

SOCIEDADE UNIVERSITÁRIA REDENTOR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FILIPPE DO CARMO VOLPATO

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS EM AÇO NA
EDIFICAÇÃO DE COBERTURAS



Itaperuna

06/2011



FILIPPE DO CARMO VOLPATO

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS EM AÇO NA
EDIFICAÇÃO DE COBERTURAS**

“Projeto apresentado à Faculdade
Redentor como requisito parcial para a
conclusão do curso de Engenharia
Mecânica.”

Orientador: Prof. M. Sc. Edio Soares
Pereira Júnior

Itaperuna

06/2011

Sociedade Universitária Redentora

BIBLIOTECA

Reg. 154 / 0000001012

Data: 04 / 06 / 11

Nº de Chamada: _____

Autor: FILIPE DO CARMO VOLPATO

Título: **ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS EM AÇO NA
EDIFICAÇÃO DE COBERTURAS**

Natureza: Trabalho de Conclusão de Curso

Objetivo: Título de Engenheiro Mecânico

Instituição: Faculdade Redentor

Área de Concentração: Resistência dos Materiais

Aprovado em: 17/06/2011

Banca Examinadora

Edio Soares Pereira Júnior (orientador)

Mestre Strictu Sensu pela UENF

Instituição: Fac. Redentor

Amanda Camerini Lima

Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UENF

Instituição: Fac. Redentor

André Luiz Vicente de Carvalho

Engenheiro Mecânico pela PUC-MG

Instituição: Fac. Redentor

AGRADECIMENTOS

Eu jamais chegaria a este ponto se não contasse com o apoio da minha família. Quando as coisas se tornaram difíceis foi em meus pais que busquei a sabedoria a fim de encontrar respostas às minhas dúvidas. Não me esqueço de agradecer aos colegas e amigos (incluindo minha namorada Isabela Zanelli), que fiz durante esse período de provas, pois tiveram um papel relevante, seja para um bom conselho, avisar uma oportunidade, ou pelo simples fato de estarmos ali, lado a lado, lutando por um mesmo ideal. Faço questão de agradecer a todos os professores que por minha vida acadêmica passaram, bem como aos funcionários das instituições das quais fiz parte.

A todos vocês mencionados nesta, eu agradeço, e aos que foram responsáveis direta ou indiretamente pela minha educação lembro que, a educação é a única ferramenta capaz de mudar o mundo. Obrigado.

RESUMO

As coberturas de aço oferecem grandes vantagens em termos de instalação, tanto na construção nova como na renovação, principalmente em função de seu baixo peso. Em razão da sua durabilidade, facilidade de manutenção e reciclabilidade, as coberturas em aço respondem às exigências da Construção Sustentável. Além da função de proteção e estanqueidade, as coberturas em aço são duráveis, o que proporciona um custo benefício satisfatório. Ao longo deste trabalho ficarão claros os pontos mais importantes no que diz respeito ao material e condições de aplicação do aço para tais fins. Na medida em que o aço revestido se apresenta como um material de grande durabilidade, de alta resistência mecânica e com grande versatilidade, proporcionando a fabricação de produtos leves e de fácil manuseio, os fabricantes de coberturas e fechamentos laterais elegeram-no como sua matéria-prima básica para a produção de telhas e seus componentes. Este trabalho trata dos assuntos que são de fundamental conhecimento àqueles que, por ventura, façam algum tipo de estudo com relação às coberturas em aço, dando ênfase à Resistência dos Materiais.

ABSTRACT

The steel covers offer great advantages in terms of installation in both new construction and renovation, mainly due to its low weight. Because of its durability, ease of maintenance and recyclability, the roofs of steel meet the requirements of sustainable construction. Besides the function of protection and waterproofing, the coverage today is associated with complete systems for power generation through solar panels or photovoltaic's. Recent studies of the Universidade Federal de Santa Catarina show the feasibility of installing roofs with photovoltaic panels integrated into the public power grid. This type of solution has been widely used in Europe, primarily France and Germany, where buildings with large coverage areas using steel tiles with integrated photovoltaic panels and sell excess power to utilities. Stadiums and buildings that have low energy can benefit greatly from the sale of surplus power generated in the coverage. To the extent that the coated steel is presented as a material of high durability, high mechanical strength and versatility, allowing the manufacture of lightweight and easy to use, manufacturers of roofing and side locks elected it as its raw basic material for the production of tiles and their components. This paper addresses the issues that are of fundamental knowledge to those who, perchance, make some sort of study with respect to the coverage of steel, with an emphasis on Strength of Materials and Materials Science.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Telhado de duas águas.....	16
Figura 2 - Soccer City – Johannesburg, África do Sul.....	19
Figura 3 - Etapas fundamentais do tratamento térmico.....	21
Figura 4 - Placa de aço galvanizado.....	22
Figura 5 - Curva de revenimento SAE 1020 (fonte: GGD Metais).....	24
Figura 6 - Curva de revenimento SAE 1045 (Fonte: GGD Metais).....	24
Figura 7 - Curva de revenimento SAE 4140 (Fonte: GGD Metais).....	24
Figura 8 - Curva de revenimento SAE 4320 (Fonte: GGD Metais).....	25
Figura 9 - Engrenagens que sofreram cementação.....	26
Figura 10 - Caixa para cementação.....	27
Figura 11 - Cementação por banho.....	27
Figura 12 - Pilares em aço.....	32
Figura 13 - Parafuso Autoperfurante.....	34
Figura 14 - Operador utilizando a solda.....	34
Figura 15 - Porca do tipo castelo.....	35
Figura 16 - Exemplo de rebite e exemplo de aplicação.....	36
Figura 17 - Perfilação das folhas de aço.....	38
Figura 18 - Bobinas de aço a fundo e perfilação das folhas de aço à frente.....	38
Figura 19 - Dimensões da telha ondulada segundo NBR 14513.....	39
Figura 20 - Montagem do telhado – telhas onduladas.....	40
Figura 21 - Dimensões da telha Trapezoidal segundo NBR – 14514.....	41
Figura 22 - Montagem do telhado – telhas trapezoidais.....	42
Figura 23 - Telhas zipadas.....	43
Figura 24 - Montagem sistema sanduíche com telha trapezoidal e telha zipada.....	43
Figura 25 - Passarela com telhas calandradas.....	45
Figura 26 - Expresso Tiradentes (SP) – Telha Multidobra.....	46
Figura 27 - Perfil genérico da telha termoacústica com EPS.....	47
Figura 28 - Montagem da telha termoacústica com EPS.....	48
Figura 29 - Telha Trapezoidal com Poliuretano.....	49
Figura 30 - Montagem da telha Trapezoidal com Poliuretano.....	49
Figura 31 - Telha Termoacústica com face plana e com PUR.....	51
Figura 32 - Montagem da telha termoacústica com face plana com PUR.....	51
Figura 33 - Telha Trapezoidal com Lã Mineral.....	52
Figura 34 - Telha Ondulada com Lã Mineral.....	52

Figura 35 - Montagem da Telha Trapezoidal com Lã Mineral.....	52
Figura 36 - Desenhos representativos dos tipos de Arremates.....	53
Figura 37 - Fechamento de Onda.....	54
Figura 38 - Telhado de duas meias águas.....	55
Figura 39 - Telhado Germinado.....	56
Figura 40 - Telhado Germinado com meias-águas no sentido transversal.....	56
Figura 41 - Galpão tipo Shed.....	56
Figura 42 - Diferentes tipos de Tesouras.....	57
Figura 43 - Treliça Pratt com apoio no banzo superior.....	57
Figura 44 - Treliça Warren com apoio no banzo inferior.....	57
Figura 45 - Treliça Tipo Belga.....	58
Figura 46 - Treliça “K” com apoio no banzo inferior.....	58
Figura 47 - Treliça Pettit.....	58
Figura 48 - Treliça Pratt duas águas.....	58
Figura 49 - Treliça tipo espacial.....	58
Figura 50: Estrutura Hipostática.....	59
Figura 51: Estrutura Isostática.....	59
Figura 52: Estrutura Hiperestática.....	59
Figura 53: Representação gráfica de deformação linear.....	60
Figura 54: Diagrama Tensão x Deformação.....	61
Figura 55: Exemplo de tração.....	63
Figura 56: Elemento infinitesimal solicitado triaxialmente.....	65
Figura 57: Peça que sofreu a ação da tração.....	65
Figura 58: Barra sendo comprimida.....	66
Figura 59: Esforço de Cisalhamento.....	66
Figura 60: Torque causando torção em uma barra circular (a) e em uma barra quadrangular (b).....	67
Figura 61: Coluna Flambando.....	68
Figura 62: Peça sofrendo a ação da flexão.....	68
Figura 63: Mapeamento nacional da velocidade do vento.....	71
Figura 64: Perfil “U” Dobrado de Chapa (UDC) enrijecido.....	75
Figura 65: Esboço da ação do vento nas paredes externas.....	78
Figura 66: Esboço da ação do vento na cobertura.....	79
Figura 67: Esforços na tesoura.....	81
Figura 68: Esforços no nó I.....	82

Figura 69: Esforços no nó II.....	82
Figura 70: Esforços no nó V.....	83
Figura 71: Esforços no nó III.....	83
Figura 72: Esforços no nó IV.....	84
Figura 73: Perfil I.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Algumas propriedades de diferentes tipos de aço.....	20
Tabela 2 - Temperatura de aquecimento e meio de resfriamento do aço.....	23
Tabela 3 - Temperaturas de recozimento de diferentes aços.....	25
Tabela 4 - Aços - Aplicações	29
Tabela 5 - Elementos de Liga e sua influência nas características dos Aços.....	30
Tabela 6 - Propriedades físicas do aço.....	30
Tabela 7 - Sistemas SAE e AISI de classificação dos aços.....	31
Tabela 8 - Cargas admissíveis para telhas onduladas (Kgf./m ²).....	39
Tabela 9 - Cargas admissíveis para telhas trapezoidais (Kgf./m ²).....	41
Tabela 10 - Características Térmicas do PUR.....	50
Tabela 11 - Comparativo do Fator de Condutibilidade Térmica Entre os Materiais.....	53
Tabela 12 - Valores do Fator Topográfico.....	71
Tabela 13 - Definição de categorias para determinação do coeficiente S ₂	72
Tabela 14 - Definição de classes para determinação do coeficiente S ₂	72
Tabela 15 - Fator S ₂ - Rugosidade do terreno.....	73
Tabela 16 - Valores mínimos do Fator Estatístico S ₃	73
Tabela 17 - Propriedades do Perfil U enrijecido.....	77
Tabela 18 - Coeficientes de pressão e forma para paredes.....	78
Tabela 19 - Coeficientes de pressão e forma para coberturas.....	79
Tabela 20 - Quadro de dimensionamento das barras das tesouras.....	85
Tabela 21 - Propriedades do perfil I.....	88

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABCEM - Associação Brasileira de Construção Metálica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISC – American Institute of Steel Construction

AISI – American Iron and Steel Institute

ASTM - Sociedade Americana para Testes e Materiais

CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço

CCC - Cúbico de Corpo Centrado

CFC - Cúbico de Face Centrada

CST – Companhia Siderúrgica de Tubarão

DIN - Deutsche Institut für Normung

EPS - Poliestireno

NBR - Norma Brasileira

PUR - Poliuretano

SAE – Society of Automotive Engineers

LISTA DE SÍMBOLOS

- Deformação longitudinal
- Deformação transversal
- Δ - Variação
- A - Área
- b - Largura
- C_e - Coeficiente de forma
- C_{pe} - Coeficiente de pressão externo
- D - Diâmetro
- d - Distância
- e - Espessura
- E - Módulo de Elasticidade
- F - Força
- F - Força limite
- f_{ck} - Coeficiente de escoamento do concreto
- q - Cargas adicionais
- g - Cargas permanentes
- h - Altura
- H - Reações horizontais
- I - Momento de inércia
- K - Coeficiente, em geral
- L - Comprimento, vão entre terças
- L_0 - Comprimento inicial
- L_f - Comprimento de flambagem
- N - Força
- σ_{adm} = Tensão admissível
- R - Tensão nas reações
- θ - Teta (ângulo)
- P - Peso
- P_{cr} - Carga crítica
- Q - Carga
- q - Pressão dinâmica
- S - Área de seção
- S_1 - Fator topográfico de variação do vento
- S_2 - Fator rugosidade de variação do vento

S_3 - Fator estatístico de variação do vento

τ - Tensão cisalhante

T - Torque, Momento torçor

U - Condutividade Térmica

V_k - Velocidade característica

V_o - Velocidade inicial

W - Módulo resistente

α - Alfa (ângulo)

β - Beta (ângulo)

ε - Deformação linear

λ - Índice de esbeltez

ν - Coeficiente de Poisson

Σ - Somatório

σ - Tensão normal

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	16
1.1 – OBJETIVOS GERAIS.....	17
1.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.3 – JUSTIFICATIVA.....	17
1.4 – HISTÓRICO.....	18
CAPÍTULO 2 - AÇO – TRATAMENTO E CLASSIFICAÇÃO.....	20
2.1 – TRATAMENTO TÉRMICO.....	21
2.1.1 – AÇO GALVANIZADO.....	21
2.1.2 – TÊMPERA.....	22
2.1.3 – REVENIMENTO.....	23
2.1.4 – RECOZIMENTO.....	25
2.1.5 – CEMENTAÇÃO.....	26
2.2 – SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS.....	28
CAPÍTULO 3 - COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA EDIFICAÇÃO DA COBERTURA EM AÇO.....	32
3.1 – PILARES.....	32
3.2 – ELEMENTOS DE FIXAÇÃO.....	33
3.2.1 – PARAFUSOS.....	33
3.2.2 – SOLDAS.....	34
3.2.3 – PORCAS.....	35
3.2.4 – REBITES.....	36
3.3 – TELHAS.....	36
3.3.1 – TELHAS ONDULADAS.....	38
3.3.1.1 – MONTAGEM.....	40
3.3.2 – TELHAS TRAPEZOIDAIS.....	41

