento e descarregamento(carga e descarga).

2.2.3 – CONSTANTES FÍSICAS

Abaixo se encontra uma série de propriedades que são praticamente constantes, para todos os aços estruturais:

Massa Específica $\gamma_a = 7,85\text{t/m}^3 = 77,0\text{kN/m}^3$;

Módulo de Elasticidade $E = 200.000\text{MPa} = 20.000\text{kN/cm}^2$;

Coeficiente de Poisson no Regime Elástico $\nu = 0,3$;

Módulo Transversal de Elasticidade $G = E/2(1+\nu) = 7.700\text{kN/cm}^2$;

Coeficiente de Poisson no Regime Plástico $\nu_p = 0,5$;

Coeficiente de Dilatação Térmica $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

2.3 – EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS

2.3.1 – DEFINIÇÃO

Os galpões ou edifícios industriais são construções de geralmente um só pavimento com a finalidade de cobrir grandes áreas destinadas a diversos fins, como fábricas, oficinas, hangares, etc.

2.3.2 – TIPOS DE EDIFÍCIO INDUSTRIAL

Existem diversas tipologias de galpão. Não havendo assim uma lista de modelos de modulação de galpões a serem construídos, pois cada obra tem a sua particularidade. Esse trabalho não visa detalhar minuciosamente todos os tipos de galpões já pré-definidos. Por esta razão só será detalhado a tipologia utilizada para a construção do mesmo.

Utilizaremos a treliça plana tipo Steel Joist. Esse tipo de treliça é comumente utilizado em todo o mundo. Sua utilização sob a forma de um código técnico se deu pela primeira vez no ano de 1928, quando foi constituído o Steel Joist Institute (SJI). O Steel Joist Institute é uma organização de fabricantes de estrutura de aço, que tem como principal função, padronizar produtos e qualificar fabricantes de Joists através do desenvolvimento de tecnologia de cálculo, projeto, fabricação e montagem.

Nesse trabalho será utilizada a Joist padrão Zipco Sistemas construtivos e não a Joist padrão americano (citada a cima). Essa Joist foi projetada pelo professor Ézio Araújo, Professor-Doutor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Sendo utilizado um perfil diferenciado, que é produzido na própria fábrica da empresa. Ele é toda constituída por perfis metálicos dobrados a frio, com espessura de 1.5mm, que serão montados na obra. Essa treliça é toda parafusada.

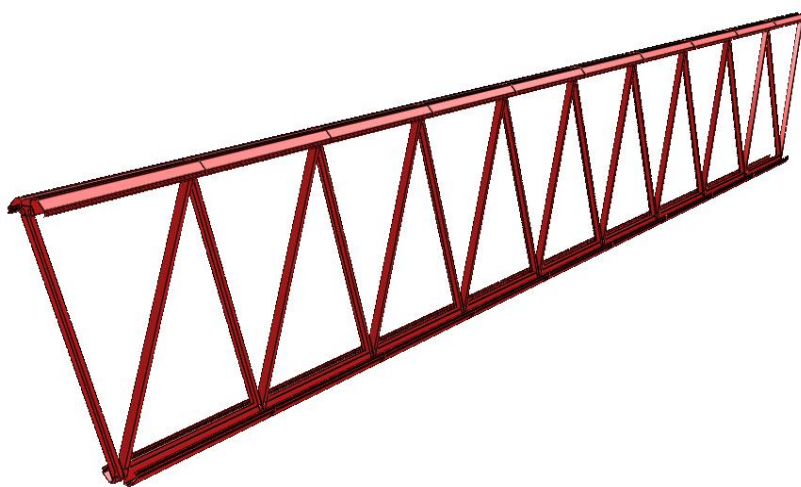


Figura 2.1 – Exemplo de Viga Treliçada Tipo Joist.

2.4 – PROJETO

2.4.1 – CARACTERÍSTICAS

Como já citado esse trabalho consiste no projeto da cobertura de um galpão. O galpão Analisado consiste em um galpão com pilares em concreto e fechamento em laje alveolar. Sendo calculados nesse trabalho somente estrutura de coberta e suas ligações. As dimensões das peças estão descritas de forma detalhada no capítulo 3.

A cobertura possuirá telha trapezoidal com espessura de 0.50mm, espaçadas a cada 1200mm (coincidindo com o nó da Joist). Não possui isolamento acústico ou térmico e sua inclinação é de 3%. Abaixo demonstramos as modulações do galpão e sua planta baixa.

As características do galpão serão as seguintes:

1. Área de Cobertura: 1542,24 m²;
2. Localização: SUAPE – PE. Situado próximo ao mar;
3. Pilares em concreto;
4. Fechamento feito com telhas metálicas;
5. Quantidade de planos de águas: 2;

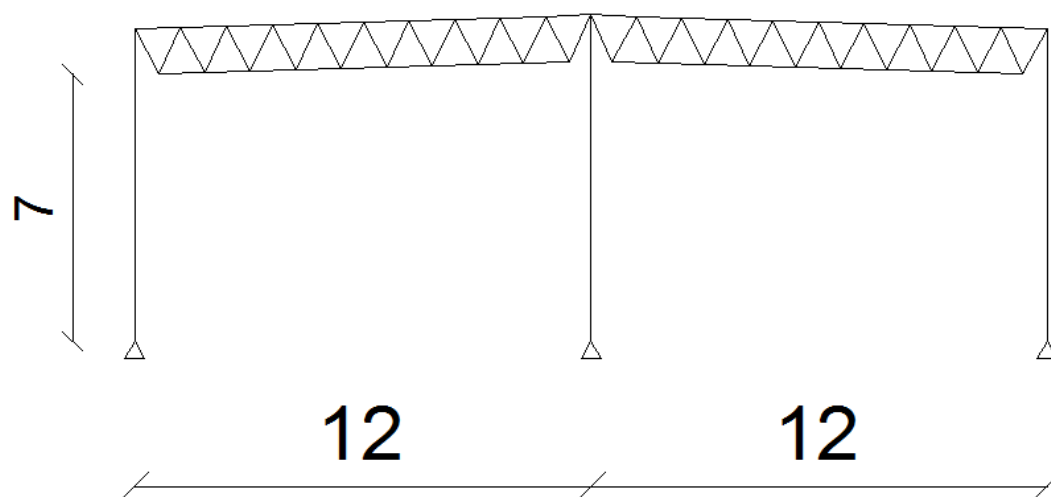


Figura 2.2 – Pórtico de Fachada Transversal.

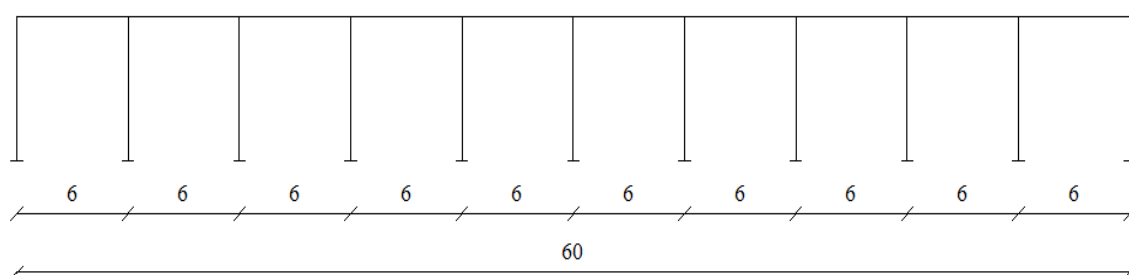


Figura 2.3 – Pórtico de Fachada Longitudinal.

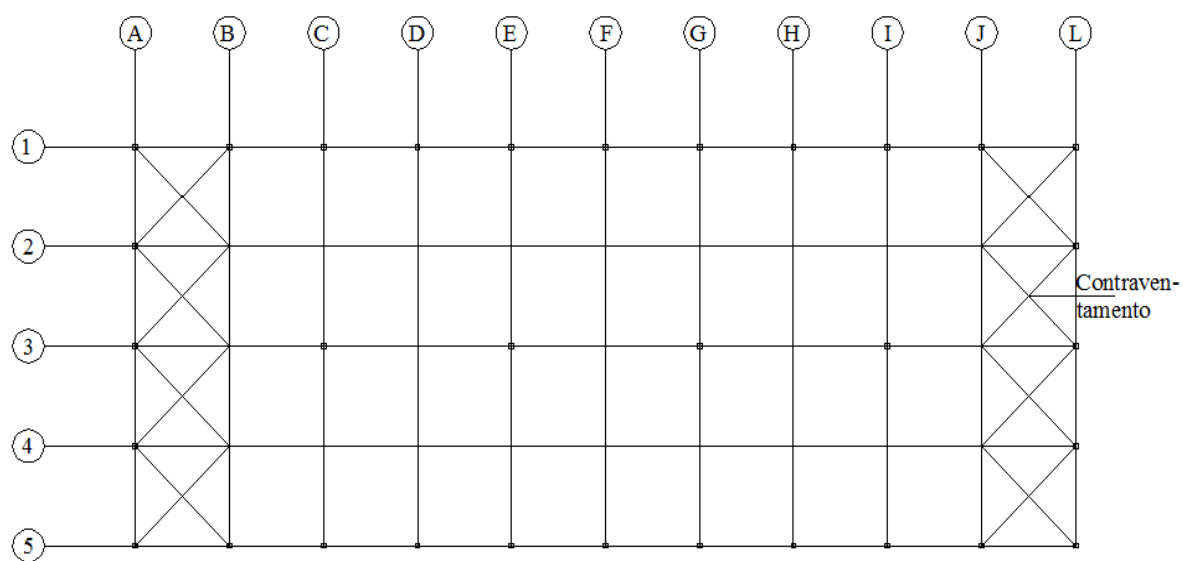


Figura 2.4 – Planta baixa.

2.5 – AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

2.5.1 – TIPOS DE CARREGAMENTOS

No projeto de um galpão industrial deve-se levar em consideração diversas situações. Situações essas que devam garantir uma segurança estrutural a fim de evitar colapso da estrutura, como também evitar grandes vibrações, deslocamentos e danos locais. Por isso devemos levar em consideração todas as cargas atuantes sobre a estrutura.

De acordo com a NBR 6120, há dois tipos de carregamento. O primeiro é a carga permanente e o segundo é a carga acidental. Ambas estão descritas abaixo.

2.5.1.1 Carga Permanente: Este tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Nesse artigo essa carga está dividida em peso próprio (PP) e carga permanente (CP). Sendo a primeira carga o peso próprio da estrutura analisada e o segundo o peso das estruturas que se apóiam sobre a mesma;

2.5.1.2 Carga Acidental: É toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.). Nesse projeto foram levadas em consideração três cargas acidentais. A sobrecarga de Norma (Scn), Sobrecarga de Utilidades (Scu) e Vento (V).

2.5.2 – DESCRIÇÃO E OBTENÇÃO DAS CARGAS

Abaixo estão descritas as cargas já citadas, seus valores, assim como o método utilizado para a sua obtenção.