3.3.2.1 – MONTAGEM.....	42
3.3.3 – TELHAS ZIPADAS.....	42
3.3.4 – TELHAS AUTOPORTANTES.....	44
3.3.5 – TELHAS CURVAS.....	44
3.3.5.1 – TELHAS CALANDRADAS.....	44
3.3.5.2 – TELHAS MULTIDOBRAS.....	45
3.3.6 – TELHAS PARA ISOLAMENTO TERMOACÚSTICO OU TÉRMICO.....	46
3.3.6.1 - TELHAS TERMOACÚSTICAS COM EPS (POLIESTIRENO).....	47
3.3.6.2 - TELHAS TERMOACÚSTICAS COM POLIURETANO.....	48
3.3.6.3 - TELHAS TERMOACÚSTICAS COM A FACE INFERIOR PLANA COM POLIURETANO.....	50
3.3.6.4 - TELHAS TERMOACÚSTICAS COM LÃ MINERAL.....	51
3.4 - ARREMATES.....	53
3.5 - ACESSÓRIOS.....	54
3.5.1 - FITA DE VEDAÇÃO.....	54
3.5.2 - FECHAMENTO DE ONDA.....	54
3.5.3 - GANCHOS E CALÇOS.....	54
3.5.4 - MASSA POLIURETÂNICA.....	54
3.5.5 - TELHAS TRANSLÚCIDAS.....	55
3.6 - TELHADO.....	55
3.7 - TESOURAS.....	56
3.8 - TRELIÇAS.....	57
CAPÍTULO 4 - DEFORMAÇÃO.....	60
4.1 - ENSAIO DE TRAÇÃO.....	60
4.2 - LEI DE HOOKE.....	62
4.3 - COEFICIENTE DE POISSON.....	63
CAPÍTULO 5 - ESFORÇOS SOLICITANTES – TENSÕES.....	65

5.1 - TRAÇÃO.....	65
5.2 - COMPRESSÃO.....	66
5.3 - CISALHAMENTO.....	66
5.4 - TORÇÃO.....	67
5.5 - FLAMBAGEM.....	67
5.6 - FLEXÃO.....	68
CAPÍTULO 6 DIMENSIONAMENTO DE UMA COBERTURA EM AÇO - MEMORIAL DOS	
CÁLCULOS.....	69
6.1 - IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA.....	69
6.2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
6.3 - CARGAS ADOTADAS NA ESTRUTURA.....	70
6.4 - CÁLCULO DAS TERÇAS.....	75
6.5 - CÁLCULO DAS TELHAS.....	77
6.6 - CÁLCULO DAS TESOURAS.....	80
6.7 - CÁLCULO DOS PILARES.....	86
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade se fez necessário a localização de abrigo. Primeiramente para proteção contra tempestades, sol, calor, predadores, e outros. Muitas destas justificativas se mantêm até hoje e nesse contexto percebe-se o papel fundamental que tem a cobertura, de modo geral, no intuito de proteção, abrigo e controle térmico, desde ocas indígenas, até grandes montadoras de automóveis.

A utilização do aço na edificação de tais estruturas vem crescendo exponencialmente devido a sua versatilidade e resistência, tanto a chuvas torrenciais quanto a calores abrasivos, além de sua rápida montagem e grande duração. Existe uma série de novas leis ambientais que dificultam o uso de madeira nos projetos, o que contribui para esse crescimento na utilização do aço. Mais uma vantagem da utilização do aço é a possibilidade da construção de coberturas retráteis, o que seria impossível nas de madeira e concreto. Abaixo está um exemplo de aplicação de uma cobertura em aço.



Figura 1: Telhado de duas águas (Fonte: <http://rf.demolidora.zip.net/>, 05/2011)

O intuito deste Trabalho de Conclusão de Curso será exibir de maneira clara e de fácil compreensão os cálculos e procedimentos tomados na edificação destas coberturas em aço bem como suas vantagens e desvantagens em relação aos telhados convencionais.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é apresentar de modo detalhado os procedimentos e cálculos utilizados na edificação de coberturas especificando os componentes fundamentais para sua montagem.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho apresenta o dimensionamento prático dos principais elementos da cobertura de um galpão industrial (telhas, terças, treliças ou tesouras e pilares). Para isso serão analisados os esforços aos quais estará submetida. Também são apresentadas as memórias de cálculos necessárias ao detalhamento da estrutura.

1.3 JUSTIFICATIVA

O crescente número de empresas e fábricas, além de estabelecimentos comerciais, que optam por utilizar uma cobertura em aço no lugar das convencionais foi o que motivou a execução deste trabalho.

Embora o custo final seja superior ao telhado de madeira e telhas coloniais, ou qualquer outra, o uso de aço tem pontos onde se destaca. Um destes pontos é a agilidade na construção, pois leva menos tempo na montagem de uma cobertura em aço, em relação a uma tradicional de madeira. Outra vantagem é que o aço tem uma duração maior e não se deteriora como a madeira, muito menos sofrer com o ataque de insetos e roedores. Ainda no comparativo, uma cobertura em aço se caracteriza por fazer desnecessária a utilização de laje e proporciona um maior aproveitamento do espaço, já que necessita menos pilares. Com coberturas desse tipo ainda vale ressaltar a alta segurança que se tem quando o projeto está

bem dimensionado e edificado dentro das especificações.

1.4 HISTÓRICO

Utiliza-se o aço em casas desde a época Vitoriana (período que compreende a segunda metade do século XIX e primeira década do século XX), bem como em projetos de casas contemporâneas. Ele está disponível em todos os estilos estruturais e de arquitetura. A siderurgia contemporânea desenvolveu-se a partir dos anos 60 do século XX, o que também impulsionou sua utilização para fins de cobertura, não sendo possível se dizer ao certo onde foi utilizada a primeira cobertura em aço. Tais coberturas são tipicamente projetadas para atuarem em telhados íngremes. É o tipo mais utilizado por grandes empresas e donos de galpões e garagens por sua versatilidade e bom desempenho. (SANTOS, 1977)

As telhas de aço são utilizadas tanto em climas frios quanto em climas quentes, no último, ajuda a reduzir os custos de resfriamento por ter uma propriedade natural de reflexão do calor. Já em climas frios a superfície lisa e escorregadia das telhas é perfeita para o escoamento de água e em alguns casos, da neve. Um dos únicos inconvenientes de um telhado deste tipo é o surgimento de ferrugem (devido à oxidação do material), o que pode ser evitado fazendo a correta proteção do telhado, com tintas especiais ou utilizando aços galvanizados.

Telhados de metal podem ser fabricados em alumínio, aço galvanizado, zinco, cobre, aço inoxidável e até mesmo titânio, porém os mais utilizados são o aço e o alumínio (neste Trabalho de Conclusão de Curso nos concentraremos no aço). Leves e resistentes ao fogo, as coberturas metálicas são duráveis (geralmente um telhado de metal pode durar de 20 a 50 anos) e exigem menos manutenção do que as telhas de argila ou amianto (além de não proporcionar riscos à saúde como o caso do amianto). Outra vantagem é quanto à instalação e manutenção, caso haja algum dano. Hoje existem várias empresas no mercado que trabalham com essa linha de produção. A figura 2 apresenta o estádio de futebol Soccer City, palco da

abertura e das finais da copa do mundo de futebol realizada em 2010 na África do Sul. A construção deste estádio foi beneficiada com a utilização do aço nas estruturas e policarbonato nas telhas.



Figura 2: Soccer City – Johannesburg (Fonte: <http://copaafricadosul10.blogspot.com/>, 05/2011)

CAPÍTULO 2 - AÇO – TRATAMENTO E CLASSIFICAÇÃO

CALLISTER (2002) define aço como toda liga ferro carbono com até 2,11% de teor de carbono. A tabela abaixo apresenta as propriedades de diferentes tipos de aço:

Tabela 1: Algumas propriedades de diferentes tipos de aço

Tipo de aço	Teor de Carbono (%)	Limite de elasticidade f_{el} (GPa)	Limite de escoamento f_y (MPa)	Limite de resistência à tração f_u (MPa)	Alongamento (%)
ASTM-A-36	0,25 a 0,30	200	250	400 a 500	20
Comercial	–	± 190	± 240	370 a 520	20
ASTM-A570	0,25	185	230	360	23
SAE 1008	0,08	135	170	305	30
SAE 1010	0,10	145	180	325	28
SAE 1020	0,20	170	210	380	25
SAE 1045	0,45	250	310	560	17
ASTM-A242	< 0,22	250	290 a 350	435 a 480	18
ASTM-A441	–	220 a 275	275 a 345	415 a 485	± 18
ASTM-A572	–	220 a 275	290 a 345	415 a 450	± 18
ASTM-A588	–	230 a 280	290 a 350	415 a 450	± 18
COR-TEN A /B	–	275	345	480	± 19
COR-TEN C	–	330	415	550	± 19
ABNT MR250	–	200	250	400	
ABNT MR290	–	230	290	415	
ABNT MR345	–	275	345	450	

Fonte: <http://estruturasmetalicas.vilabol.uol.com.br/acos.htm> (03/2011)

2.1 TRATAMENTO TÉRMICO

Para se obter uma maior duração da estrutura é fundamental que o aço tenha sofrido um tratamento térmico. Com esse tratamento é possível alterar as propriedades mecânicas e conseguir um aço com as características mais indicadas para cada tipo de aplicação, como aços mais maleáveis, mais rígidos, maior ou menor coeficiente de elasticidade, com diferentes teores de carbono, o que diferencia um aço de outro. Os tratamentos térmicos ocorrem em três etapas fundamentais, como ilustra a figura abaixo (SENAI-ES – CST, 1997):

- 1 – aquecimento;
- 2 - manutenção da temperatura;
- 3 – resfriamento.

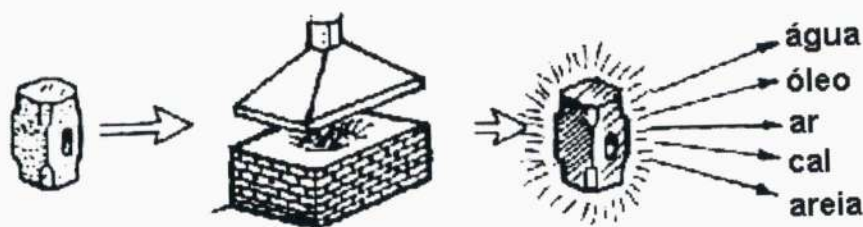


Figura 3: Etapas fundamentais do tratamento térmico (Fonte: SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão-1997)

A porcentagem de carbono e a temperatura trabalhada é o que definirá as propriedades finais do aço tratado.

2.1.1 Aço Galvanizado

A galvanização é o processo através do qual o zinco é ligado metalurgicamente ao aço, proporcionando ao aço o revestimento anti-corrosivo mais avançado e eficiente em termos de custo. O aço galvanizado é utilizado onde a corrosão é uma ameaça. Primeiro o zinco fornece

um revestimento resistente e aderente que veda o metal subjacente do contato com seu ambiente corrosivo. Segundo, o zinco corrói mais lentamente que o ferro. Terceiro, se o revestimento for danificado e o aço exposto (acidentalmente ou através de corte e/ou perfuração), o zinco adjacente protege o aço exposto (esta propriedade extraordinária é chamada de “proteção anódica” e pode ser vista na figura 4). A vida do revestimento é prolongada ainda mais porque os produtos de corrosão do zinco tendem a vedar as áreas danificadas. (Resume – Revestimento Superficial de Metais LTDA, 05/2011)

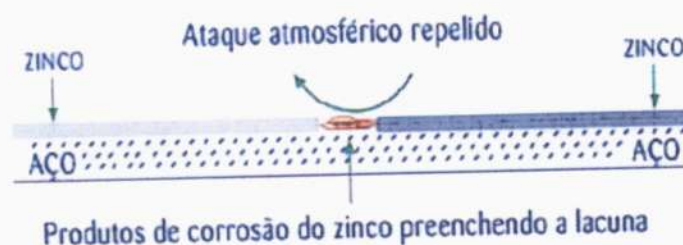


Figura 4: Placa de aço galvanizado (Fonte: Resume – Revestimento Superficial de Metais LTDA, 05/2011)

2.1.2 Têmpera

O SENAI-ES em parceria com a Companhia Siderúrgica de Tubarão (1997) afirma que têmpera é o tratamento térmico aplicado aos aços com porcentagem igual ou maior do que 0,4% de carbono. O efeito principal da têmpera num aço é o aumento de dureza. Para execução do processo, primeiramente, a peça é aquecida em forno ou forja, até uma temperatura recomendada (por volta de 800°C para os aços ao carbono). Atingida a temperatura desejada esta deve ser mantida por algum tempo para uniformizar o aquecimento em toda a peça. Por último a peça uniformemente aquecida na temperatura desejada é resfriada em água, óleo ou jato de ar. A têmpera causa em um aço um aumento considerável da dureza e um aumento da fragilidade em virtude desse aumento da dureza. Na tabela 2 dá-se o processo de têmpera de diversos tipos de aço:

Tabela 2: Temperatura de Aquecimento e Meio de Resfriamento do Aço

MATERIAL A TEMPERAR	TÊMPERA			
	TEMP. DE PRÉ - AQUEC.	TEMP. DE TÊMPERA	COR DO MAT. NA TEMP.	RESFRIAR EM
AÇO 1.040 a 1.050	500 °C	830 °C	Vermelho	Água
AÇO 1.060 a 1.080	500 °C	790 °C	Vermelho escuro	Água ou Óleo
AÇO 1.090	500 °C	775 °C	Vermelho cereja	Óleo
AÇO PRATA	550 °C	800 °C	Vermelho escuro	Óleo
AÇO P/ MOLAS	600 °C	875 °C	Vermelho claro	Óleo
AÇO RÁPIDO	550 °C a 900 °C	1.300 °C	Branco	Óleo

Fonte: SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão (1997)

2.1.3 Revenimento

É o tratamento térmico que se faz nos aços já temperados, com a finalidade de diminuir a sua fragilidade, isto é, torná-lo menos quebradiço. O revenimento é feito aquecendo-se a peça temperada até certa temperatura resfriando-a em seguida. O principal efeito do revenimento é que ele diminui um pouco a dureza da peça temperada, porém aumenta consideravelmente a sua resistência aos choques. Geralmente, toda peça temperada passa por um revenimento, sendo até comum dizer-se “peça temperada” ao invés de “peça temperada e revenida”. (SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1997)

As figuras 5, 6, 7 e 8 a seguir, exibem curvas de revenimento para diferentes aços. Observa-se que quanto maior for a temperatura de revenimento, mais dúctil se tornará o aço:

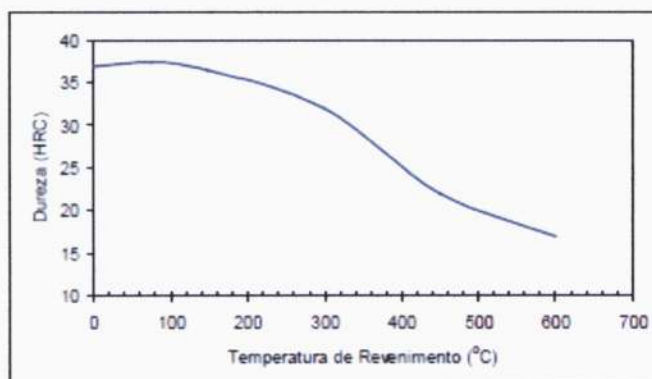


Figura 5: Curva de revenimento SAE 1020 (fonte: GGD Metais, 01/2011)

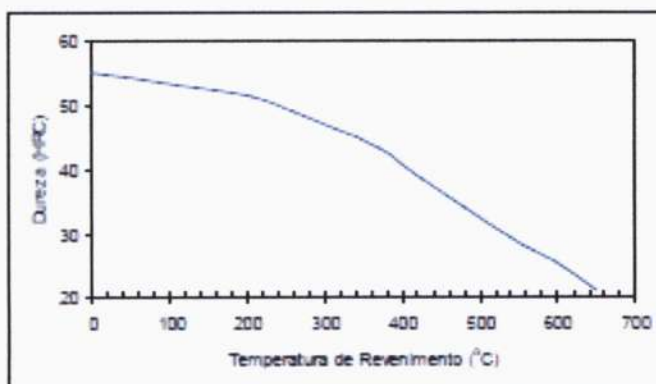


Figura 6: Curva de revenimento SAE 1045 (Fonte: GGD Metais, 01/2011)

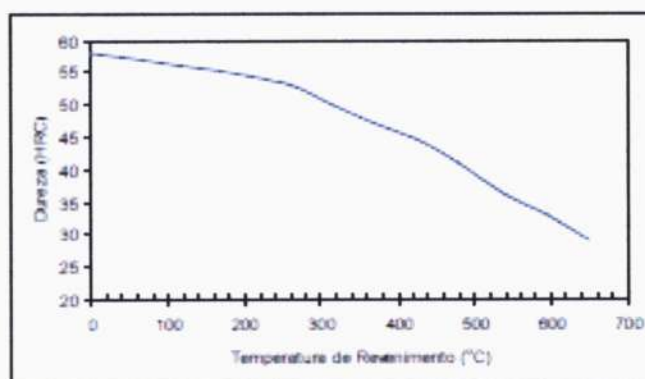


Figura 7: Curva de revenimento SAE 4140 (Fonte: GGD Metais, 01/2011)

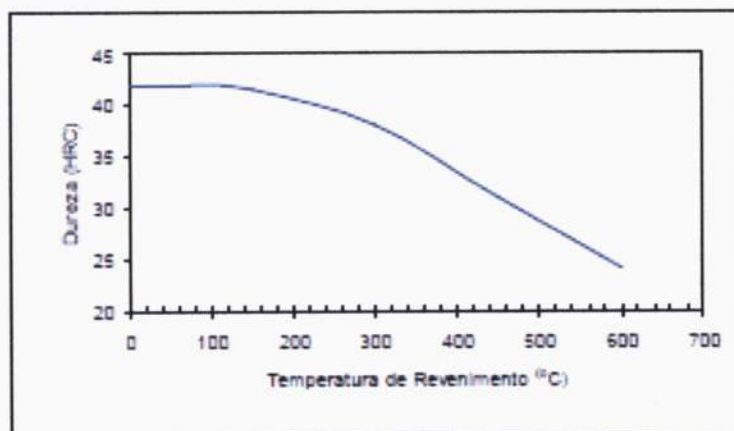


Figura 8: Curva de revenimento SAE 4320 (Fonte: GGD Metais, 01/2011)

2.1.4 Recozimento

O recozimento é o tratamento térmico que tem por finalidade eliminar a dureza de uma peça temperada ou normalizar materiais com tensões internas resultantes do forjamento, da laminação, trefilação etc.. A peça é aquecida a uma temperatura que varia de acordo com o material a ser recozido (entre 500°C e 900°C). A escolha da temperatura de recozimento do aço é feita mediante consulta a tabelas. Abaixo (Tab. 3) temos o exemplo para alguns aços: (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

Tabela 3: Temperaturas de recozimento de diferentes aços

Material	Temp. de recozimento
Aço 1040 - 1050	800°C
Aço 1060 - 1080	785°C
Aço 1090	770°C
Aço rápido	900°C

Fonte: SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão (1997)

Neste tratamento a peça deve permanecer aquecida por algum tempo na temperatura recomendada para que as modificações atinjam toda a massa da mesma. O resfriamento deve ser feito lentamente, tanto mais lento quanto maior for a porcentagem de carbono do aço. A principal característica do recozimento é que ele elimina a dureza de uma peça temperada anteriormente, fazendo-a voltar a sua dureza normal além de tornar o aço mais homogêneo, melhorando sua ductilidade e tornando-o facilmente usinável. (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 2007)

2.1.5 Cementação

Muitos componentes de determinada estrutura necessitam ter elevada dureza externa para resistirem ao desgaste, entretanto, internamente precisam permanecer “moles”, para suportarem solavancos. Essas peças geralmente são em aço de baixa porcentagem de carbono e recebem um tratamento denominado Cementação, é o que afirma o SENAI-ES em parceria da Companhia siderúrgica de Tubarão (1997). Na figura abaixo temos um exemplo de elemento de máquina, uma engrenagem, que recebe o tratamento da cementação:

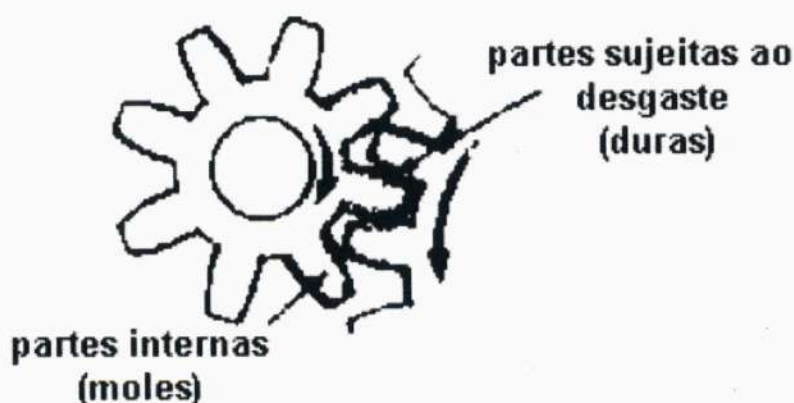


Figura 9: Engrenagens que sofreram cementação (Fonte: SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1997)

A cementação é um tratamento que consiste em aumentar a porcentagem de carbono numa fina camada externa da peça. Após a cementação tempera-se a peça. A cementação é

feita aquecendo-se a peça de aço de baixo teor de carbono, junto com um material rico em carbono (carburante). Quando a peça atinge alta temperatura (750°C a 1.000°C) passa a absorver parte do carbono do carburante. Quanto mais tempo a peça permanecer aquecida com o carburante, mais espessa se tornará a camada. Os carburantes podem ser sólidos, (grãos ou pós), líquidos ou gasosos. A qualidade dos carburantes influi na rapidez com que se forma a camada. (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

Primeiramente as peças são colocadas em caixas juntamente com o carburante, fechadas hermeticamente e aquecidas até a temperatura recomendada como ilustra a figura 10. (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

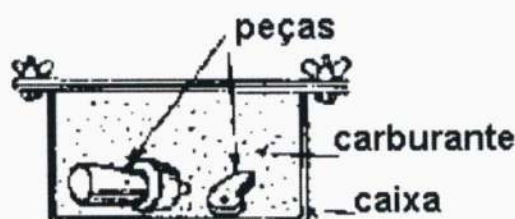


Figura 10: Caixa para cementação (Fonte: SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

Ou também pode ser executada por meio de um banho onde as peças são mergulhadas no carburante líquido aquecido, através de cestas ou ganchos. Como é possível notar na figura 11: (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)



Figura 11: Cementação por banho (Fonte: SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

O tempo de duração desta imersão varia de acordo com a espessura da camada que se deseja e da qualidade do carburante utilizado (é comum adotar-se 0,1mm a 0,2mm por hora). A peça é resfriada lentamente dentro da própria caixa ou suspensa, no caso do banho. Após a cementação as peças são temperadas. (SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão, 1997)

2.2 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

De acordo com GENEROSO (03/2011), o número de tipos de aço é muito elevado, pois além dos aços simplesmente ao carbono com teores variáveis, é muito grande a quantidade de aços ligados. Para facilitar sua seleção, associações técnicas especializadas classificam os aços pela sua composição química, dando origem aos sistemas SAE e AISI (americanos), DIN (alemão), ABNT (brasileiro) etc.

O sistema brasileiro da ABNT baseou-se nos sistemas americanos. Neles, basicamente, os vários tipos de aços até 1% de carbono, com os elementos comuns manganês, silício, fósforo e enxofre ou com a presença de elementos de liga em baixos teores, são indicados por quatro algarismos: os dois últimos correspondem ao teor de carbono médio e os dois primeiros à presença ou não de elementos de liga. Assim, toda vez que os dois primeiros algarismos sejam 1 e 0, trata-se de aços-carbono. A mudança de um desses algarismos ou de ambos indica um novo tipo de aço, com a presença de outros elementos que não os comuns, ou com estes elementos comuns em teores superiores aos que são considerados normais como é visto na tabela 7 e também nos exemplos abaixo: (GENEROSO, 03/2011)

1045 - aços-carbono com teor médio de C 0,45%;

1120 - aços de usinagem fácil, ao enxofre, com 0,20% de carbono médio;

4420 - aços ao Ni-Cr-Mo, com 1,85% Ni, 0,50% Cr, 0,25% Mo e 0,20% C;

5140 - aços ao Cr com 0,70% a 0,90% Cr e 0,40% C.

A norma alemã DIN adota outro critério para classificar os aços. Os aços comuns, por exemplo, são indicados pelo símbolo St (abreviação de *Stal* = aço), seguido de um algarismo que corresponde ao valor mínimo de resistência à tração - St42, St35 etc. Os aços especiais, com teores de carbono acima de 1% (Tab. 4) ou com a presença de elementos de liga em altos teores, como aços para ferramentas e matrizes, resistentes à corrosão e ao calor etc., obedecem a outros critérios de classificação. (GENEROSO, 03/2011)

Tabela 4: Aços - Aplicações

TEOR DE CARBONO %	Temperatura máxima de forjamento °C	Temperatura de recozimento °C	Temperatura de tempera °C	APLICAÇÕES TÍPICAS
1,5	1000	720	760 / 780	Ferramentas especiais para tornos e plainas.
1,25	1025	720	760 / 780	Tipo mais adequado para ferramentas de tornos e plainas, brocas e pequenas ferramentas de corte.
1,125	1050	720	770 / 800	Para grandes ferramentas de torno, ferramentas de corte circular, machos, punções, mandris, cossinetes e laminas para tesourões.
1	1100	720	780 / 800	Para ferramentas trabalhando à quente, punções, machos grandes, talhadeiras a frio, etc.
0,875	1125	750	785 / 810	Para talhadeiras, matrizes de forja, ferramentas de ferreiro, lâminas de tesourões, ferramentas de pedreiro, etc.
0,75	1150	770	800 / 820	Para martelos, matrizes em geral e brocas de mineiros

Fonte: Tecém – Tecnologia Empresarial LTDA (05/2011)

Tabela 5: Elementos de Liga e sua influência nas características dos Aços

PROPRIEDADE	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al	INFLUÊNCIA
DUREZA	X	X	X		X						AUMENTA
RESISTÊNCIA	X	X	X		X				X		AUMENTA
DUTILIDADE	X		X	X							DIMINUI
SOLDABILIDADE	X										DIFICULTA
DESOXIDANTE		X			X					X	-
RESISTENCIA AO IMPACTO						X					AUMENTA
RESISTENCIA À CORROSÃO							X				AUMENTA
TEMPERABILIDADE							X	X			AUMENTA
RESISTÊNCIA À ABRASÃO							X				AUMENTA
RESISTÊNCIA A ALTAS TEMPERATURAS								X			AUMENTA

Fonte: Tecém - Tecnologia Empresarial LTDA (05/2011).