2.5.2.1 Peso Próprio (PP): Essa carga foi calculada a partir do programa STRAP, utilizado para o cálculo estrutural das peças projetadas. Foi dado

um acréscimo de cerca de 5% ao peso próprio de cada estrutura. Sendo dessa forma levada em consideração o peso de parafusos, chaparias e acessórios;

2.5.2.2 Carga Permanente (CP): Como já foi citado em 2.5.1.1, Esse peso é o peso da estrutura que se apóia (podendo ser telhas, treliças Joist, vigas de apoio, etc.) na estrutura analisada.

2.5.2.3 Sobrecarga de Norma (Scn): De acordo com a NBR 8800:2008, item B.5.1.:

Nas cobertas comuns(telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25kN/m² (ou 25kgf/m²), em projeção horizontal. Admite-se que essa sobrecarga englobe as cargas decorrentes de instalações elétricas e hidráulicas de isolamento térmico e acústico e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até um limite superior de 0,05kN/m².

2.5.2.4 Sobrecarga de Utilidades (Scu): Carga correspondente a equipamentos e elementos construtivos não em geral(com taxa superiores a 0,05kN/m²). Nesse trabalho consideramos esse valor como:

Scu: 0,15kN/m²

2.5.3 – VENTO:

Apesar de ser um carregamento accidental, como as sobrecargas de norma (Scn) e a de utilidades (Scu), a carga de vento é muito mais complexa que as demais, pois seu valor depende da localidade, forma da construção, tipo de vedação da construção, dentre outros fatores. Por essa razão resolvemos dedicar um item inteiro para descrever esse carregamento.

O cálculo de vento para esse projeto foi feito com fundamentação teórica na NBR 6123/88 "Forças devidas ao vento nas edificações".

Segundo BELLEI (2010), a ação do vento nas estruturas metálicas é uma das mais importantes a considerar, principalmente se não houver ações de pontes rolantes, não podendo ser negligenciada, sob o risco de colocar a estrutura em colapso.

Para obtenção do vento foi necessário fazer uma análise da localidade da obra, pois o vento varia conforme a região do país. Para isso no período de 1954 a 1974 foi feito um levantamento estatístico das velocidades máximas anuais de cerca de 50 cidades brasileiras, utilizando uma recorrência de 50 anos (vida útil média de uma edificação). E considerou que ele possa atuar em qualquer direção, com igual probabilidade e sempre no sentido horizontal.

Os ventos com uma velocidade básica (V_o) inferiores a 30m/s foram desconsiderados. A partir desse estudo foi construído o gráfico de isopletas da velocidade básica, no Brasil, a cada 5m/s, como demonstrado na figura 2.3.

O item 4 da NBR 6123 diz que as forças devidas ao vento sobre uma edificação devem ser calculadas separadamente para:

1. Elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, etc.), utilizando os coeficientes de pressão;
2. Partes da estrutura (paredes, telhados, etc.), utilizando os coeficientes de forma;
3. A estrutura como um todo;

Para podermos descobrir o esforço gerado pelo vento tanto nas partes da estrutura quanto nos elementos de vedação é necessário encontrar o valor de sua pressão dinâmica, que nada mais é que uma carga distribuída devido a força do vento. A pressão dinâmica é dada pela seguinte equação:

$$q = V_k^2/16, \text{ com } q \text{ em kgf/m}^2 \quad (\text{Eq. 2.1})$$

ou

$$q = 0,613V_k^2, \text{ com } q \text{ em N/m}^2 \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Sabendo que V_k nada mais é que a velocidade característica do vento em m/s. Seu valor é dado pela equação abaixo:

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_o \quad (\text{Eq. 2.3})$$

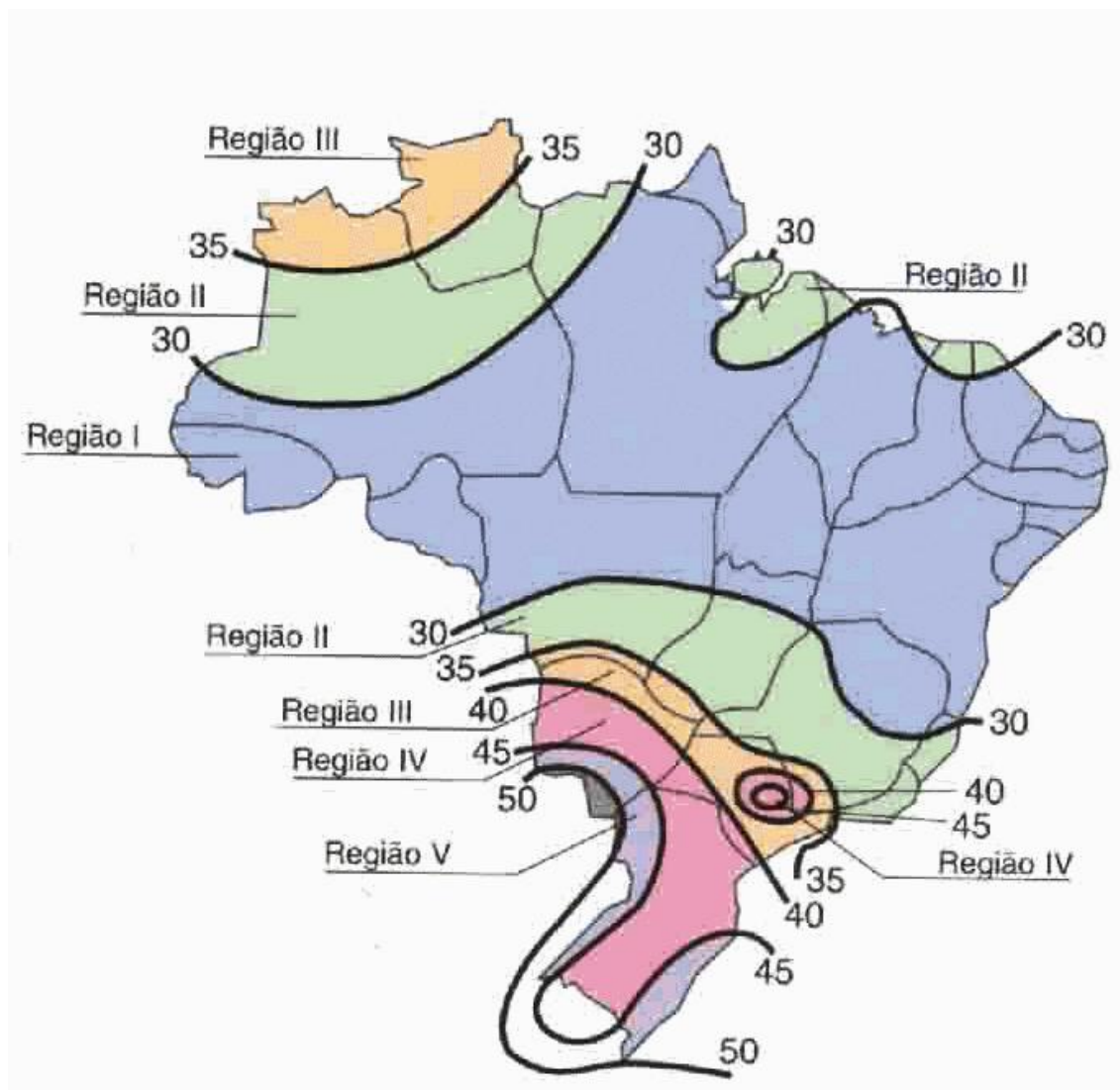


Figura 2.5 – Mapa de Isoplethas da Velocidade Básica do Vento (V_0 em m/s).

Os fatores S_1 , S_2 , e S_3 são respectivamente os fatores topográfico, de rugosidade e estatísticos. Abaixo está a definição dos mesmos, segundo a NBR 61223. Assim como o método utilizado para sua obtenção.

2.5.3.1 Fator Topográfico (S_1): Fator que leva em consideração as grandes variações na superfície do terreno, ou seja, acelerações encontradas perto de colinas, proteções conferidas por vales profundos e os efeitos de afunilamento em vales. O fator topográfico S_1 pode ser encontrado das seguintes formas:

Topografia		
a)	Terreno plano ou fracamente acidentado.	1,1
b)	Taludes e morros: taludes e morros alongados, nos quais, pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na figura 2.4.	1
c)	Vales profundos protegidos de vento em qualquer direção.	0,9

Tabela Tabela 2.3 – Fator topográfico;

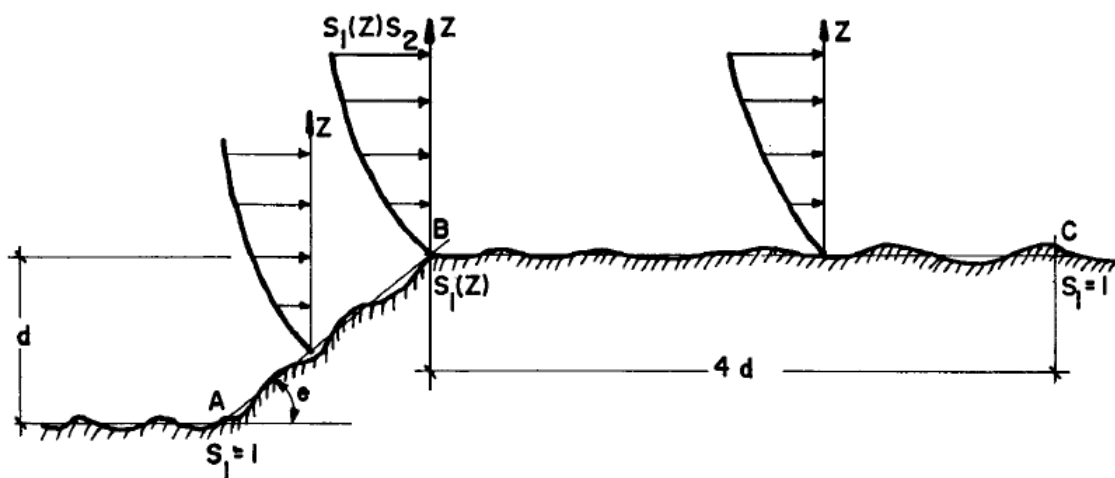


Figura 2.6.a. – Fator Topográfico $S_1(Z)$, Talude.

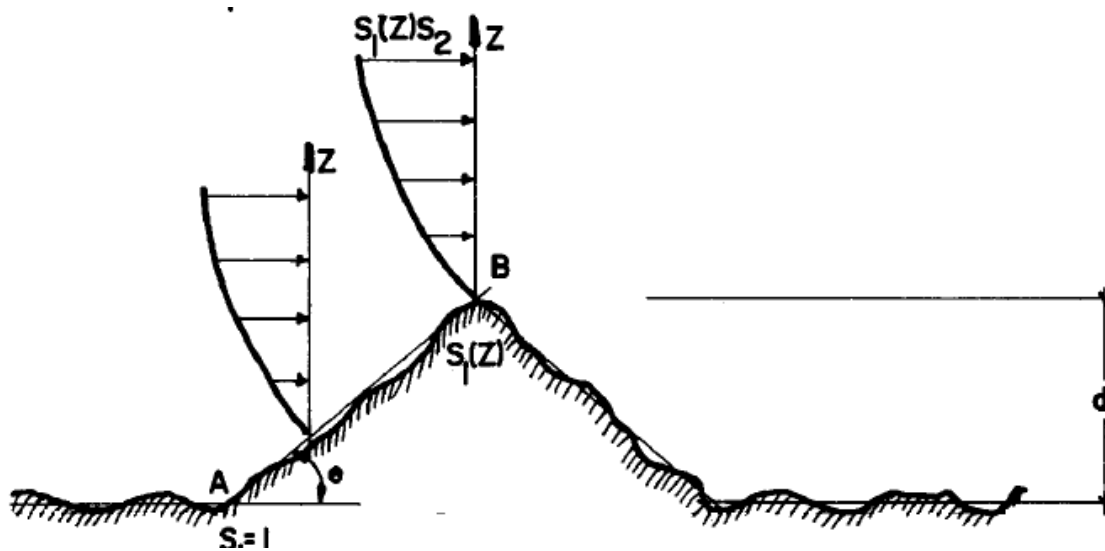


Figura 2.6.b. – Fator Topográfico $S_1(Z)$, Morro.

2.5.3.2 Fator de Rugosidade (S_2): Fator que depende das condições de vizinhança das construções (rugosidade), da altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou do elemento em consideração.

Categoria I – Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medidas na direção e no sentido do vento incidente.

Exemplo: Mar calmo, lagos e rios; pântanos sem vegetação.

Categoria II – Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, como árvores e edificações baixas.

Exemplo: zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação pradarias e charnecas, fazendas sem sebes ou muros.

Categoria III – Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, ed. Baixas (+ou- 3m) e esparsas.

Exemplo: Granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos; fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

Categoria IV – Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados ($h = \pm 10m$).

Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

Categoria V – Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos ($>25m$) e pouco espaçados.

Exemplo: Florestas com árvores altas e copas isoladas; centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos.

Como a velocidade varia continuamente e valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20m na direção do vento médio. Ou seja, quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, maior a distância abrangida pela rajada.

A NBR 6123 classifica edificações, partes de edificações e seus elementos, com intervalos de tempo para o cálculo da velocidade média de, respectivamente, três, cinco e dez segundos. Essas classes são:

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

A tabela a seguir demonstra o valor do fator altura nas edificações. Essa tabela leva em consideração o valor do fator altura até cerca de 500m, que define o contorno superior da camada atmosférica. Porém por questões práticas só será demonstrado os valores de fator de altura iguais ou inferiores a 30m.

Z(m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,1	1,09	1,06	1	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,8	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,9	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,8	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,1	1,08	1,06	1,05	1,03	1	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82

Tabela 2.4 – Fator rugosidade do terreno, dimensões da edificações e altura acima do terreno.

2.5.3.3 Fator de Estatístico (S_3): O fator estatístico S_{3a} é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a definição de 5.1, a velocidade básica que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade V_0 é seja igualada excedida neste período é de 63%.

GRUPO	DESCRIÇÃO	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou Possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.).	1,1
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Tabela 2.5 – Fator estatístico S_3 .

Por fim para determinarmos o esforço causado pelo vento na edificação devemos multiplicar a pressão dinâmica já calculada pelos fatores de pressão externos e internos. O primeiro diz respeito forma da edificação, já o segundo diz respeito a permeabilidade da mesma.

A seguir a figura 2.7 mostra a localização dos diversos coeficientes de pressão presentes nas estruturas.

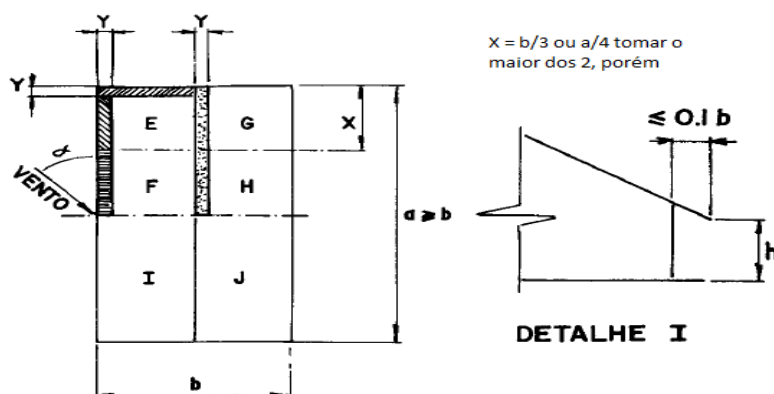


Figura 2.7 – Localização do esforço do vento em um telhado de duas águas simétricas.

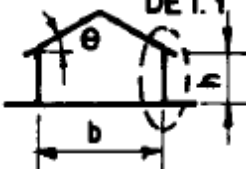
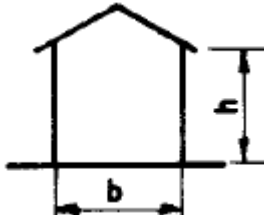
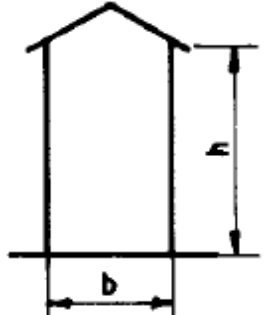
Altura Relativa	Graus	C _e				C _{pe} Médio			
h/b ≤ 1/2		□ = 90°		□ = 0°					
		EF	GH	EG	FH				
	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2	-2	-2	-
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15	-1	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1		-1,2	
	30	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8		-1,1	
	45	0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-1,1			
	60	0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-1,1			
	3/2 < h/b ≤ 6	0	-0,8	-0,6	-1	-0,6	-2	-2	-2
	5	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2	-2	-1,5	-1
	10	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2	-2	-1,5	-1,2
	15	-1	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1
	20	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1
	30	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1		-1	
	45	0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60	0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
1/2 < h/b ≤ 3/2	0	-0,7	-0,6	-0,9	-0,7	-2	-2	-2	-
	5	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1
	10	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1,2
	15	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30	-1	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	45	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1			
	50	2	-0,5	-0,8	-0,7				
	60	0,5	-0,5	-0,8	-0,7				

Tabela 2.6. – Coeficiente de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas simétricas.

Para o cálculo do vento do galpão em questão foi usada uma planilha interativa que leva em conta todos esses fatores já citados. Os dados utilizados foram:

- Categoria III, Classe C;
- $V_0 = 30 \text{ m/s}$;
- $S_1 = 1,00$;
- $S_2 = 0,892$;
- $S_3 = 0,95$;
- Por motivos de simplificação, desprezamos a existência de abertura dominante em qualquer face do galpão e serão adotados os coeficientes previstos no item 6.2.5.a da NBR 6123. Assim consideramos os coeficientes de pressão interna como sendo $C_i = +0,2$ ou $C_i = -0,3$. Nesse caso o valor de $C_i = +0,2$ é mais nocivo, logo esse será o valor de C_i .
- $V_k = 25,4 \text{ m/s}$;
- $q = 0,395 \text{ kN/m}^2$ (aproximadamente);

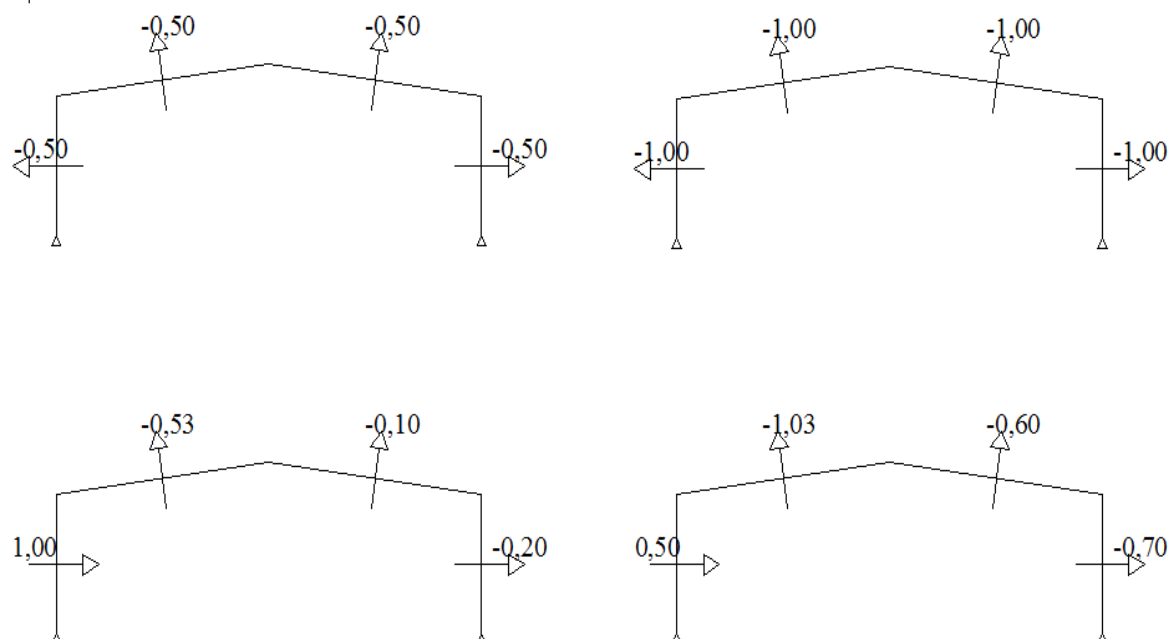


Figura 2.8 – Coeficientes de majoração

Como o maior coeficiente é de 1,03 esse será o valor utilizado para o cálculo das estruturas, já que é o valor máximo que a pressão dinâmica pode

assumir é quando multiplicada por esse valor. Assim o valor de cálculo da pressão dinâmica será:

$$q = 0,395 \times 1,03 \sim 0,407 \text{ kN/m}^2.$$

2.6 – COMBINAÇÕES DE PROJETO

Segundo PFEIL (2009), as ações devem ser combinadas de forma a expressar as situações mais desfavoráveis para a estrutura durante sua vida útil prevista. Isso também se dá ao fato do grau de incerteza de cada carga. Sendo assim os carregamentos deve ser majorados por questão de segurança, para que assim obtenhamos um projeto mais seguro e com um melhor desempenho.

2.6.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

É o tipo de combinação que inclui todas as ações decorrentes do uso previsto na estrutura. Devem ser feitas quantas combinações forem necessárias em relação a todos os estados limites últimos aplicáveis. Podemos encontrar esse carregamento através de:

$$F_d = \sum(\gamma_{gi} F_{G1,k}) + \gamma_{qi} F_{Q1,k} + \sum(\gamma_{qj} \psi_{oj} F_{Qj,k}) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

onde:

$F_{G1,k}$ – Valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ – Valor característico da ação variável principal para a combinação;

F_{Qj} – Valor característico das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

γ_g – Coeficiente de Segurança para carregamentos permanentes; □

γ_q – Coeficiente de segurança para carregamentos variáveis;

ψ_{oj} – Fator de combinação normal (última);

Ações		Normais	Especiais ou de Construção	Excepcionais
Permanentes	Peso Próprio de estruturas metálicas.	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)	1,10 (1,00)
	Peso Próprio de estruturas pré-moldadas.	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso Próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados.	1,25 (1,00)	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso Próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> .	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)
	Peso Próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos.	1,50 (1,00)	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)
	Deformações impostas por recalques de apoio, imperfeições geométricas, retração e fluência do concreto.	1,20 (1,00)	1,20 (1,00)	0 (0)
Variáveis	Efeito de Temperatura	1,20	1,00	1,00
	Ação do Vento	1,40	1,20	1,00
	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação.	1,50	1,30	1,00

Tabela 2.7. – Coeficientes de Segurança Parciais aplicados às ações.