Tabela 6: Propriedades físicas do aço

Módulo de elasticidade	$E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$
Coefficiente de Poisson	0,30
Coefficiente de Dilatação Linear	$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Peso Específico	8.000 kg/m^3 (Aços Zincados)

Fonte: ABCEM (2009)

A tabela 5, acima, indica as alterações que ocorrerão em um aço no qual seja adicionado algum tipo de liga, enquanto a tabela 6 apresenta as propriedades físicas do aço.

Tabela 7: Sistemas SAE e AISI de classificação dos aços

Designação		Tipo de aço
SAE	AISI	
10XX	C10XX	Aços-carbono comum
11XX	C11XX	Aços de usinagem fácil, com alto S
13XX	13XX	Aços-Mn com 1,75%Mn médio
23XX	23XX	Aços-Ni com 3,5%Ni
25XX	25XX	Aços-Ni com 5,0%Ni
31XX	31XX	Aços-Ni-Cr com 1,25%Ni e 0,65%Cr e 0,80Cr
33XX	E33XX	Aços-Ni-Cr com 3,50%Ni, 1,50 e 1,57%Cr
303XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor Ni-Cr
40XX	40XX	Aços-Mo com 0,25%Mo médio
41XX	41XX	Aços-Cr-Mo com 0,50% ou 0,95%Cr e 0,12%, 0,20%, 0,25% e 0,30%Mo
43XX	43XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,82%Ni, 0,50% ou 0,80%Cr, 0,25%Mo
46XX	46XX	Aços-Ni-Mo com 0,85% ou 1,82%Ni e 0,20% ou 0,25%Mo
47XX	47XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,05%Ni, 0,45%Cr, 0,20% e 0,35%Mo
48XX	48XX	Aços-Ni-Mo com 3,50%Ni e 0,25%Mo
50XX	50XX	Aços-Cr com 0,27%, 0,40%, 0,50%Cr e 0,65%Cr
51XX	51XX	Aços-Cr com 0,80% a 1,05%Cr
501XX	-	Aços para rolamentos de baixo cromo, com 0,50%Cr
511XX	E511XX	Aços para rolamentos de médio cromo, com 1,02%Cr
521XX	E521XX	Aços para rolamentos de alto cromo, com 1,45%Cr
514XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor ao Cr
515XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor ao Cr
61XX	61XX	Aços-Cr-V com 0,60%, 0,80% e 0,95%Cr e 0,10% ou 0,15%V (min.)
86XX	86XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55%Ni, 0,50% ou 0,65%Cr, 0,20%Mo
87XX	87XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55%Ni, 0,50%, 0,25%Mo
92XX	92XX	Aços-Si,Mn com 0,65%, 0,82%, 0,85% ou 0,87%Mn, 1,40% ou 2,00%Si e 0%, 0,17%, 0,32% ou 0,65%Cr
93XX	93XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 3,25%Ni, 1,20%Cr e 0,12%Mo
98XX	98XX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,00%Ni, 0,80%Cr e 0,25%Mo
950	-	Aços de baixo teor em liga e alta resistência
XXBXX	XXBXX	Aços-boro com 0,0005% de B min.
XXLXX	CXXLXX	Aços-chumbo com 0,15% a 0,35% de chumbo

Fonte: SENAI-ES – Companhia siderúrgica de Tubarão (1997)

CAPÍTULO 3 - COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA A EDIFICAÇÃO DA COBERTURA EM AÇO

Uma cobertura em aço, assim como qualquer projeto de Engenharia Mecânica, depende de uma série de componentes que estejam bem dimensionados e aplicados a todo conjunto. Esses componentes são os que proporcionarão, de fato, o desenvolvimento do projeto.

3.1 PILARES

Os pilares são parte fundamental no projeto de uma cobertura uma vez que serão os componentes a fornecer a sustentação necessária a todo aparato. Nelas estarão concentrados todos os esforços do telhado, daí vem a importância destas estarem bem dimensionados para resistirem às cargas de solicitação. A utilização de pilares em aço tem uma série de vantagens como a capacidade de criar as mais diversas formas para diferentes necessidades, além de resistirem a cargas bastante altas. O tipo mais comum que se pode notar hoje no mercado são colunas fabricadas com barras de aço soldadas e reforçadas com treliças ou a utilização dos perfis em “T” ou “H” ou outros. A figura 12 apresenta os pilares de uma quadra poliesportiva:



Figura 12: Pilares em aço (Fonte: <http://www.gomezemoraes.com.br/standard.html>, 05/2011)

3.2 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Qualquer construção, por mais simples que seja, exige união de peças entre si. Essa união das peças pode ser móvel ou permanente. Na primeira, os elementos de fixação podem ser colocados ou retirados do conjunto sem causar qualquer tipo de dano às peças que foram unidas. É o caso, por exemplo, de uniões feitas com parafusos, porcas e pinos. Na segunda, os elementos de fixação, uma vez instalados, não podem ser retirados e reaproveitados. É o caso, por exemplo, de uniões feitas com rebites e soldas. (FERRAZ, 01/2011)

3.2.1 Parafusos

Parafuso é uma peça formada por um corpo cilíndrico rosqueado e uma cabeça, que pode ter várias formas. Existe um tipo de parafuso para cada aplicação específica, por exemplo, parafusos para madeira, para componentes eletrônicos, para trabalhos pesados, autoperfurantes, dentre outros e em tamanhos tão variados quanto possível. No projeto de uma cobertura se torna bem interessante a utilização destes, pois são mais baratos do que a solda e o tempo de instalação também é muito menor, sem perder em qualidade de fixação. Os parafusos ainda têm outra qualidade que é a de não alterar as propriedades mecânicas do local da junção, como ocorre com a solda. É importante salientar que se o parafuso for de um material diferente daquele, o qual, ele estará unindo, ocorrerá uma oxidação local que poderá se expandir e comprometer toda a estrutura. Isso se dá por causa da troca de elétrons entre os materiais. Nesses casos é comum usar-se um anel de sacrifício, que nada mais é que uma pequena placa de metal, ou arruela, que se oxida no lugar da estrutura. (FERRAZ, 01/2011)



Figura 13: Parafuso Autoperfurante (Fonte: ABCEM, 2009)

3.2.2 Solda

Solda é o processo de união entre duas superfícies, com ou sem a adição de material constitutivo ou aditivo, de modo a formar uma junção que possua as propriedades mecânicas desejáveis ao fim que se destina a obra. Existem diversos tipos de solda destinados a diferentes fins, por exemplo, solda por fusão, MIG, MAG, solda por pontos, à arco elétrico, eletro-escória, eletrodo revestido, dentre outros. (SANTOS, 1977)



Figura 14: Operador utilizando a solda (Fonte: <http://www.dectech.com.br/solda.htm>, 04/2011)

3.2.3 Porcas

Porcas são peças de forma prismática ou cilíndrica, providas de um furo rosqueado onde são atarraxadas ao parafuso ou fuso. São hexagonais, sextavadas, quadradas ou redondas e servem para dar aperto nas uniões de peças ou, em alguns casos, para auxiliar na regulagem. (SENAI-ES – CST, 1996)

A porca castelo é uma porca hexagonal com seis entalhes radiais, coincidentes dois a dois, que se alinham com um furo no parafuso, de modo que uma cupilha possa ser passada para travar a porca. (SENAI-ES – CST, 1996)

Porcas cegas têm uma das extremidades do furo rosqueado encoberta, ocultando a ponta do parafuso. A porca cega pode ser feita de aço ou latão, é geralmente cromada e possibilita um acabamento de boa aparência. (SENAI-ES – CST, 1996)

As porcas sujeitas a cargas de impacto e vibração apresentam tendência a afrouxar, o que pode causar danos às máquinas. Um dos meios de travar uma porca é através do aperto de outra porca contra a primeira, o que recebe o nome de contra-porca. Por medida de economia utiliza-se uma porca mais fina, e para sua travação são necessárias duas chaves de boca. Abaixo está apresentado o posicionamento de uma porca castelo. (SENAI-ES – CST, 1996)

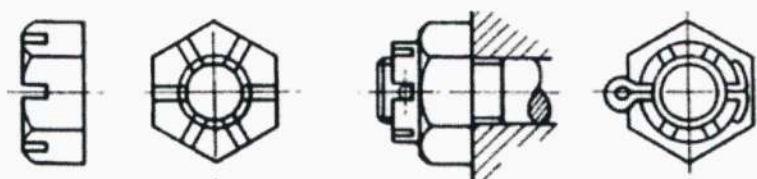


Figura 15: Porca tipo Castelo (Fonte: SENAI-ES – CST, 1996)

Os parafusos e as porcas ainda podem se beneficiar de arroelas para proteger suas superfícies, impedir penetração ou fuga de fluidos, evitar afrouxamento da porca, dentre outros.

3.2.4 Rebites

O rebite possui corpo cilíndrico e cabeça, sendo fabricado em aço (comum, inox, etc), alumínio, cobre ou latão. É usado para fixação permanente de duas ou mais peças. Em geral, seu emprego se dá em situações onde não é possível usar solda por um ou mais motivos: tipo de material, não admissão de tensões provenientes da solda, facilidade do processo de fabricação, etc. Na indústria aplica-se principalmente em: estruturas metálicas, reservatórios, caldeiras, máquinas, navios, aviões, veículos de transporte e treliças. (FERRAZ, 01/2011)

Um outro ponto interessante é que quando o rebite preenche o espaço do furo ele veda o orifício tornando-o estanque.

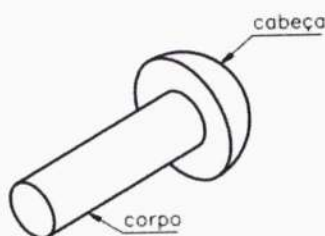


Figura 16: Exemplo de rebite (Fonte: FERRAZ, 01/2011)

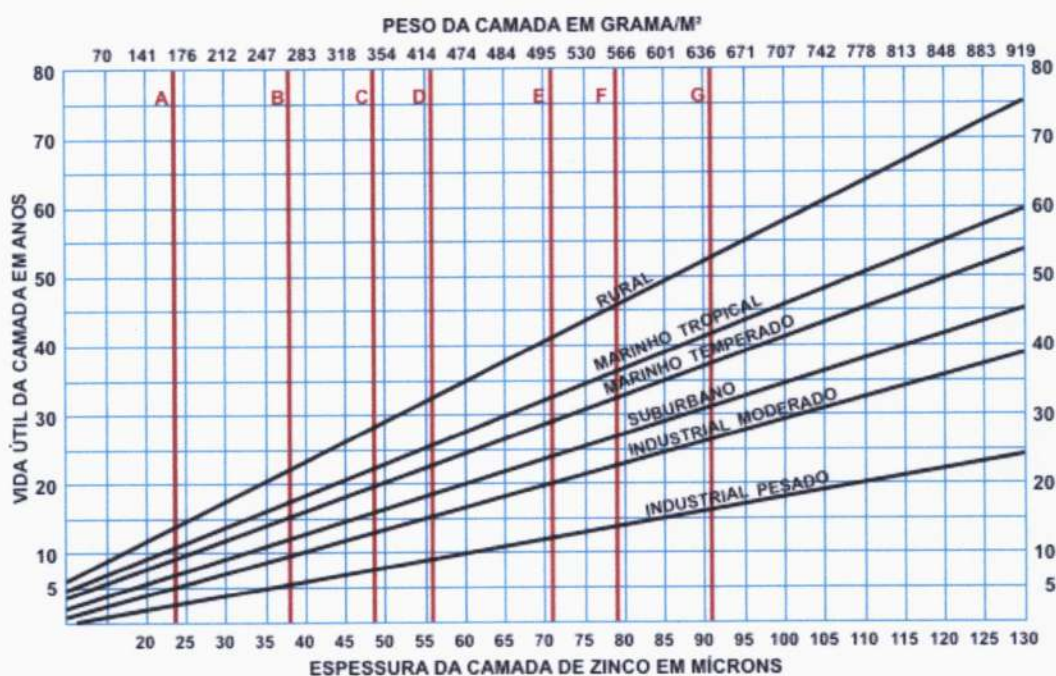
Ainda existem vários outros tipos de elementos de fixação, mas não se faz necessário mencionar todos eles. As informações aqui contidas já são suficientes para dar continuidade ao projeto.

3.3 Telhas

As telhas darão a proteção pretendida ao se construir uma cobertura em aço, daí sua importância. São as telhas que repelirão o calor nos dias quentes, que darão abrigo nos dias chuvosos e conservarão os equipamentos e materiais sob elas, seja em galpões, postos de

gasolina, garagens, residências, prédios ou qualquer outro. Elas podem ser fabricadas dos mais diferentes materiais sendo as mais comuns em aço, amianto (que está caindo em desuso por apresentar substâncias tóxicas), argila (chamadas telhas coloniais), alumínio, etc.. Neste trabalho de conclusão de curso nos concentraremos nas de aço. As telhas fabricadas em aço galvanizado tem uma longa vida útil devido a sua oxidação lenta e apresentam algumas vantagens, por exemplo, variedade de forma, ação anti-abrasiva e barateamento do custo devido à expansão do mercado. Através de gráfico 1 é possível avaliar a vida útil do aço galvanizado em diferentes ambientes: (Manual Técnico Telhas de aço, ABCEM, 2009)

Gráfico 1: Vida útil do aço galvanizado em função da espessura da camada de proteção de Zinco



Fonte: Indústria de Importação e Exportação TAHITI LTDA, 04/2011.

Os tipos de telhas mais comumente encontradas são as trapezoidais e as onduladas. Os perfis trapezoidais ou ondulados são fabricados a partir de bobinas de aço previamente zincadas, através de um processo contínuo em equipamentos de rolos de perfilação. Nesse método de fabricação, a bobina de aço é desenrolada a uma velocidade de até 60 metros por minuto. A seguir ela é perfilada, cortada no comprimento, empilhada, e finalmente, embalada.

Estes perfis podem ser fabricados com até 12 metros de comprimento (ou até maiores, sob consulta prévia). (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)



Figura 17: Perfilação das folhas de aço (Fonte: ABCEM, 2009)



Figura 18: Bobinas de aço ao fundo e perfilação das folhas de aço à frente (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.1 Telhas Onduladas

Além da forma geométrica, o que usualmente também distingue as telhas onduladas de aço é a sua baixa altura, quando comparadas com as telhas de perfil trapezoidal, uma telha ondulada, que siga o padrão da NBR 14513 - Telhas de aço revestido de seção ondulada, deve ter 18 mm de altura. A altura reduzida torna este perfil flexível, motivo pelo qual ele é muito utilizado em coberturas arqueadas, uma vez que ele se acomoda mais facilmente à curvatura do telhado, sem sofrer deformações ou exigir um esforço maior dos montadores. Telhas onduladas também encontram aplicação preferencial em coberturas com bom caimento, em galpões rurais de pequeno porte e em silos de armazenagem de grãos com formas curvas.

Mais recentemente estão sendo redescobertas pela arquitetura de fachadas que as tem utilizado na horizontal e em cores fortes ou metálicas. Podem ser fornecidas também perfuradas para uso como máscaras sombreadoras em fachadas sujeitas a muita incidência do sol. Na figura abaixo podem ser vistas as dimensões de uma telha ondulada. A Tabela 8 que segue, é utilizada para encontrar o perfil de telha mais apropriado para o projeto de uma cobertura, levando em conta a carga à qual ela estará submetida (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

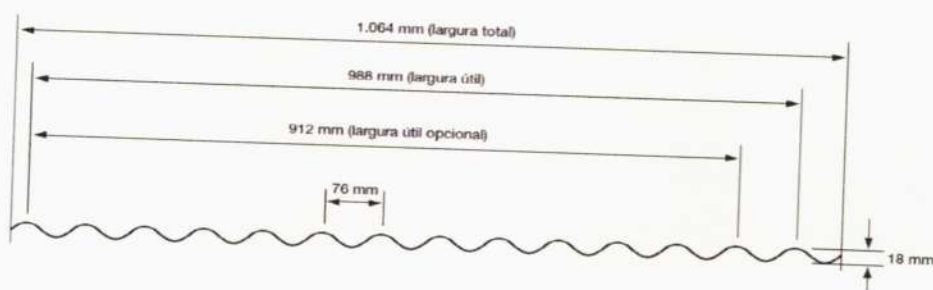


Figura 19: Dimensões da telha ondulada segundo NBR 14513 (Fonte: ABCEM, 2009)

Tabela 8: Cargas admissíveis para telhas onduladas (Kgf./m²) – Telhas revestidas de Zinco

Esp. (mm)	Peso* (kg/m ²)	Peso (kg/ml)	I (cm ⁴ /m) Momento De inércia	W (cm ³ /m) Módulo resistente	Nº de apoios	Distância entre Apoios (mm)									
						1500		1750		2000		2250		2500	
						F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43	4,66	4,13	1,7236	1,970	2	65	41	41	25	27	17	19	13	14	8
					3	98	97	71	61	55	41	43	29	34	21
					4	122	77	78	49	52	33	36	22	26	16
0,50	5,42	4,80	1,9881	2,272	2	76	48	48	30	32	20	22	13	17	10
					3	113	112	83	71	64	47	50	33	38	24
					4	141	89	90	56	60	37	43	26	31	20
0,65	7,05	6,24	2,5400	2,903	2	97	61	61	38	41	26	29	17	21	13
					3	144	144	106	90	81	61	64	42	49	31
					4	181	115	115	72	77	48	53	34	39	25
0,80	8,67	7,68	3,0725	3,511	2	117	74	74	46	49	31	34	22	26	15
					3	175	173	128	109	98	73	78	51	60	37
					4	218	138	140	87	93	58	66	41	47	30
0,95	10,30	9,12	3,5857	4,098	2	137	85	86	54	58	36	41	25	29	18
					3	203	203	150	128	114	84	90	60	70	44
					4	254	162	163	102	109	68	76	48	56	35
1,25	13,55	12,00	4,5564	5,207	2	174	109	110	69	73	46	52	32	37	24
					3	259	258	190	163	146	109	115	78	89	56
					4	323	206	207	129	139	86	97	61	71	44

* - Incluindo sobreposição (Larg. útil de 912 mm)

F - Fechamento C - Cobertura

Fonte: ABCEM, 2009

3.3.1.1 Montagem

A próxima figura indica como deverá ser feita a montagem das telhas onduladas:

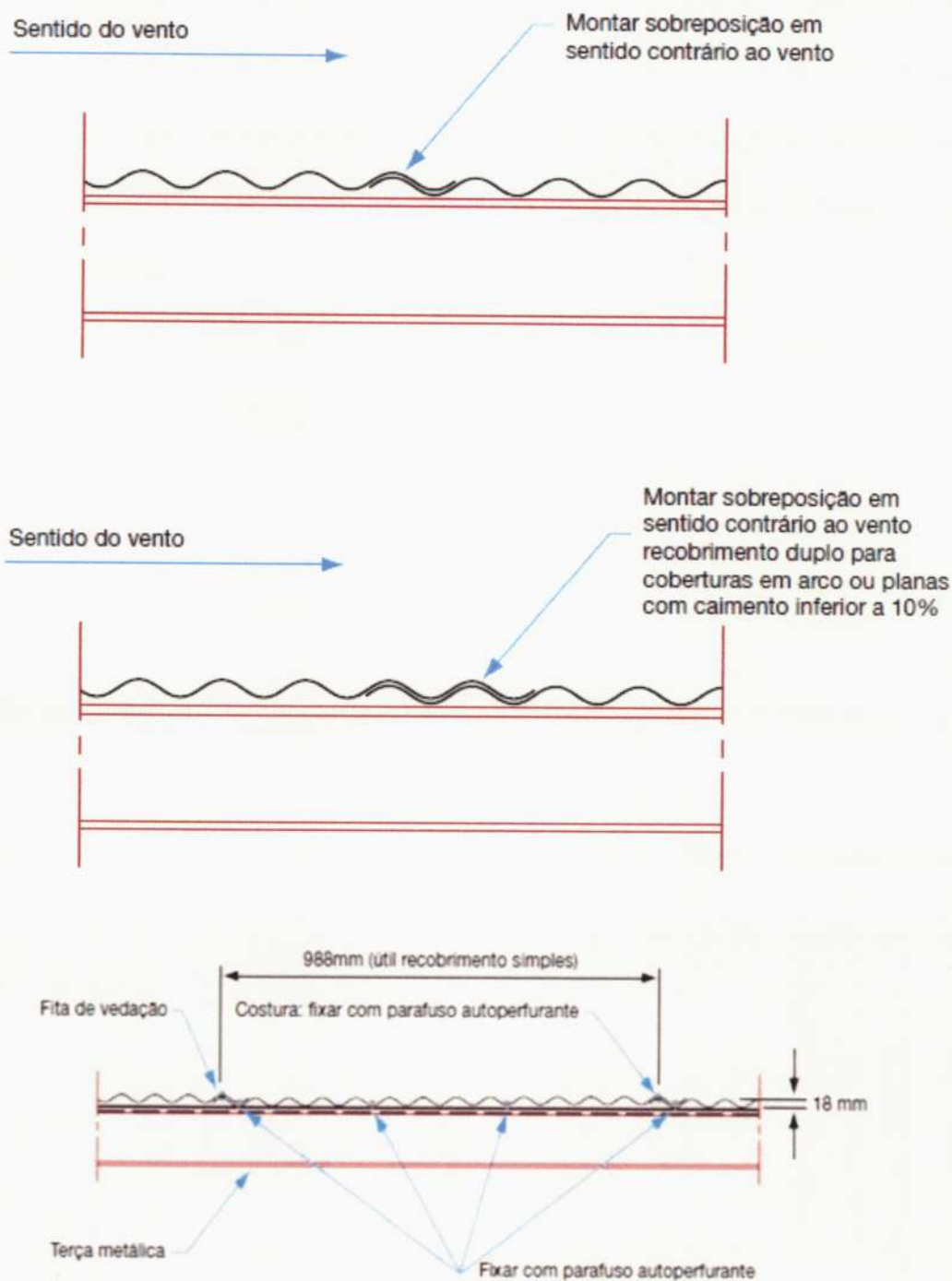


Figura 20: Montagem do telhado – telhas onduladas (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.2 Telhas Trapezoidais

As telhas trapezoidais apresentam uma grande diversidade de tipos. Em função da altura do trapézio, pode-se obter o melhor desempenho de qualidade em relação ao projeto especificado, colocando assim, um grande potencial de criação nas mãos dos arquitetos e projetistas. Obras industriais de grande porte utilizam em grande escala as telhas trapezoidais, pois podem possibilitar à racionalização de layout interno, como também a redução do tempo de construção, premissas da construção em aço, aliando-se aqueles dois fatores, a durabilidade da edificação. Com auxílio da figura 21 podem ser vistas as dimensões das telhas trapezoidais. Na tabela 9 encontram-se as cargas admissíveis para dimensionamento. (Manual Técnico Telhas de Aço ABCEM, 2009)



Figura 21: Dimensões da telha Trapezoidal segundo NBR – 14514 (Fonte: ABCEM, 2009)

Tabela 9: Cargas admissíveis para telhas trapezoidais (Kgf./m²) – Telhas revestidas de Zinco

Esp. (mm)	Peso* (kg/m ²)	Peso (kg/ml)	I (cm ⁴ /m)	W (cm ³ /m)	Nº de apoios	Distância entre Apoios (mm)											
						1750		2000		2250		2500		2750		3000	
						F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43	4,17	4,13	10,4898	3,746	2	137	137	105	105	83	74	67	54	56	41	47	31
					3	137	137	105	105	83	83	67	67	56	56	47	47
					4	171	171	131	131	104	104	84	84	69	69	58	58
0,50	4,85	4,80	12,1631	4,344	2	159	159	122	122	96	86	78	63	64	47	54	36
					3	159	159	122	122	96	96	78	78	64	64	54	54
					4	199	199	152	152	120	120	97	97	80	80	68	68
0,65	6,30	6,24	15,7169	5,613	2	205	205	157	157	124	111	100	81	83	61	70	47
					3	205	205	157	157	124	124	100	100	83	83	70	70
					4	256	256	196	196	155	155	126	126	104	104	87	87
0,80	7,76	7,68	19,2278	6,867	2	251	251	192	192	152	136	123	99	102	75	85	58
					3	251	251	192	192	152	152	123	123	102	102	85	85
					4	314	314	240	240	190	190	154	154	127	127	107	107
0,95	9,21	9,12	22,6961	8,106	2	296	296	227	227	179	161	145	117	120	88	101	68
					3	296	296	227	227	179	179	145	145	120	120	101	101
					4	370	370	284	284	224	224	182	182	150	150	126	126
1,25	12,12	12,00	29,5074	10,538	2	385	385	295	295	233	209	189	153	156	114	131	88
					3	385	385	295	295	233	233	189	189	156	156	131	131
					4	482	482	369	369	291	291	236	236	195	195	164	164

* - Incluindo sobreposição (Larg. útil de 980 mm)

F - Fechamento C - Cobertura

Fonte: ABCEM, 2009

3.3.2.1 Montagem

A figura 22 mostra o esquema de montagem das telhas trapezoidais:

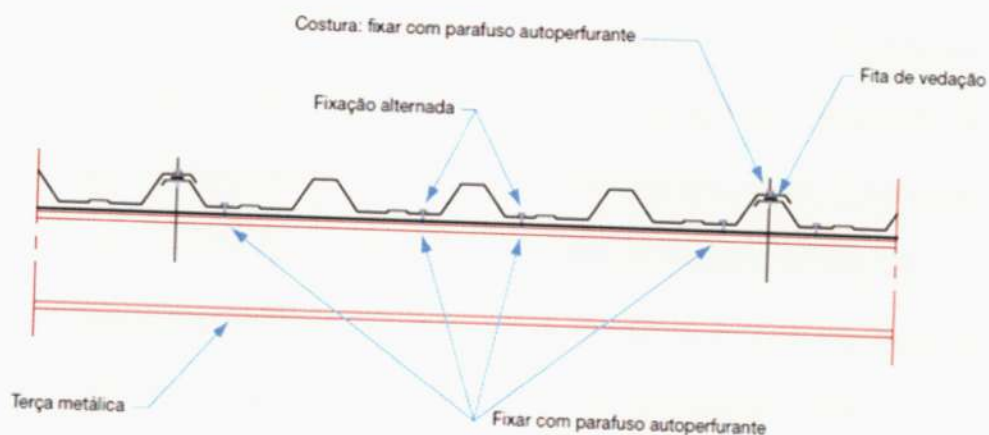


Figura 22: Montagem do telhado – telhas trapezoidais (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.3 Telhas Zipadas

No sistema de cobertura zipada, as telhas são fabricadas no canteiro de obra utilizando uma perfiladeira especial portátil. Uma vez que não há o transporte de telhas, estas podem ser produzidas com grandes comprimentos, o que permite a montagem de uma única peça do ponto mais alto do telhado (cumeeira) até o ponto mais baixo (beiral) sem a necessidade de emendas ou de sobreposição de peças. Além disso, duas telhas contíguas são unidas ao longo do seu comprimento pela “costura” mecânica, ou zipagem, das suas abas de sobreposição lateral, sem o uso de parafusos, os quais também não perfuram a chapa de aço para fixá-las à estrutura. Uma peça especial chamada clip, faz a ligação da telha zipada com a estrutura de apoio. Embora o clip seja fixado à estrutura com um parafuso, a sua união com a telha é garantida também pela zipagem. Como consequência deste processo, se obtém um revestimento sobre o telhado que não apresenta parafusos aparentes ou perfurações, o que garante uma excepcional estanqueidade para o sistema. Coberturas zipadas podem ser também termoacústicas, havendo diversas soluções possíveis para tanto e a mais usual é o emprego de sistema sanduíche formado por uma base em telha trapezoidal comum,

espaçadores metálicos, isolamento com mantas de lã de vidro ou lã de rocha e, posteriormente, as telhas zipadas. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