Ações		Coeficiente de Redução		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas(1).	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, de elevadas concentrações de pessoas(2).	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas.	0,8	0,7	0,6
Ventos	Pressão dinâmica do vento em estruturas em geral.	0,6	0,3	0
Temperatura	Variação uniformes de temperatura em relação a média anual local.	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos.	Passarelas de Pedestres.	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes.	1	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Tabela 2.8. – Fatores de Combinação ψ_0 e de Redução ψ_1 e ψ_2 para as Ações Variáveis;

Com o auxílio da tabela acima, encontramos os seguintes valores de combinação:

- $1,25(PP + CP) + 1,5Scn + 1,05Scu$;
- $1,25(PP + CP) + 1,2Scn + 1,5Scu$;
- $PP + CP + 1,4V$;

Por questão de segurança nos não colocamos cargas variáveis atuando ao mesmo tempo, quando elas estão em sentidos opostos. Também utilizamos

o valor reduzido indicado na tabela (valor entre parênteses) para o peso próprio e a sobre carga.

2.6.2 COMBINAÇÕES RARAS DE SERVIÇO

Esse tipo de combinação são aquelas que atuam poucas horas na vida da estrutura, porém causam danos permanentes (estados-limites irreversíveis) ou outros componentes da construção. Esses tipos de danos podem ser fissuras, danos ao fechamento, deformações excessivas dentre outros.

As combinações raras de serviço podem ser encontradas através da equação

$$F_d = \Sigma F_{G1,k} + \Sigma(\psi_{1j} F_{Qj,k}) \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Com o auxílio das tabelas 2.7 e 2.8, encontramos os seguintes valores de combinação:

- a) PP + CP + Scn + 0,6Scu;
- b) PP + CP + 0,7Scn + Scu ;
- c) PP + CP + V;

2.7 – LIGAÇÕES

Em se tratando de estruturas metálicas, as peças possuem limites em suas dimensões máximas (cerca de 12m), logo quando precisamos vencer vãos maiores que esse valor necessitamos ligar uma peça a outra. Esse tipo de ligação pode ser dado através de soldagem das peças ou de uma ligação parafusada entre as mesmas.

Nesse trabalho utilizamos somente ligações parafusadas. Suas particularidades e consideração feitas estarão presentes no Capítulo 3, onde estarão presentes todos os cálculos.

2.7.1 – LIGAÇÕES PARAFUSADAS

As ligações parafusadas são outros tipos de ligações bastante utilizadas em estruturas metálicas. Elas vieram a substituir as ligações rebitadas, que eram muito utilizadas até 1969 no Brasil. Que nada mais eram que conectores instalados a quente, possuindo duas cabeças. Sua grande desvantagem era que o esforço de aperto era muito variável, não sendo assim, considerado no cálculo. Esse fator foi o que levou a substituição da ligação feita com rebites para a feita com parafusos.

Os principais tipos de parafuso empregados nas ligações são: Comuns tipo ASTM 307; De alta resistência tipo atrito e contato nas especificações ASTM 325 e A490; e os torneados;

a) Parafusos comuns ASTM 307: Os parafusos comuns são geralmente feitos de com aços carbono de baixo teor de carbono, segundo especificação ASTM 307, sendo o tipo de mais baixo custo. Possuem uma extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada e na outra uma rosca com porca. Podem também ser usados como temporários durante a fase de montagem, nos casos em que os parafusos em alta resistência e soldas forem usados como permanentes. No Brasil utiliza-se com mais frequência a rosca do tipo americano, embora o tipo padronizado seja rosca métrica.

b) Parafuso de alta resistência: Foram os parafusos que substituíram os rebites, tendo uma resistência superior, tanto a tração quanto ao cisalhamento. Além disso, só são necessários dois operários para instalá-los, já na instalação de rebites são necessários quatro operários. São utilizados nas ligações principais das estruturas sujeitas a cargas dinâmicas, ou quando o carregamento na peça é muito grande.

A distribuição de esforços entre conectores de uma ligação é bastante variável por causa da sua sensibilidade a fatores como:

- Imperfeições geométricas oriundas da fabricação por corte, furação e solda;
- Existência de tensões residuais;

As ligações devem ser projetadas dependendo do tipo de esforço ao qual ela esteja sendo solicitada. Essas solicitações podem ser: Corte Axial; Corte Excêntrico; Tração e; Corte e Tração. Nesse capítulo não entraremos em detalhes sobre todos esses tipo de efeitos nas ligações. No capítulos 3, faremos um estudo sobre esses efeitos(quando existentes) nas ligações utilizadas para a formulação desse projeto. Abaixo está uma demonstração dos esforços numa ligação.

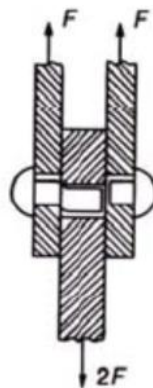


Figura 2.14 – Corte Axial;

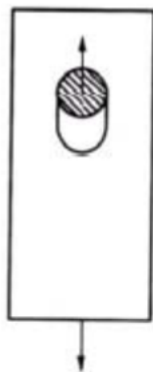


Figura 2.15 – Corte Excêntrico;

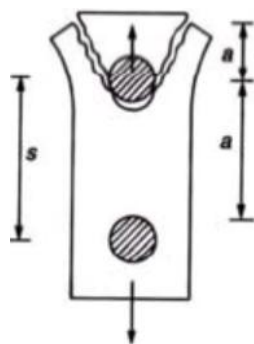


Figura 2.16 – Tração;

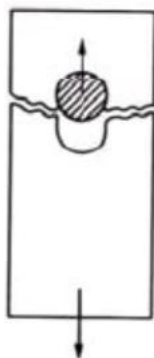


Figura 2.17 – Corte e Tração;

CAPÍTULO III – CÁLCULO

3.1 – MODULAÇÃO

Como já foi dito, as dimensões do galpão são de 24m x 60m. Sendo assim utilizamos a modulação de 12m x 6m, com a Joist como estrutura principal de apoio vencendo 12m e a terça como estrutura secundária de apoio.

As principais considerações, assim como seu memorial de cálculo estão descritos mais a frente. Consideremos o peso de parafusos e chaparias de ligação como sendo cerca de 5% do valor do peso da estrutura analisada.

3.2 – SOLUÇÃO

3.2.1 – ESTRUTURA SECUNDÁRIA DE APOIO.

Como estrutura secundária de apoio utilizamos um perfil U_{e#} 150x50x17 # 3.00, espaçados a cada 1200mm, coincidindo com os nós da treliça Joist. O modelo considerado foi de que as terças estão biapoiadas, dessa forma não precisando de emendas. O cálculo dessa estrutura está descrito abaixo:

Terça:

$$\begin{aligned} PP = & & CP = 0,049 \text{ kN/m}^2; & & Scn = 0,25 \text{ kN/m}^2 \\ Scu = 0,15 \text{ kN/m}^2 & & q = 0,395 * 1,03 \sim 0,407 \text{ kN/m}^2 & & L_{cont} = 1,2 \text{ m}; \\ \text{Aço utilizado A572 Gr50 (ou similar); } f_y = 345 \text{ MPa;} \\ \text{Desl. Máximo} = L/180 = 33,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Combinações		Desl. Máximo (mm)	Desl. Cálcl. (mm)
1	1,25(PP + CP) + 1,5Scn + 1,05Scu	X	X
2	1,25(PP + CP) + 1,2Scn + 1,5Scu	X	X
3	PP + CP + 1,4V	X	X
4	PP + CP + Scn + 0,6Scu	L/180	17,8
5	PP + CP + 0,7Scn + Scu	L/180	17,2
6	PP + CP + V	L/180 ou L/120*	10,7

Tabela 3.1 – Combinações para Estrutura Secundária de Apoio

*** Análise somente do vento**

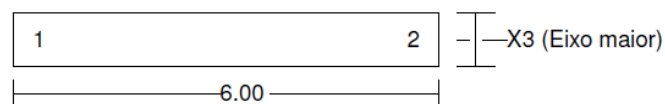


Figura 3.1 – Esquema da Terça

Momentos: kN.m;

Forças: kN;

Tensões: MPa;

Propriedades: cm;

L= 3,00

Torção-Lat +-

Compressão Y

Tabela 3.2 – Travamento da Seção

$I_x = 259.38\text{cm}^4$; $I_y = 24.91\text{cm}^4$; $S_x = 34.58\text{cm}^3$; $S_y = 7.05\text{cm}^3$; Área = 7.93cm^2 ;

$h = 150.00$; $b = 50.00\text{mm}$; $t = 3.00$; $r = 3.00\text{mm}$; $J = 0.24$; $C_w = 1208.38\text{cm}^6$;

$e_{0x} = -36.91\text{mm}$; $e_{0y} = 0.00\text{mm}$; $j_x = 80.33\text{mm}$; $j_y = 0.00\text{mm}$.

COMBINAÇÃO DE CÁLCULO 1

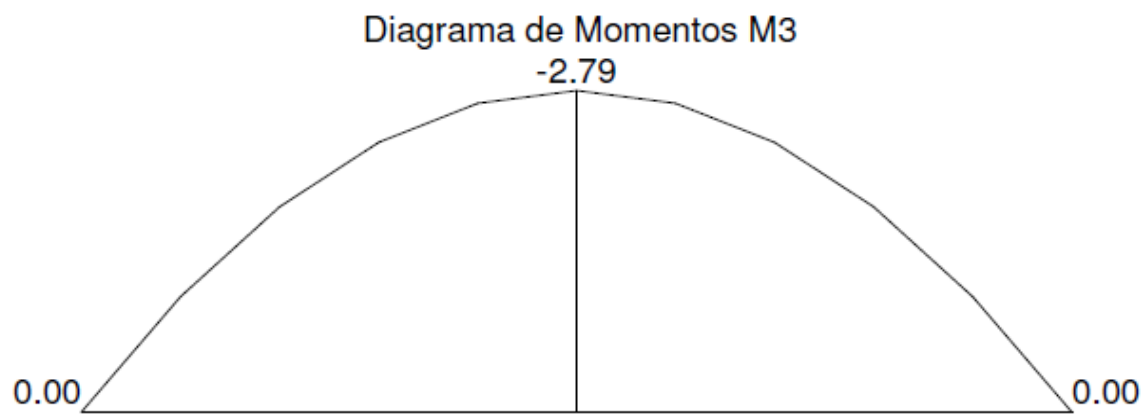


Figura 3.2 – Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 1)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: -2,79

Máx. Força Cortante = 1,86

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi_v V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi_v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 1,86$ $V_n = 87,51$	0,02
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u/\phi_b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi_b = 0,95$	$M_u = 2,79$ $M_n = 14,24$	0,21
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u/\phi_b.M_n)^2 + (V_u/\phi_v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 2,79$ $V_u = 1,86$	0,21
Flambagem Lateral com Torção	$M_u/\phi_b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 0,00 a 3,00 na mesa – Z; *Momentos nas extremidades: 0,00 e -2,79;	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha t = 118,7$ $\alpha e_y = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi_b = 0,90$	$M_u = 2,79$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,46
Tensões Combinadas	$(M_{ux}/\phi_b.M_{nx}) + (M_{uy}/\phi_b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 2,79$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,46

Tabela 3.3 – Resultados da Combinação 1.