As telhas zipadas foram projetadas para uso em grandes coberturas, com extensões de captação de água a partir de 40 m, havendo casos de telhas zipadas com 60 ou até 120 m de comprimento em uma única peça. São também ideais para coberturas planas com pequenas inclinações, de até 2 %. Por sua própria natureza, elas necessitam de uma área razoável no canteiro da obra para fabricação e uma equipe mais numerosa de pessoas para manuseio das peças de grande comprimento. Os clips para fixação das telhas zipadas na estrutura da cobertura devem ser do tipo deslizante para permitir a contração e expansão da chapa de aço com as variações de temperatura. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

A figura 23 exibe uma cobertura onde foi aplicado o tipo de telha chamada zipada e na figura 24 observa-se um trabalhador montando o isolamento termoacústico conhecido como sistema sanduíche:



Figura 23: Telhas zipadas (Fonte: ABCEM, 2009)



Figura 24: Montagem sistema sanduíche com telha trapezoidal e telha zipada (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.4 Telhas Autoportantes

São telhas de perfis bastante altos (100/400 mm), que devido às suas características proporcionam o aumento do espaçamento entre um apoio e outro (terças). Com a utilização desse sistema, é possível construir estruturas com até 25m de vão livre entre terças. A economia final da obra pode ser “às vezes maximizada”, pois, apesar do custo elevado economiza-se com estrutura. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.3.5 Telhas Curvas

Telhas curvas são telhas que já saem do fabricante arqueadas conforme um padrão solicitado pelo cliente para atender a necessidades específicas: fazer um canto curvo em um fechamento lateral, fazer um encontro arredondado entre uma cobertura e uma fachada, cobrir um telhado em arco cujo raio é menor do que o suportado por uma telha plana, obter um efeito especial em um projeto de arquitetura, etc. As telhas curvas podem ser de dois tipos (descritos nos próximos itens), dependendo da forma como se obtém a curvatura do perfil metálico: (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.3.5.1 Telhas Calandradas

As telhas calandradas recebem a sua curvatura ao passarem por uma calandra, equipamento que vai arqueando a peça gradualmente a cada passagem. Quanto menor o raio de curvatura, mais passagens podem ser necessárias. Para manter a esquadria da telha, ela é passada pela calandra alternadamente pelas suas duas extremidades, desta forma, não é possível ter trechos retos em uma telha calandrada, ela é totalmente curva, de ponta a ponta. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O raio pode ser bastante variado a partir de um mínimo estabelecido pelo fabricante para cada espessura de chapa de aço, usualmente 0,65 ou 0,80 mm. O aspecto superficial da

telha calandrada é lisa e uniforme, o mesmo do perfil que lhe deu origem, normalmente uma telha com 18 ou 25 mm de altura. Recomenda-se que o comprimento das telhas não seja maior do que 8,00 m em decorrência da dificuldade de se manusear grandes peças curvas na obra e pelos custos de frete e embalagem. A Figura abaixo exhibe uma estrutura de cobertura que utiliza telhas calandradas. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)



Figura 25: Passarela com telhas calandradas (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.5.2 Telhas Multidobras

A curvatura das telhas multidobra é obtida ao se fazerem dobras transversais no perfil da chapa de aço. A cada nervura feita, a telha é ligeiramente arqueada, e este processo repetido a intervalos que podem ser regulares ou não, permite a produção de telhas com raio variável e trechos retos, se necessário, desta forma propiciando aos projetistas um produto de uso altamente flexível do ponto de vista arquitetônico ou de engenharia. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O raio de curvatura mínimo é usualmente reduzido, podendo ser da ordem de 300 mm, dependendo do fabricante e a espessura mínima da chapa de aço, normalmente recomendada,

é de 0,50 mm. O processo de multidobragem é aplicado em telhas mais altas, entre 30 e 40 mm de altura e seu aspecto, ao contrário das telhas calandradas, não é liso, pois apresenta as características nervuras transversais na chapa de aço, nas áreas em que foram curvadas. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

Como toda telha previamente curvada, as telhas multidobra devem preferencialmente ser encomendadas com comprimentos menores do que as telhas planas comuns, sugere-se o limite de 6,00 m por conta de dificuldades com frete, embalagem e, mais importante, manuseio no canteiro de obra. Pode ser visto na figura que se segue um exemplo de aplicação de telhas multidobras. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)



Figura 26: Expresso Tiradentes (SP) – Telha Multidobra (Fonte ABCEM, 2009)

3.3.6 Telhas para Isolamento Termoacústico ou Térmico

As telhas metálicas podem ser fornecidas com isolamento termoacústico, proporcionando redução do ruído externo e alto isolamento térmico para as coberturas e fechamentos. O isolamento térmico varia de acordo com os materiais utilizados. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O coeficiente global de transmissão de calor permite a comparação dos diversos materiais quanto ao seu desempenho no isolamento térmico. Para o seu cálculo é utilizado, entre outros fatores, a condutividade térmica (U), que é função do material e de sua espessura. Quanto menor o valor do coeficiente global de transmissão, melhor o seu isolamento térmico. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.3.6.1 Telhas Termoacústicas com EPS (Poliestireno)

É constituída de duas telhas trapezoidais com núcleo de EPS expandido, formando uma espécie de sanduíche. É utilizada quando se deseja uma telha com bom desempenho termo-acústico a um custo menor, comparativamente às telhas com isolamento de poliuretano. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O EPS é colocado entre as duas telhas, formando um conjunto com grande rigidez. Utiliza-se o poliestireno com densidade de 13 ou 20 kg/m³, com coeficiente de condutividade térmica $U = 0,039$ kcal/mh^{°c} (densidade 13 kg/m³) ou $U = 0,032$ kcal/mh^{°c} (densidade 20 kg/m³) à temperatura ambiente de 25°. Consegue-se desta maneira uma telha com boa resistência térmica e boa redução do ruído externo. As telhas sanduíche com núcleo de poliestireno são leves e não sobrecarregam as estruturas de sustentação. A figura 27 apresenta um perfil genérico da telha termoacústica, já a figura 28 seu esquema de montagem. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

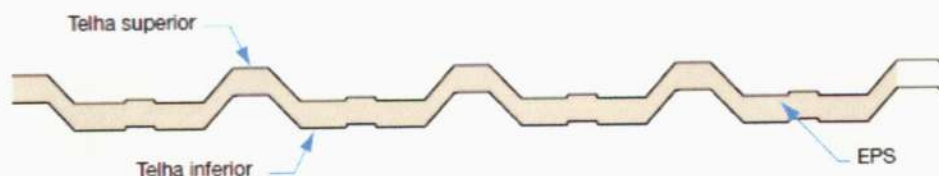


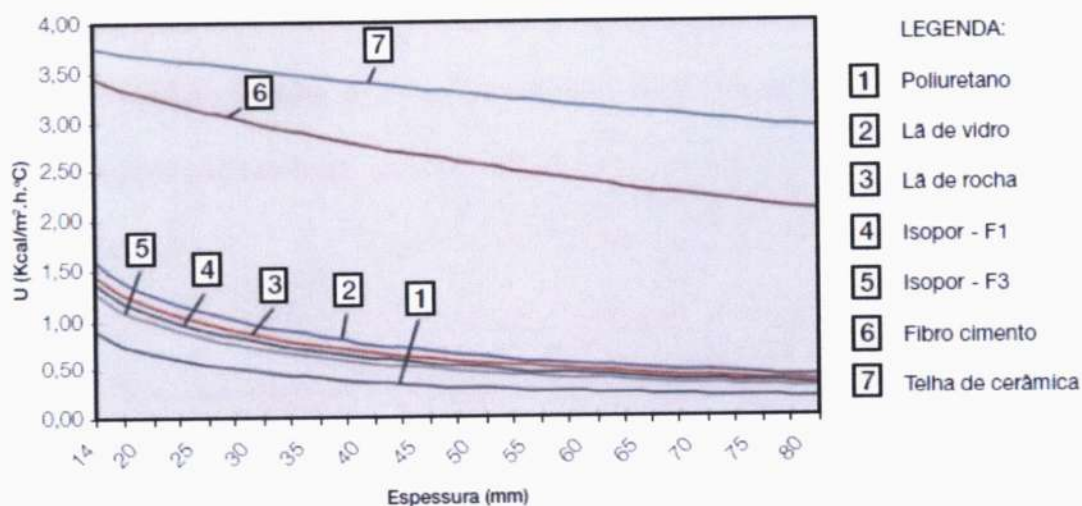
Figura 27: Perfil genérico da telha termoacústica com EPS (Fonte: ABCEM, 2009)



Figura 28: Montagem da telha termoacústica com EPS (Fonte: ABCEM, 2009)

É apresentado no gráfico 3 o valor da condutibilidade térmica (U) de vários materiais. Essa condutibilidade térmica é o que define a eficiência de um material quanto ao isolamento termoacústico.

Gráfico 3: Condutibilidade térmica - U



Fonte: ABCEM, 2009

3.3.6.2 Telhas Termoacústicas com Poliuretano

São constituídas de duas telhas trapezoidais com núcleo em poliuretano expandido, formando um conjunto rígido. São utilizadas quando a aplicação exige um excelente desempenho termoacústico, que é obtido através do uso do poliuretano, material que possui a

melhor capacidade isolante entre os diversos materiais existentes. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O poliuretano é injetado entre as duas telhas, formando um conjunto com grande rigidez, que é obtido pela aderência entre as telhas e o poliuretano expandido. Utiliza-se o poliuretano com densidade de 35 a 40 kg/m³ com coeficiente de condutividade térmica $U = 0,016 \text{ kcal/mh}^\circ\text{c}$. Consegue-se desta maneira uma telha com alta resistência térmica e grande redução do ruído externo. Sob consulta, pode-se aumentar a espessura do poliuretano para atender a projetos específicos que requeiram isolamentos mais rigorosos. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

Por se tratar de material pré-fabricado, é entregue na obra pronto para ser utilizado, facilitando o trabalho de montagem. A grande rigidez e resistência mecânica possibilitam a utilização em vãos de até 4.000 mm entre apoios. As telhas sanduíches com núcleo de poliuretano são leves e não sobrecarregam as estruturas de sustentação. As figuras a seguir, 29 e 30 exibem, respectivamente, a ilustração da telha e o sistema de montagem da mesma. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

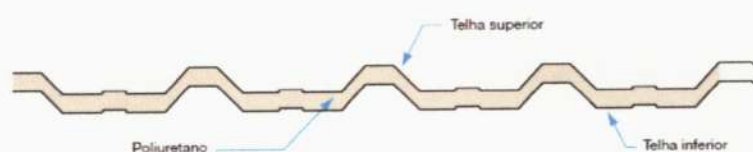


Figura 29: Telha Trapezoidal com Poliuretano (Fonte: ABCEM, 2009)

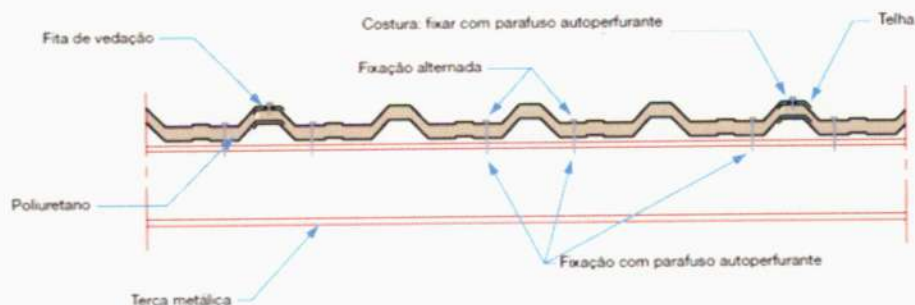


Figura 30: Montagem da telha Trapezoidal com Poliuretano (Fonte: ABCEM, 2009)

Tabela 10: Características Térmicas do PUR

Espessura do Poliuretano (mm)	U (Kcal/m²h°C)
30(*)	0,47
40	0,36
50	0,30
60	0,25

(*) Espessura padrão

U = Condutividade térmica global das telhas

Fonte: ABCEM

Ao verificar a tabela 10 percebe-se que quanto maior for a espessura do isolamento, menor será o coeficiente de condutibilidade térmica.