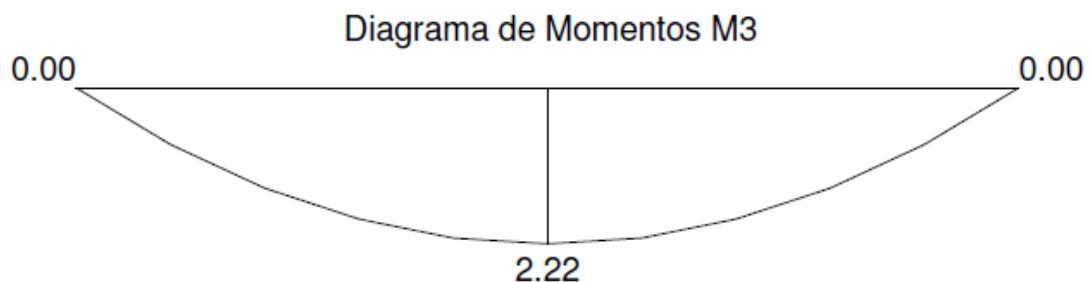


Figura 3.3 –Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 2)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: 2,22

Máx. Força Cortante = 1,48

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi_v V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi_v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 1,48$ $V_n = 87,51$	0,02
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u/\phi_b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi_b = 0,95$	$M_u = 2,22$ $M_n = 14,24$	0,16
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u/\phi_b.M_n)^2 + (V_u/\phi_v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 2,22$ $V_u = 1,48$	0,16
Flambagem Lateral com Torção	$M_u/\phi_b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 3,00 a 6,00 na mesa +Z; *Momentos nas extremidades: 2,22 e 0,00;	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha_t = 118,7$ $\alpha_{ey} = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi_b = 0,90$	$M_u = 2,22$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,36
Tensões Combinadas	$(M_{ux}/\phi_b.M_{nx}) + (M_{uy}/\phi_b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 2,22$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,36

Tabela 3.4 – Resultados da Combinação 2.

COMBINAÇÃO DE CÁLCULO 3

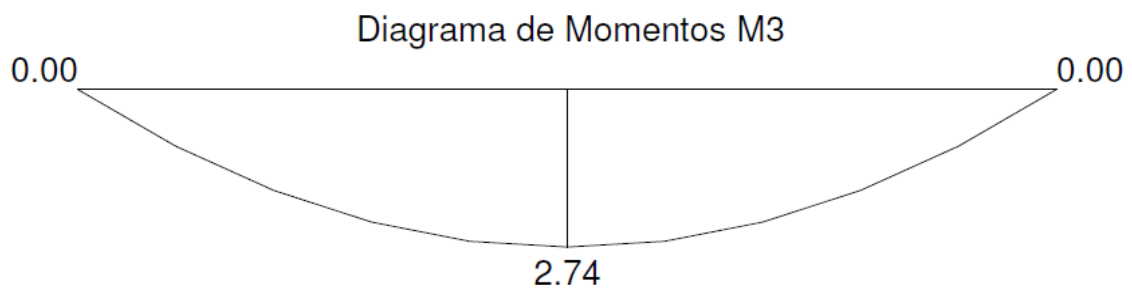


Figura 3.4 –Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 3)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: 2,74.

Máx. Força Cortante = 1,82

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 1,82$ $V_n = 87,51$	0,02
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u / \phi b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi b = 0,95$	$M_u = 2,74$ $M_n = 14,24$	0,20
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u / \phi b.M_n)^2 + (V_u / \phi v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 2,74$ $V_u = 1,82$	0,20
Flambagem Lateral com Torção	$M_u / \phi b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 3,00 a 6,00 na mesa +Z; *Momentos nas extremidades: 2,74 e 0,00;	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha t = 118,7$ $\alpha e_y = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi b = 0,90$	$M_u = 2,74$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,45
Tensões Combinadas	$(M_{ux} / \phi b.M_{nx}) + (M_{uy} / \phi b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 2,74$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,45

Tabela 3.5 – Resultados da Combinação 3.

COMBINAÇÃO DE CÁLCULO 4

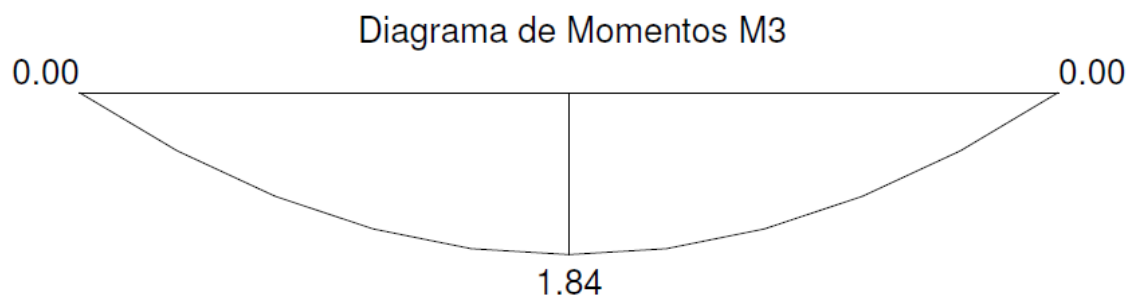


Figura 3.5 –Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 4)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: 1,84.

Máx. Força Cortante = 1,23.

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi_v V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi_v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 1,23$ $V_n = 87,51$	0,01
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u / \phi_b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi_b = 0,95$	$M_u = 1,84$ $M_n = 14,24$	0,14
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u / \phi_b.M_n)^2 + (V_u / \phi_v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 1,84$ $V_u = 1,23$	0,14
Flambagem Lateral com Torção	$M_u / \phi_b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 3,00 a 6,00 na mesa +Z; *Momentos nas extremidades: 1,84 e 0,00;	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha_t = 118,7$ $\alpha_{ey} = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi_b = 0,90$	$M_u = 1,84$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,30
Tensões Combinadas	$(M_{ux} / \phi_b.M_{nx}) + (M_{uy} / \phi_b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 1,84$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,30

Tabela 3.6 – Resultados da Combinação 4.

COMBINAÇÃO DE CÁLCULO 5

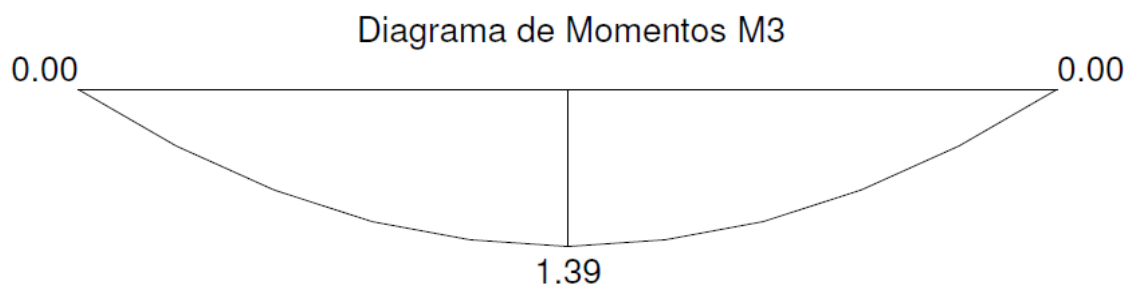


Figura 3.6 –Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 5)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: 1,39.

Máx. Força Cortante = 0,93

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 0,93$ $V_n = 87,51$	0,01
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u / \phi b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi b = 0,95$	$M_u = 1,39$ $M_n = 14,24$	0,10
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u / \phi b.M_n)^2 + (V_u / \phi v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 1,39$ $V_u = 0,93$	0,10
Flambagem Lateral com Torção	$M_u / \phi b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 3,00 a 6,00 na mesa +Z; *Momentos nas extremidades: 1,39 e 0,00;	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha t = 118,7$ $\alpha e_y = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi b = 0,90$	$M_u = 1,39$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,23
Tensões Combinadas	$(M_{ux} / \phi b.M_{nx}) + (M_{uy} / \phi b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 1,39$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,23

Tabela 3.7 – Resultados da Combinação 5.

COMBINAÇÃO DE CÁLCULO 6

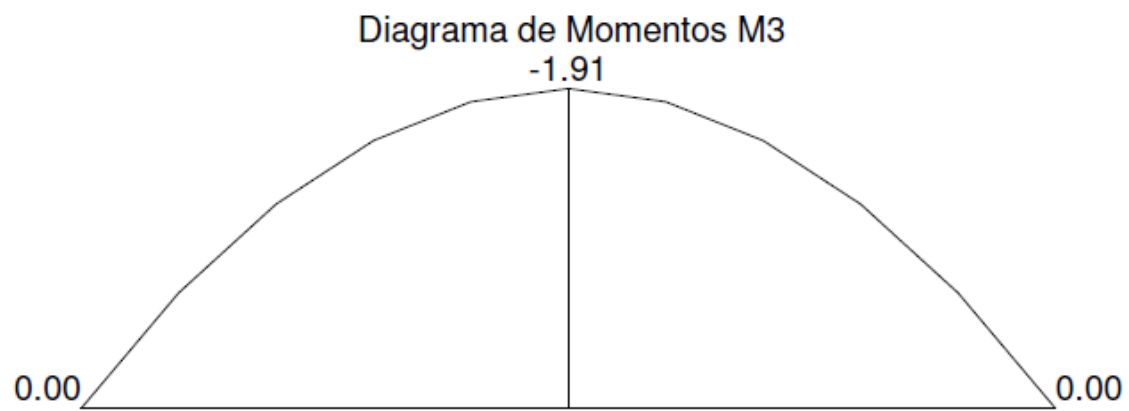


Figura 3.7 –Momento Fletor nos Travamentos Intermediários (Combinação 6)

Máx. Força AXIAL = 0.00 (compr.)

Momentos nos trav. intermediários: 1,39.

Máx. Força Cortante = 1,27

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante(C3.2.1-2)V2	$V_u / (\phi_v V_n) < 1,00$ $V_n = 0,60.f_y.h.t$	$\phi_v = 0,95$ $h.t = 4,14$	$V_u = 1,27$ $V_n = 87,51$	0,02
Momento(C3.1.1-1)M3	$M_u / \phi_b.M_n < 1,00$	$S_e = 34,58$ $f_y = 411,77$ $\phi_b = 0,95$	$M_u = 1,91$ $M_n = 14,24$	0,14
Momentoe(C3.3.2-1)CortanteM3	$((M_u / \phi_b.M_n)^2 + (V_u / \phi_v.V_n)^2)^{1/2} < 1,00$		$M_u = 1,91$ $V_u = 1,27$	0,14
Flambagem Lateral com Torção	$M_u / \phi_b.M_n < 1,00$ *Segmento crítico: de 3,00 a 6,00 na mesa – Z; *Momentos nas extremidades: - 1,91 e 0,00	$S_c = 34,58$ $S_f = 34,58$ $L_e = 3,00$ $C_b = 1,31$ $\alpha t = 118,7$ $\alpha e_y = 71,8$ $r_o = 7,03$ $\phi_b = 0,90$	$M_u = 1,91$ $M_n = 6,75$ $M_c = 6,75$ $M_e = 6,75$ $M_y = 14,24$	0,31
Tensões Combinadas	$(M_{ux} / \phi_b.M_{nx}) + (M_{uy} / \phi_b.M_{ny}) < 1,00$		$M_{ux} = 1,91$ $M_{nx} = 6,75$ $M_{uy} = 0,00$ $M_{ny} = 2,41$	0,31

Tabela 3.8 – Resultados da Combinação 6.

Peso = 0,373 kN.

Peso Total = 6042,6 kg = 60,42 kN.

Taxa = 4,2 kg/m² = 0,0084 kN/m².

3.2.2 – ESTRUTURA PRINCIPAL DE APOIO.

Como estrutura principal de apoio utilizamos a treliça tipo Steel Joist padrão Zipco. Essa treliça foi projetada pelo professor Ézio Araújo, Professor-Doutor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), afim de fazer uma estrutura leve e de alta capacidade de carga.

Esse tipo de viga treliçada é toda parafusada, sendo montada no chão e depois içada até sua locação final. Essa característica da estrutura dá uma grande velocidade de execução de telhados feitos com essa Joist.

Treliça Tipo Joist:

PP = CP = 0,093 kN/m²; Scn = 0,25kN/m²
Scu = 0,15kN/m² q = 0,395 * 1,03 ~ 0,407 kN/m² L_{cont} = 12m;
Aço utilizado ASTM 658 Gr40(ou similar); f_y = 275 MPa e f_u = 380 MPa;
E = 2,05.10⁵ GPa.
Ag = 619,06 mm² t = 1.5mm
I_{xx} = 2501508.8896 mm⁴ I_{yy} = 297884.6228 mm⁴
Desl. Máximo = L /250 = 48mm

Combinações		Desl. Máximo (mm)	Desl. Cál. (mm)
1	PP + CP + 1,4V	X	X
2	1,25(PP + CP) + 1,2Scn + 1,5Scu	X	X
3	1,25(PP + CP) + 1,5Scn + 1,05Scu	X	X
4	PP + CP + Scn + 0,6Scu	L/180	12
5	PP + CP + 0,7Scn + Scu	L/180	11,6
6	PP + CP + V	L/180 ou L/120	8,06

Tabela 3.9 – Combinações para Estrutura Principal de Apoio.

Esforços obtidos:

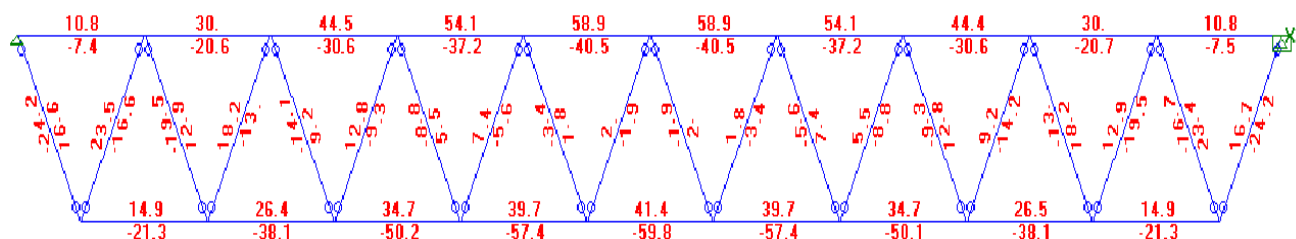


Figura 3.8 – Esforços Axiais na Joist.

Esses esforços foram obtidos por meio de programa de cálculo estrutural (STRAP). Esses esforços correspondem a envoltória das combinações descritas anteriormente.

O professor Ézio de Araújo desenvolveu rotinas de cálculo no mathcad que nos dão tanto o esforço máximo nos banzos quanto nas diagonais. Nesse capítulo está descrito os valores máximos obtidos por meio de análise dessas rotinas.

Esses cálculos podem ser encontrados de uma forma mais detalhada nos Anexos.

O cálculo se deu com base na AISC – 2006. Os valores de carga última de compressão foram:

Nº de Painéis	$L_{ex}(m)$	Tração(kN)	Compressão (kN)
1	1,2	154,8	-108,1
2	2,4	154,8	-108,1
3	3,6	154,8	-108,1
4	4,8	154,8	-91,7
5	6	154,8	-73,4
6	7,2	154,8	-55,9
7	8,4	154,8	-41,7
8	9,6	154,8	-32
9	10,8	154,8	-25,3
10	12	154,8	-20,5

Tabela 3.10 – Carga Última de Compressão

Carga Última de Tração: 154,8 kN

Através da envoltória de combinamentos podemos ver que a carga máxima de ruptura na estrutura é de 50,9 kN a compressão e de -59,8 kN a tração.

Como a carga última de compressão com comprimento destravado é de -73,4 kN(6m destravados) e a solicitação é somente de -50,9 kN, utilizamos somente um contraventamento no meio do vão.

Peso = 145 kg/un = 1,45 kN/un

Peso Total = 3190 kg = 31,9 kN;

Taxa = 2,21 kg/m² = 0,022 kN/m²

3.2.3. – Chumbadores.

Com base no STRAP foi constatado que o valor máximo da reação no apoio foi de 23,5 kN. Como não queremos permite que o momento seja transmitido para o pilar, fizemos uma ligação rotulada. Assim foram utilizados somente 2 chumbadores por peça. Os cálculos dos mesmo estão abaixo, foi utilizado o método AISC-ASD.

Consideramos que o f_{ck} dos pilares desse projeto sejam de $f_{ck} = 25\text{MPa}$.

$$A_{nec} = T/0,56F_u \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$A_{nec} = 23,5 / 0,38 \times 40 = 1,54\text{cm}^2.$$

$$A_{2\phi 19\text{mm}} = 5,68\text{cm}^2 > 1,54\text{cm}^2 \quad \text{OK!}$$

ϕ (mm)	Área	H	L_1
19	2,84	22	330
22	3,8	30	330
25	5,06	40	380
32	7,92	62	380

Tabela 3.11 – Resis. dos Chumbadores em kN – Met. das Tensões Admissíveis – AISC – ASD.

Assim podemos constatar que o comprimento de ancoragem para esse chumbador é de 33cm.

O cálculo da chapa é feito da seguinte forma:

$$t = 2,13.l.(f_c/f_y) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

com,

$$f_c = 0,35f_{ck} \times (A_2/A_1) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

com $A_2 = A_1$;

$$t = 0,43 \times 30 \times (25 \times 10^3)^{1/2} = 2,23 \text{ cm.}$$

Utilizamos a placa de 25mm de espessura.

$$\text{Placa} = 7850 \times 0,3 \times 0,3 \times 0,025 = 17,66 \text{ kg;}$$

$$\text{Chumbador} = 3,428 \times 4 = 13,72 \text{ kg;}$$

$$\text{Peso do Conjunto} = 31,38 \text{ kg;}$$

$$\text{Peso Total} = 1380,72 \text{ kg;}$$

3.2.3 – Contraventamento.

Através de análise no STRAP obtivemos os seguintes valores:

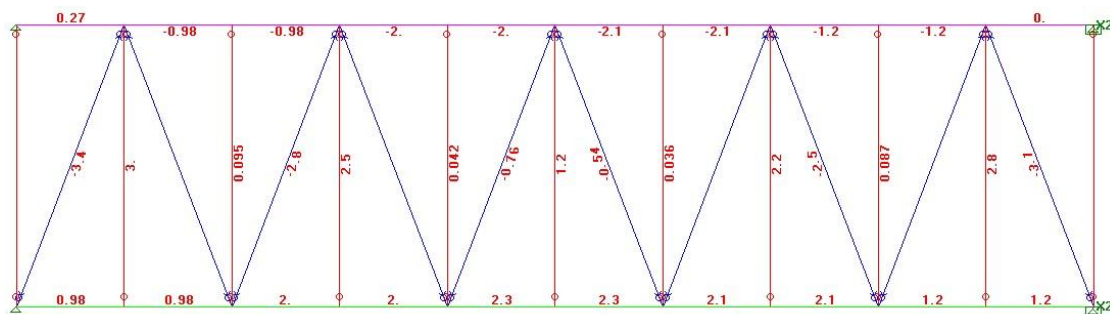


Figura 3.9 – Esforços Axiais de Tração no Contraventamento.

Tirante

Utilizando:

$$F_{\text{máx}} = A_g \times f_y / \gamma_{a1} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

e

$$F_{\text{máx}} = 0,75 \times A_g \times f_u / \gamma_{a2} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Sabendo que o esforço máximo suportado pela barra é o menor dos dois valores acima. Com $\gamma_{a1} = 1,1$ e $\gamma_{a2} = 1,35$. Utilizando uma barra circular com $\phi = 16\text{mm}$, temos:

$$F_{\text{máx}} = A_g \times f_y / \gamma_{a1} = 16,2 \text{ kN};$$

$$F_{\text{máx}} = 0,75 \times A_g \times f_u / \gamma_{a2} = 15,75 \text{ kN (resistência máxima da barra)};$$

$$F_{\text{sol.}} = 3,2 \text{ kN}; \quad 3,2 \text{ kN} < 15,75 \text{ kN OK!}$$

Perfil de compressão.

$$L_x = L_y = 600 \text{ mm};$$

$$L_x = L_y = 600 \text{ mm e } I_c = 200;$$

$$r_x = r_{\text{mín}} = 600/200 = 3 \text{ cm} \quad r_y = 3,28 > 3;$$

$$I_y = 600/3,28 \sim 183 \quad F_a = 2,17 \text{ kN/m}^2;$$

$$NR = 21,8.2,72.1,25 = 74 \text{ Kn} > 3 \text{ kN OK!}$$

CAPÍTULO IV– LIMPEZA E PROTEÇÃO

4.1 Corrosão

Corrosão é a deterioração dos materiais, especialmente metálicos, pela ação eletroquímica ou química do meio.

O aço é nos tempos atuais, e foi durante todo o século passado, o principal material de construção industrial. É o material mais utilizado na engenharia, portanto, é de extrema importância o conhecimento dos prejuízos causados com o não tratamento das estruturas e a utilização de revestimentos protetores.