3.3.6.3 Telhas Termoacústicas com a Face Inferior Plana com Poliuretano

São idênticas às Telhas Termoacústicas com Poliuretano, com exceção que a parte inferior é plana podendo ser revestida com chapa ou PVC em substituição à telha inferior. É utilizada quando a aplicação exige um acabamento interno mais sofisticado e constitui uma excelente alternativa para a arquitetura de interiores. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

Utiliza-se o poliuretano com densidade de 35 a 40 kg/m³ com coeficiente de condutividade térmica $U = 0,016 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ para alta densidade ou $U = 0,030 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ para baixa densidade. Consegue-se desta maneira uma telha com alta resistência térmica e grande redução do ruído externo. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

O poliuretano de alta densidade praticamente não absorve água e é retardante de chamas. As telhas são fabricadas com núcleo isolante com espessura geralmente de 30 mm, porém sob consulta, pode-se aumentar a espessura do poliuretano para atender projetos específicos que requeiram isolamentos mais rigorosos. Abaixo está uma ilustração deste tipo de telha (Fig. 31) e logo após, seu sistema de montagem (Fig. 32): (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

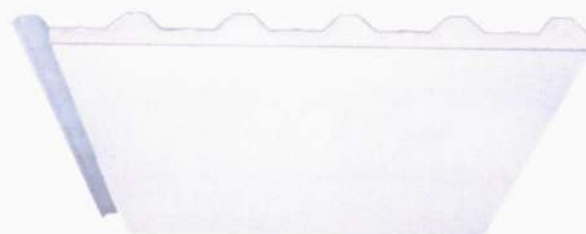


Figura 31: Telha Termoacústica com face plana e com PUR (Fonte: ABCEM, 2009)

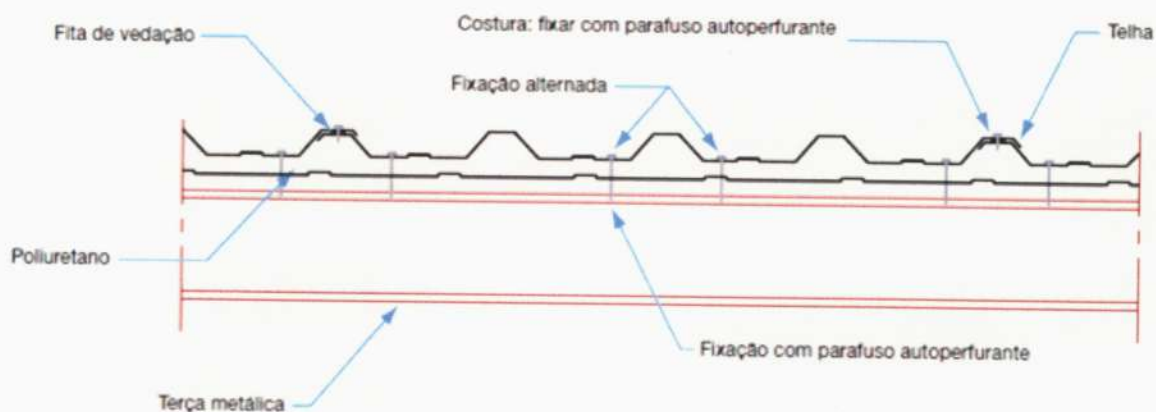


Figura 32: Montagem da telha termoacústica com face plana com PUR (Fonte: ABCEM, 2009)

3.3.6.4 Telhas Termoacústicas com Lã Mineral

Trata-se de um sistema com bom desempenho termoacústico e econômico. Nas telhas termoacústicas com isolamento utilizando lã de vidro ou lã de rocha a montagem do sistema é executada no próprio canteiro de obra. Inicialmente são montadas as telhas inferiores, depois são colocados os espaçadores metálicos e o material isolante e finalmente a telha superior, que completa o “sanduíche”. Utiliza-se normalmente núcleo isolante com lã de vidro de 50 mm de espessura, densidade de 12 kg/m^3 e $U = 0,040/0.050 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. Sob consulta, a lã de vidro pode ser fornecida com outras densidades para atender projetos específicos. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

A lã de vidro é incombustível e biologicamente inerte. Opcionalmente, as telhas podem ser fornecidas utilizando lã de rocha com densidade 48 kg/m^3 e 50 mm de espessura e coeficiente de condutividade térmica $U = 0,035/0.060 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. São fornecidas com

comprimentos de até 12 metros, utilizando perfis trapezoidais ou ondulados. As próximas figuras mostram uma telha trapezoidal com o isolante de lâ mineral (Fig. 33), uma telha ondulada com o mesmo isolante (Fig. 34) e o sistema de montagem da telha trapezoidal com lâ mineral (Fig. 35). (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

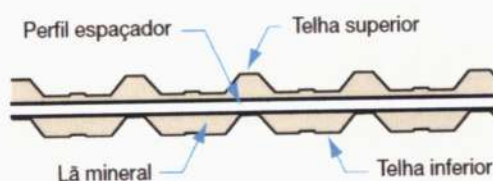


Figura 33: Telha Trapezoidal com Lâ Mineral (Fonte: ABCEM, 2009)

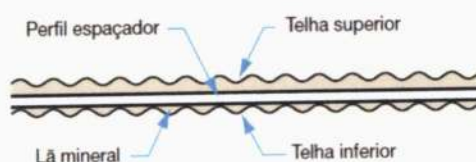


Figura 34: Telha Ondulada com Lâ Mineral (Fonte: ABCEM, 2009)



Figura 35: Montagem da Telha Trapezoidal com Lâ Mineral (Fonte: ABCEM, 2009)

Com o auxílio da tabela 11 a seguir é possível verificar o material com o menor fator de condutibilidade térmica, logo, o que melhor serve como um isolante termoacústico:

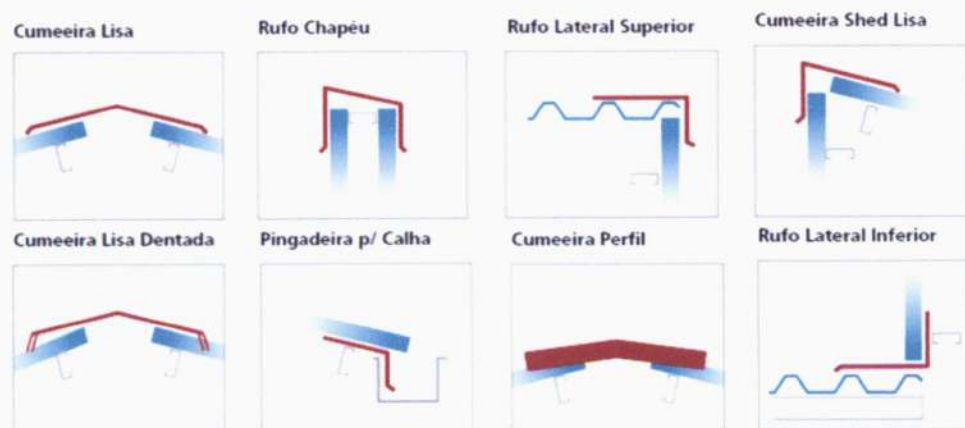
Tabela 11: Comparativo do Fator de Condutibilidade Térmica Entre os Materiais

Esquema de consulta à tabela:		Material															
Material de referência	Fator	Material	Políuretano	Políuretano	Lã de Vidro	Lã de Vidro	Lã de Vidro	Lã de Rocha	Lã de Rocha	EPS-F1	EPS-F1	EPS-F1	EPS-F3	EPS-F3	EPS-F3	Fibrocimento	Cerâmica
		ESP (mm)	30	50	40	50	75	50	75	14	35	48	14	35	48	8	20,4
Material	U - (kcal/m².h.°C)	U	0,47	0,30	0,75	0,62	0,44	0,55	0,39	1,36	0,69	0,53	1,27	0,63	0,50	3,66	3,66
Políuretano	30	0,47		37%	-60%	-33%	7%	-17%	18%	-190%	-46%	-13%	-170%	-33%	-7%	-679%	-678%
Políuretano	50	0,30	-59%		-154%	-111%	-48%	-86%	-30%	-361%	-132%	-79%	-328%	-111%	-70%	-1137%	-1135%
Lã de Vidro	40	0,75	37%	61%		17%	42%	27%	49%	-82%	9%	29%	-69%	17%	33%	-388%	-387%
Lã de Vidro	50	0,62	25%	53%	-20%		30%	12%	38%	-119%	-10%	15%	-103%	0%	19%	-487%	-486%
Lã de Vidro	75	0,44	-7%	33%	-71%	-42%		-26%	12%	-211%	-56%	-21%	-189%	-43%	-15%	-735%	-733%
Lã de Rocha	50	0,55	15%	46%	-36%	-13%	20%		30%	-147%	-24%	4%	-130%	-14%	8%	-564%	-563%
Lã de Rocha	75	0,39	-22%	23%	-95%	-62%	-14%	-43%		-254%	-78%	-37%	-229%	-63%	-31%	-851%	-849%
EPS-F1	14	1,36	66%	78%	45%	54%	68%	60%	72%		50%	61%	7%	54%	63%	-169%	-168%
EPS-F1	35	0,69	31%	57%	-9%	9%	36%	20%	44%	-99%		23%	-85%	9%	26%	-434%	-433%
EPS-F1	48	0,53	11%	44%	-42%	-18%	17%	-4%	27%	-158%	-30%		-139%	-18%	5%	-592%	-591%
EPS-F3	14	1,27	63%	77%	41%	51%	65%	56%	70%	-8%	46%	58%		51%	60%	-189%	-189%
EPS-F3	35	0,63	25%	53%	-20%	0%	30%	12%	38%	-118%	-10%	15%	-102%		19%	-485%	-484%
EPS-F3	48	0,50	7%	41%	-49%	-24%	13%	-9%	24%	-170%	-36%	-5%	-151%	-24%		-626%	-625%
Fibrocimento	8	3,66	87%	92%	80%	83%	88%	85%	89%	63%	81%	86%	65%	83%	86%		0%
Cerâmica	20	3,66	87%	92%	79%	83%	88%	85%	89%	63%	81%	86%	65%	83%	86%	0%	

Fonte: ABCEM (2009)

3.4 ARREMATES

Arremates, como o próprio nome sugere, são os detalhes finais que compõem a cobertura, por exemplo, o tipo de cumeeira. Abaixo temos figuras ilustrativas dos diferentes tipos de arremates. (Manual Técnico Telas de Aço, ABCEM, 2009)

**Figura 36:** Desenhos representativos dos tipos de Arremates (Fonte: ABCEM, 2009)

3.5 ACESSÓRIOS

A qualidade das telhas utilizadas não garante por si só uma boa cobertura, com vedação e durabilidade adequadas. Deve-se toda a linha de acessórios e vedações complementares para garantirmos um alto índice de qualidade. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.5.1 Fita de Vedação

Deve sempre ser utilizado na sobreposição transversal e na longitudinal em situações mais críticas. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.5.2 Fechamento de Onda

Utiliza-se na linha de calha e nas cumeeiras para evitar infiltrações e entrada de aves. A figura 37 exibe um fechamento de onda. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)



Figura 37: Fechamento de Onda (Fonte: ABCEM, 2009)

3.5.3 Ganchos e Calços

Se forem necessários, deve-se selecionar um material de boa qualidade, com garantia de galvanização e durabilidade. Geralmente não precisam ser utilizados. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.5.4 Massa Poliuretânica

É utilizada como elemento de vedação em locais onde o arremate se torna difícil e em encontros especiais. É um ótimo elemento de vedação e ainda termo-acústico, porém, é mais

caro, por isso deve-se preferir sempre o arremate, a não ser em casos específicos. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.5.5 Telhas Translúcidas

Este tipo de telha tem a função de permitir a passagem de claridade através dela, como uma forma de economizar energia elétrica. A seleção do tipo deve ser feita conforme a conveniência técnica (fibra de vidro, PVC, policarbonato). Nestes casos devemos nos atentar para o tipo de fixação adequado, conforme especificação do fabricante. (Manual Técnico Telhas de Aço, ABCEM, 2009)

3.6 TELHADO

CARDOSO (2000) caracteriza o telhado como sendo um revestimento descontínuo constituído de materiais capazes de prover estanqueidade à água de chuva, repousados ou fixados sobre uma estruturação leve.

De uma maneira mais clara o telhado é reconhecido por ter a capacidade de captar e distribuir as águas da chuva, além de ter um ou mais planos inclinados (chamados águas) em relação ao eixo horizontal, diferente das cúpulas e das lajes planas, por exemplo.

Um telhado pode ter diferentes formas e inclinações de acordo com o projeto bem como a incidência do vento. Nas figuras 38, 39, 40 e 41 estão alguns tipos mais comuns de telhados:

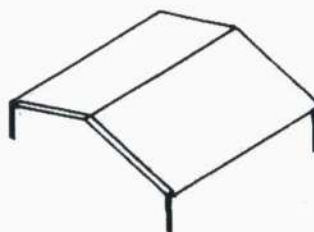


Figura 38: Telhado de duas meias-águas (Fonte: LACERDA, 2004)

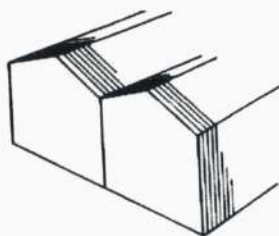


Figura 39: Germinado (Fonte: LACERDA, 2004)

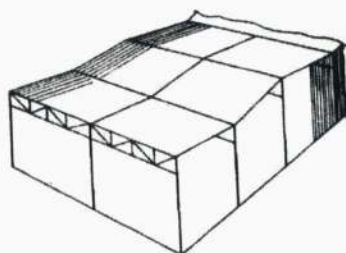


Figura 40: Germinado com meias-águas no sentido transversal (Fonte: LACERDA, 2004)

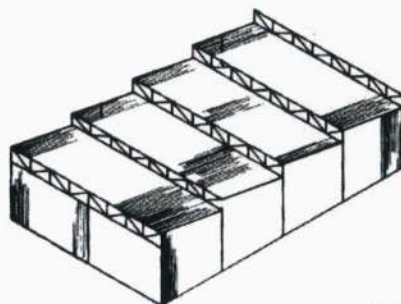


Figura 41: Galpão tipo Shed (Fonte: LACERDA, 2004)

3.7 TESOURAS

Tesouras podem ser definidas como uma treliça plana destinada ao suporte de uma cobertura. São elas que dão forma à cobertura (duas águas, uma água, etc.). Sobre as tesouras apóiam-se as terças, que são barras para sustentação das telhas. Os tipos mais comuns de tesouras estão ilustrados na figura 42: (LACERDA, 2004)