Através do processo corrosivo, o material metálico passa da forma metálica, energeticamente metaestática, à forma combinada (forma iônica), energeticamente mais estável, resultando em desgaste, perda de propriedades, alterações estruturais, etc.

As reações de Corrosão são espontâneas, pois correspondem ao processo inverso ao da metalurgia, onde adiciona-se energia ao processo para obtenção do metal, e na corrosão observa-se a volta do metal à forma combinada, com a conseqüente liberação de energia.

A falta de combate à corrosão e a falta de manutenção das estruturas metálicas presentes no nosso dia-a-dia pode nos trazer grandes problemas e causar enormes prejuízos às empresas.

Deve ser feita uma conscientização da importância do combate à corrosão, pois vem gerando grande prejuízo devido à perda dos materiais de aço e o gasto com material para reposição, acidentes em pontes, postes, estruturas em geral devido à falta de manutenção periódica dos mesmos. As

vezes é feito uma construção muito bem feita, bem detalhada, mas sem um sistema para proteção das estruturas e, muito precocemente, as estruturas vem a entrar em corrosão, acarretando em uma parada não planejada para reposição e etc.

4.2 - Importância do estudo da corrosão:

Viabilizar economicamente as instalações industriais construídas com materiais metálicas, manter a integridade física dos equipamentos e instalações industriais;

Garantir a máxima segurança operacional, evitando-se paradas operacionais não programadas e lucros cessantes, garantir máxima segurança industrial, evitando-se acidentes e problemas de poluição ambiental.

4.2.1 - Natureza dos processos corrosivos

De uma forma geral, os processos corrosivos podem ser classificados em dois grandes grupos, abrangendo quase todos os casos de deterioração por corrosão existentes na natureza.

Estes grupos são:

Corrosão eletroquímica;

Corrosão química.

4.3- Qualificação da agressividade do ambiente.

De acordo com a ISO 12944-5 Os ambientes são classificados em função do seu grau de corrosividade ambiental, seja para estruturas expostas à corrosividade atmosférica, enterradas ou imersas

O ambiente em estudo encontra-se em área costeira de alta salinidade, onde de acordo com a NBR 8800:2008 está numa na categoria de corrosividade muito alta, a C5-M (marítima).

A partir da escolha do ambiente adequado, escolheremos o sistema de proteção anti-corrosivo.

4.4- Proteção

A pintura e a galvanização são os dois métodos mais usados no procedimento de proteção das estruturas de aço.

4.4.1- Pintura

Em estruturas metálicas, é necessário proteger adequadamente a estrutura do aço, para isso é preciso fazer a aplicação da pintura com finalidade de protegê-la contra a corrosão causada pelo meio em que será exposta, de modo a garantir sua vida útil.

Se a estrutura não for adequadamente protegida, pode sofrer danos por corrosão durante o transporte, a estocagem e a moldagem de campo, antes mesmo da sua utilização.

Após a montagem de campo, peças como cabeças de rebites e parafusos, porcas, filetes de solda, áreas junto dos parafusos nas ligações por atrito, etc. devem ser retocadas com a mesma tinta de fundo, antes de receberem a tinta de acabamento, pois, normalmente essas peças ainda não receberam pintura anteriormente.

Se tratando de pintura de base de proteção anticorrosiva, esta poderá ser aplicada logo após a fabricação ainda no interior da fábrica.

A pintura de acabamento, quando aplicável, poderá ocorrer:

- Antes da liberação para embarque das estruturas, no interior da fábrica;
- No canteiro de obras, antes da montagem;
- No canteiro de obras, após a montagem e antes das obras civis;

- No canteiro de obras com a estrutura totalmente montada e após as obras civis como lajes ou alvenarias.

4.4.2 - Preparação de superfície do aço (ISO 12944-5)

Um dos fatores de maior importância para o bom desempenho da pintura é o preparo da superfície.

Antes de se iniciar a decapagem todos os vestígios visíveis de óleo, gordura, sais e outros contaminantes devem ser eliminados, de forma a não ficarem incrustados no aço, nem contaminarem o abrasivo.

Para cada uma das situações o tratamento a executar deverá ser o mais adequado, como por exemplo:

- a) Para o óleo, gordura ou sais hidrossolúveis, pode-se efetuar uma limpeza com jacto de água (e detergente, se necessário), com vapor, com emulsionantes ou com solventes orgânicos. Sempre que se use detergente, no final passar por água limpa.
- b) No caso de salpicos de soldadura, sais não hidrossolúveis, cimento, ou outros contaminantes, utilizar ferramentas mecânicas/manuais (por exemplo, escovas, raspadores, etc.).

4.4.2.1 – Tipos de limpeza

A limpeza em estruturas metálicas é o processo pelo qual as peças passam antes de receber tratamento de superfície. Segundo BELLEI (2010), Os processos de limpeza mais empregados são os seguintes:

4.4.2.1.1 - Utilização de solventes.

É feita com solventes isentos de óleos, aplicados sobre a superfície, com panos. O uso de estopas deverá ser evitado no preparo de superfície para receber pintura.

4.4.2.1.2-Desagregação natural.

Consiste em deixar a estrutura exposta às intempéries por determinado período, ate que haja formação abundante de ferrugem sob a casca de laminação. A retirada da casca torna-se bastante fácil por meios mecânicos. Este processo é recomendado pelo SP-9 do SSPC.

4.4.2.1.3-Limpeza manual.

Empregam-se raspadeiras, escovas manuais ou mecânicas (com fios de aço ou bronze), lixadeiras, pistolas de agulhas etc. Antes desta limpeza serão removidas por martelagem as camadas grossas de ferrugem e por meio de solvente óleos, gorduras etc.

4.4.2.1.4-Limpeza mecânica.

Empregam-se as mesmas ferramentas de limpeza manual, porém a preparação da superfície será feita de um modo mais completa para obtenção de brilho metálico.

4.4.2.1.5-Limpeza com chamas.

Consiste em rápida aplicação de um maçarico em chama sobre a superfície metálica. Por diferença de dilatação, há desagregação da casca de laminação. É muito utilizado na remoção de pinturas antigas. A limpeza final é feita com escova mecânica.

4.4.2.1.6- Limpeza com jato abrasivo (areia ou granalha)

É o método mais empregado e de maior eficiência na preparação de superfícies para pintura. Para a execução destes serviços, os equipamentos mais utilizados são as máquinas de jato que, basicamente, São compostas de um reservatório para o abrasivo granalha de aço, acoplado a uma tubulação de ar comprimido e a um tubo flexível com um bico na extremidade para a projeção do abrasivo na superfície metálica. Existem vários modelos destas máquinas, cujos funcionamentos em pouco diferem, com variação somente na capacidade do reservatório e no número de saídas para projeção do abrasivo.

Cabines de jato também são utilizadas com a mesma função, tendo como vantagens principais o reaproveitamento do material por sistema de sucção e a não contaminação do meio ambiente pelas partículas em suspensão, como ocorre no jateamento tradicional com areia.

Como referência para o grau de limpeza, são utilizadas as normas sueca SIS – 05-5900-1988, americana “Steel Structures Painting Manual vol. 1 e 2 - 1989 (SSPC)” e ABNT.

4.4.2.1.7- Decapagem

Entende-se por decapagem a retirada de qualquer camada de impureza depositada sobre uma superfície metálica. Os processos utilizados para realização da decapagem são diversos, dependendo do grau de limpeza desejada, do tipo de impureza depositada e do fim a que se destinam os materiais decapados.

Para atingir estes objetivos são usados processos mecânicos ou químicos, sendo comum a utilização de ambos os processos na realização da decapagem.

Aos processos mecânicos já nos referimos no item sobre limpeza. A decapagem química é um processo que consiste na remoção das camadas de impureza, obtendo-se a limpeza do material com o emprego de ácidos. Os

ácidos empregados neste processo são: Acido clorídrico (muriático), ácido sulfúrico ou ácido fosfórico.

O processo consiste em submeter o material a uma sucessão de banho em tanques ou cubas, contendo ácido apropriado, obtendo-se normalmente a seguinte seqüência de operações: Desengraxamento, decapagem e neutralização. Entre cada operação, procede-se à devida lavagem do material.

4.5- Posição da tinta no sistema de pintura

Para obter-se uma vida útil máxima da estrutura, a aplicação é tão importante quanto a limpeza da superfície e a seleção correta da tinta.

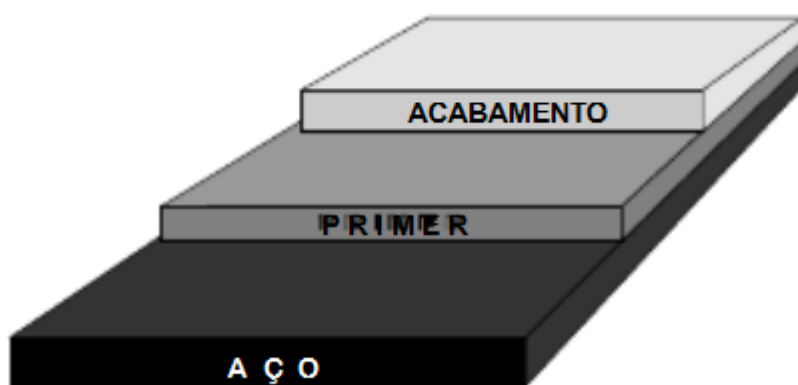


Figura 4.1- Sistema simples, com primer e acabamento para ambientes de pouca agressividade

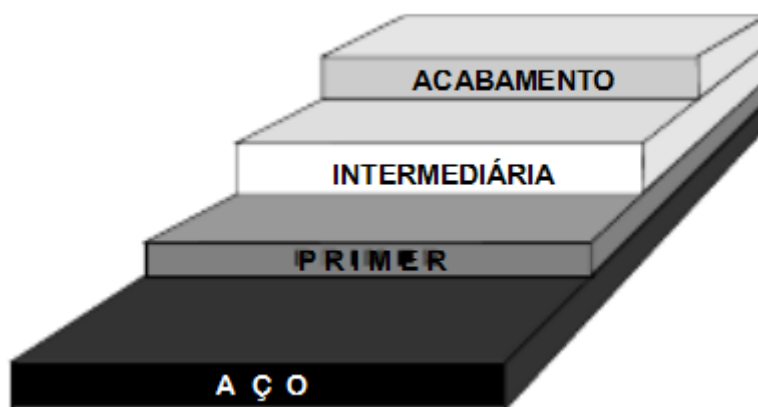


Figura 4.2 - Sistema com primer intermediária e acabamento para ambientes agressivos

4.5.1- Tinta de fundo ou primer

As peças estruturais são primeiramente pintadas com uma tinta de fundo (primer), esta tinta tem contato direto e afinidade com o substrato metálico (o aço). Por este motivo deve conter pigmentos anticorrosivos, e ser compatível com a tinta intermediária e/ou tinta de acabamento.

4.5.2- Tinta intermediária

Tem finalidade de aumentar a espessura do esquema. Não necessita de pigmentos de corrosão, nem de coloridos, sendo, portanto de menor custo. Deve ter a mesma qualidade das demais tintas do esquema.

4.5.3- Tinta de acabamento.

Tinta que dá acabamento ao sistema. Deve resistir ao meio ambiente e ser compatível com as demais tintas do sistema.

A tinta epoximastic que tem características de primer e acabamento, isto é, trata-se de tinta com dupla função. De acordo com o Manual de Construção em Aço (2006) funciona bem como anticorrosiva, por que é uma tinta de alta espessura (120 a 200 μm), alta impermeabilidade por ser epóxi e conter pigmentos lamelares, de alta aderência por causa da resina e de aditivos, alta flexibilidade por causa da resina e do catalisador e que contém pigmentos anticorrosivos modernos sem metais pesados e por conter pigmentos coloridos pode ser usada como acabamento.

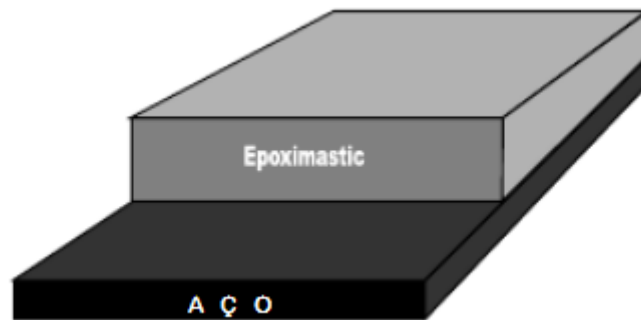


Figura 4.3 - Sistema com tinta epoximastic dupla função e demão única.

No caso da utilização de massa epóxi, a sequência correta de aplicação deve ser Primer, Massa e Acabamento. Essa sequência é comumente invertida com a aplicação da massa diretamente sobre o aço. Como a massa não tem as mesmas propriedades do Primer, como aderência e proteção anticorrosiva, a aplicação da massa em contato direto com o aço se torna incorreta.



Figura 4.4 – Aplicação Errada

O correto é a aplicação em primeiro lugar do primer, se necessário à aplicação da massa sobre o primer e finalmente a aplicação do acabamento.

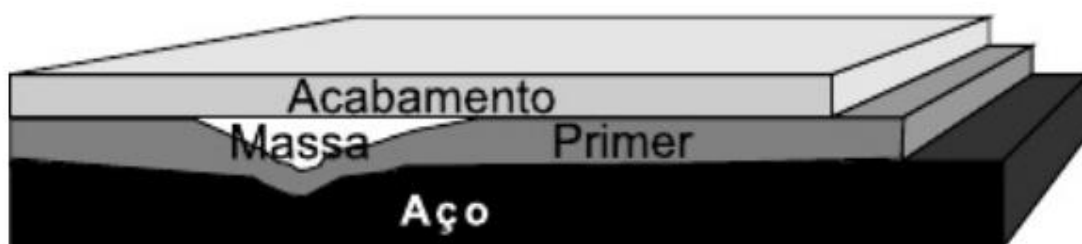


Figura 4.5 – Aplicação correta, sempre o primer em primeiro lugar

4.6 – Galvanização ou Zincagem.

A galvanização consiste em um processo de blindagem em que metais ,como o aço, são revestidos por outros mais nobres como o zinco, geralmente para proteger da corrosão ou para fins estéticos/decorativos, assim, caso ocorra danificação, será sempre mais fácil trocar o material revestidor do que o revestido.

Podemos observar na figura 4.6 o processo de corrosão galvânica, que consiste em duas peças metálicas com composições químicas diferentes, colocadas em contato na presença de um eletrólito, veja que uma das peças sofrerá corrosão e a outra não. Isto ocorre por causa da diferença de potenciais elétricos entre os metais.

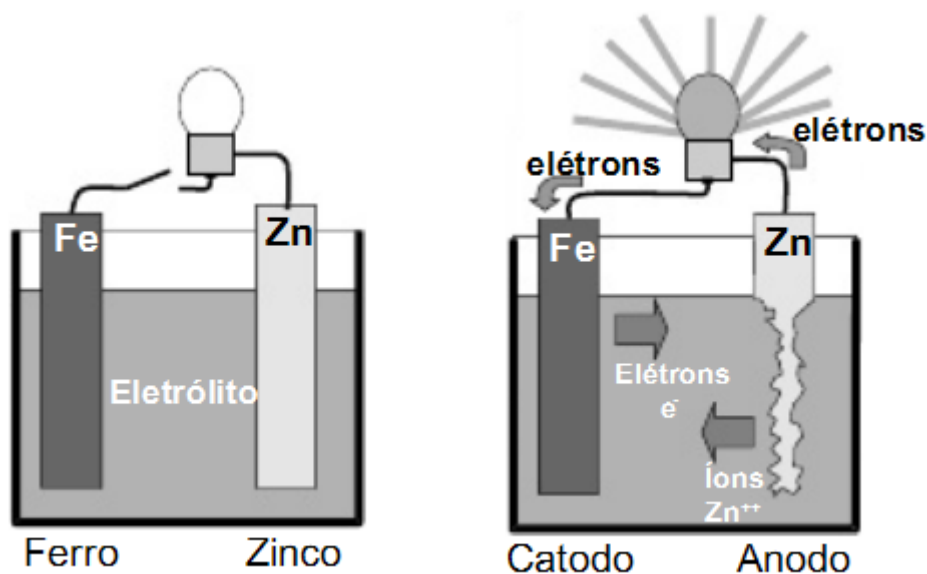


Figura 4.6 – Célula de corrosão eletroquímica

Note que momento em que o circuito foi fechado a pilha galvânica funcionou e o eletrodo de zinco que é mais eletronegativo do que o ferro começou a se desintegrar, ou seja, a sofrer corrosão.

Um dos mecanismos de proteção das tintas é a proteção catódica, onde não se trata de proteger a área catódica do aço, mas tornar o aço catódico por

contato com um metal menos nobre. Este metal é o Zinco e o mecanismo é chamado de revestimento de sacrifício. Enquanto houver zinco em quantidade suficiente na superfície, o aço não sofrerá corrosão e o zinco é sacrificado para que o aço permaneça intacto. A proteção só funciona com alto teor de pigmento zinco metálico na película seca. São as famosas tintas “Ricas em Zinco”. Segundo GENTIL (1996), Como industrialmente, o metal que mais se procura proteger é o ferro (aço), pode-se supor que tintas formuladas com altos teores de zinco. Alumínio ou magnésio confirmam proteção catódica ao aço. Na prática, entretanto, apenas o zinco se mostra eficaz, quando disperso em resina, geralmente epóxi, ou em silicatos inorgânicos ou orgânicos.

A duração da proteção depende fundamentalmente da camada de zinco depositada. Se a película seca possuir um alto teor de zinco metálico, ela possibilitará a continuidade elétrica entre as partículas de zinco e o aço, proporcionando a proteção desejada, pois quanto maior o teor de zinco melhor a proteção anticorrosiva. Por outro lado se a quantidade de zinco for excessiva, a tinta pode não ter a coesão adequada.

As tintas ricas em zinco além da proteção por barreira conferem também a proteção catódica.

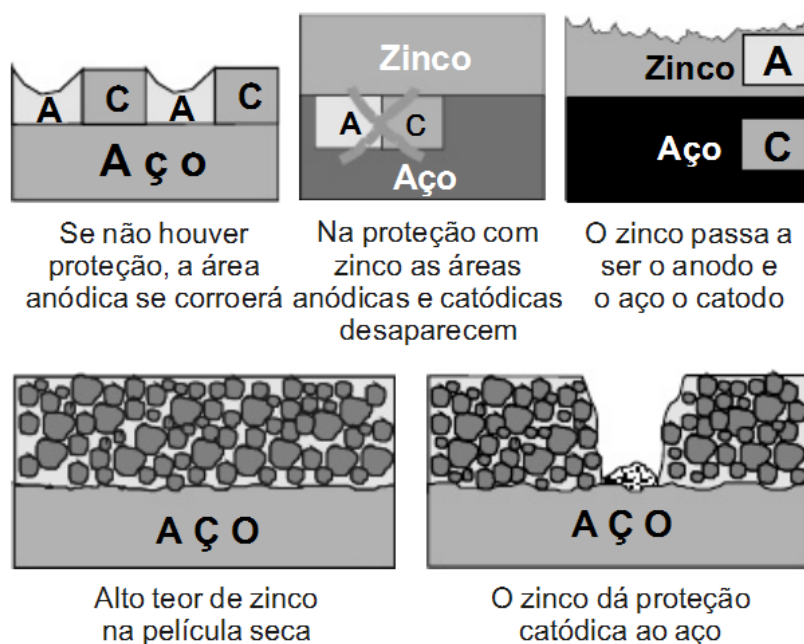


Figura 4.7 – Mecanismo de ação da tinta que atua por proteção catódica.

Estas tintas, também são chamadas de galvanização à frio. Se houver um risco na superfície haverá consumo do zinco e não do aço e o corte ficará por muito tempo sem corrosão. Se o risco for muito profundo ou muito largo, o zinco não terá como proteger o aço por que ele estará fora do seu campo de ação.

No entanto, existem as peças galvanizadas cujo não necessitam da galvanização a frio, pois passam pelo processo de zincagem, também conhecida como galvanização a fogo ou galvanização a quente.

A zincagem é processo mais antigo e mais utilizado na proteção de objetos feitos de ferro ou de aço. Neste caso, a temperatura do substrato deve estar entre 430 e 460°C para acelerar a reação entre o aço e o zinco que possui uma temperatura de fusão de aproximadamente 419°C. O aço e o zinco reagem formando um revestimento de proteção, que consiste de uma camada externa só de zinco e outras camadas internas intermetálicas. A durabilidade do revestimento obtido por zincagem por imersão a quente está relacionada com a espessura da camada de zinco. Além da galvanização a quente algumas peças requerem um acabamento mais protetor, este pode ser através de uma metalização ou de uma pintura com tinta rica em zinco(teor de Zn maior que 90%).

O sucesso de uma zincagem por imersão a quente eficiente também envolve o projeto das peças a serem zincadas. Todas as modificações como perfurações, chanfros entre outras, são feitas antes da imersão, para um melhor escoamento do zinco, impedindo a formação de áreas não protegidas ou com excesso de zinco.

Um fator limitante para a zincagem por imersão a quente é o tamanho da peça a ser zincada, pois se deve considerar a dimensão da cuba de zincagem. No Brasil, já existe a possibilidade de zincar peças com até 18m de comprimento, porem a galvanização a quente ainda não é muito utilizada aqui no Brasil.

A escolha do tipo de revestimento não depende apenas do fator da proteção catódica, ou do espaço físico necessário, depende também de outras características bastante importantes como: custo de aplicação, vida útil, manutenção e consequentemente as perdas geradas por essa manutenção.

Devemos destacar que a estrutura em estudo se localizará em um ambiente de alto grau de agressividade, onde a taxa de corrosão do aço é bastante elevada. Em caso de revestimento que só exerça proteção por barreira, a penetração e corrosão sob o revestimento são acentuadas. Por este motivo serão utilizadas peças galvanizadas e tintas ricas em zinco em peças galvanizadas e não galvanizadas.