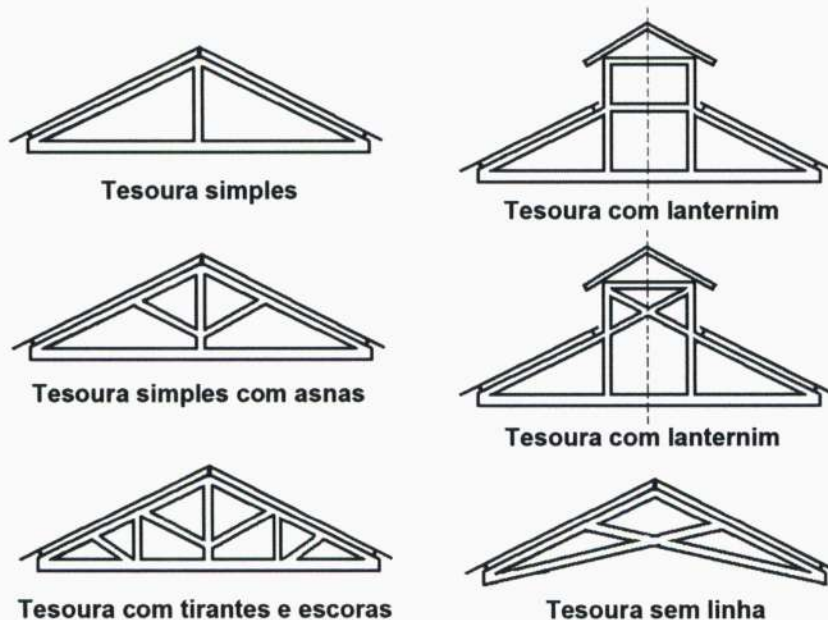


Figura 42: Diferentes tipos de Tesouras (Fonte: LACERDA, 2004)

3.8 TRELIÇAS

SANTOS (1977) define treliça como vigas compostas de duas partes retas que são os banzos superior e inferior, os quais podem ser constituídos de partes de cantoneiras, perfis “U”, perfis “T” cortados ao meio, perfil “H” cortado ao meio ou perfil “T”, conseguido através da composição de uma chapa de alma e uma chapa para aba e da parte interna constituída normalmente por cantoneiras dispostas em forma de triângulos. As figuras abaixo ilustram diferentes tipos de treliças:



Figura 43: Treliça Pratt com apoio no banzo superior (Fonte: LACERDA, 2004)

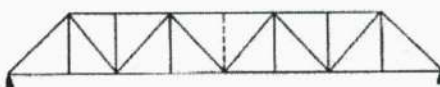


Figura 44: Treliça Warren com apoio no banzo inferior (Fonte: LACERDA, 2004)

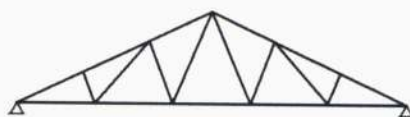


Figura 45: Treliça tipo Belga recomendadas para vãos entre 20 e 30 m. (Fonte: Próprio)

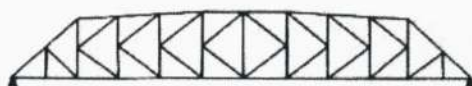


Figura 46: Treliça "K" com apoio no banzo inferior (Fonte: LACERDA, 2004)

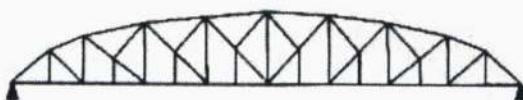


Figura 47: Treliça Pettit (Fonte: LACERDA, 2004)



Figura 48: Treliça Pratt duas águas (LACERDA, 2004)

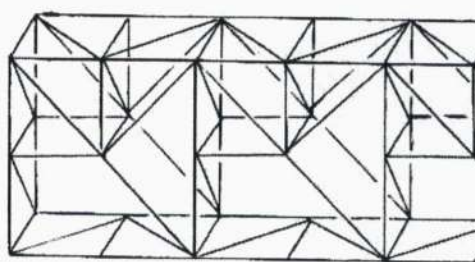


Figura 49: Treliça tipo espacial (Fonte: LACERDA, 2004)

Existem três tipos de vínculos estruturais analisados em Resistência dos Materiais, os quais estão apresentados no final deste capítulo, logo abaixo:

1. Estruturas Hipostáticas - As estruturas Hipostáticas não são estáveis, não possuem equilíbrio estático, tendo por isso algum movimento (grau de liberdade) não restringido. De

um modo geral, essas estruturas possuem um número de reações de apoio inferior ao número de equações de equilíbrio estático (Fig. 50). (Romão, 02/2011)



Figura 50: Estrutura Hipostática (Fonte: <http://www.fec.unicamp.br>, 02/2011)

2. Estruturas Isostáticas - As estruturas Isostáticas têm o número de reações estritamente necessário para impedir qualquer movimento. As reações estão eficazmente dispostas de forma a restringir os possíveis movimentos da estrutura (Fig. 51). (Romão, 02/2011)

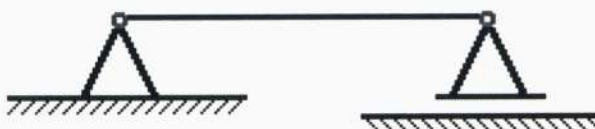


Figura 51: Estrutura Isostática (Fonte: <http://www.fec.unicamp.br>, 02/2011)

3. Estruturas Hiperestáticas - As estruturas Hiperestáticas têm o número de reações superior ao estritamente necessário para impedir qualquer movimento. Verifica-se, então, a possibilidade de, ao serem criteriosamente retiradas determinadas reações, estas estruturas continuarem a não apresentar movimento e serem, portanto, estáveis (Fig. 52). (Romão 02/2011)



Figura 52: Estrutura Hiperestática (Fonte: <http://www.fec.unicamp.br>, 02/2011)

CAPÍTULO 4 – DEFORMAÇÃO

BEER, JOHNSTON (1995) definem a deformação específica normal de uma barra sob carga axial como a deformação por unidade de comprimento desta barra. Se expressa a deformação específica normal por ε (letra grega épsilon) e sua equação está representada pela equação 1. A figura abaixo exibe uma barra sendo solicitada e alongada axialmente:

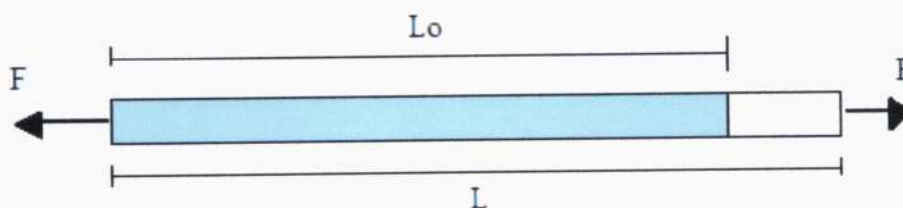


Figura 53: Representação gráfica de deformação linear (Fonte: Próprio)

Se L_0 é o comprimento inicial e L é o comprimento final do corpo sob tração, o alongamento é $\Delta L = L - L_0$ e o alongamento por unidade de comprimento, chamado deformação linear, é definido como: (BEER, JOHNSTON, 1995)

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

1. ε = deformação linear;
2. L = comprimento final;
3. L_0 = comprimento inicial.

4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Nesse ensaio se usa comumente um corpo de prova típico do material. A área da seção transversal da parte cilíndrica central é medida cuidadosamente e duas marcas são desenhadas

no corpo do cilindro, separadas e uma distância L_0 . O corpo de prova é levado à máquina de teste, que é usada para aplicar a carga centrada. À medida que aumenta a carga também aumenta a distância L_0 entre as marcas. Com esse ensaio de tração obtém-se o diagrama tensão-deformação, representado pela figura 54: (BEER, JONHSTON, 1995)

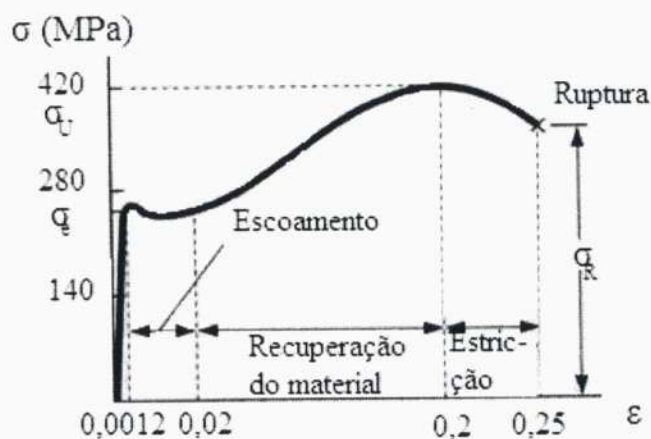


Figura 54: Diagrama Tensão x Deformação (Fonte: BEER, JONHSTON, 1995)

O diagrama acima apresenta o ensaio de tração de um aço com baixo teor de carbono. A parte inicial do mesmo é uma linha reta com grande coeficiente angular. Entretanto, quando é atingido um valor crítico de tensão σ_e , o corpo de prova sofre uma longa deformação, com pouco aumento da carga aplicada. Esse ponto (σ_e) marca o final do regime de deformação elástico do material (ponto onde ao cessar da força, o material retoma sua forma inicial) e o início do regime plástico de deformação (onde o material já sofreu avarias permanentes em sua estrutura). (BEER, JONHSTON, 1995)

Quando o carregamento atinge certo valor máximo (σ_u = tensão última ou máxima), o diâmetro do corpo começa a diminuir devido à perda de resistência local. Esse fenômeno é conhecido como estricção, um carregamento mais baixo é o suficiente para manter o corpo de prova se deformando, até que sua ruptura se dê no ponto σ_R (tensão de ruptura). (BEER, JONHSTON, 1995)

O diagrama tensão deformação varia muito de material para material, e, para um mesmo material, podem ocorrer resultados diferentes em vários ensaios, dependendo da temperatura do corpo de prova ou da velocidade de crescimento da carga. Porém, algumas características em comum leva à divisão dos materiais em duas categorias, os dúcteis e os frágeis. (BEER, JOHNSTON, 1995)

Nos dúcteis observa-se um maior alongamento de ΔL no corpo de prova, pelos materiais dúcteis apresentarem maior escoamento. Já materiais frágeis apresentam um limite de escoamento reduzido e por isso se rompem praticamente sem serem deformados, apesar de resistirem a cargas bastante altas. (BEER, JOHNSTON, 1995)

4.2 LEI DE HOOKE

As estruturas correntes são projetadas de modo a sofrerem apenas pequenas deformações, que não ultrapassem os valores do diagrama tensão-deformação correspondentes ao trecho reto do diagrama. Na parte inicial do diagrama a tensão é diretamente proporcional à deformação específica e pode-se escrever: (BEER, JOHNSTON, 1995)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

1. E = módulo de elasticidade ou módulo de Young (cientista inglês, 1773-1829);
2. σ = tensão;
3. ϵ = deformação.

Essa relação é conhecida como Lei de Hooke e se deve ao matemático inglês Robert Hooke (1635-1703). A equação dois se emprega apenas ao regime elástico de deformação. (BEER, JOHNSTON, 1995)

A figura abaixo apresenta um corpo sendo solicitado axialmente, o que gera uma tensão normal no mesmo:

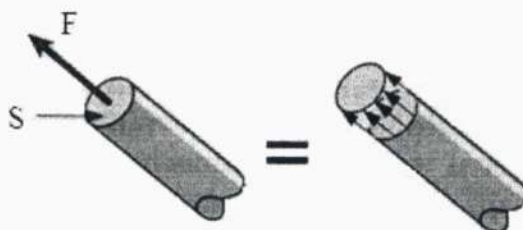


Figura 55: Exemplo de tração (BEER, JOHNSTON, 1995)

A tensão normal “ σ ” é função da área e da força (aqui chamada de N) aplicada ao corpo. Sendo assim:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (\text{Equação 3})$$

Portanto, é possível fazer a seguinte análise:

$N \geq 0; \sigma \geq 0 = \text{Tração}$

$N \leq 0; \sigma \leq 0 = \text{Compressão}$

4.3 COEFICIENTE DE POISSON

Siméon Denis Poisson, nascido em Pithiviers na data de 21 de Junho de 1781, falecendo em Paris aos 25 de Abril de 1840, foi um matemático e físico francês. O coeficiente de deformação que carrega seu nome é a relação entre a deformação transversal e a deformação longitudinal dentro da região elástica de determinado material. (<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/SimeonDe.html>, 02/2011)

$$\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

1. ν = Coeficiente de Poisson;
2. ϵ_t = Deformação transversal;
3. ϵ_l = Deformação longitudinal.

5.2 COMPRESSÃO

A compressão também é causada por uma tensão axial, porém, se caracteriza pelo encolhimento das fibras do material solicitado, como exhibe a figura abaixo:



Figura 58: Barra sendo comprimida (Fonte: Próprio)

5.3 CISALHAMENTO

Se for passado uma seção transversal pelo ponto C, entre os pontos de aplicação das forças (Fig. 59), poderá ser concluído que devem existir forças internas na seção transversal, e que sua resultante deve igualar a P. Essa resultante, de intensidade P, é chamada força cortante na seção. Essa força cortante dividida pela área de seção resulta no que se chama de tensão de cisalhamento, como mostra a equação 5. (BEER, JOHNSTON, 1995)

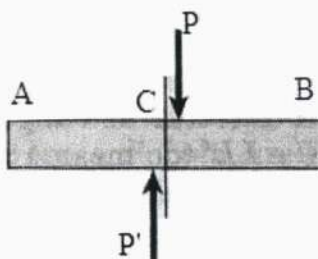


Figura 59: Esforço de Cisalhamento (Fonte: BEER, JOHNSTON, 1995)

$$\tau = \frac{N}{A} \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

1. τ = tensão cisalhante;
2. $N = P$ = força aplicada;

3. A = área de aplicação.

5.4 TORÇÃO

São tensões e deformações produzidas em peças sujeitas à ação de conjugados que tendem a torcer essas peças, como ilustrado na figura 60. Esses conjugados têm a mesma intensidade T e sentidos opostos. São então grandezas vetoriais e podem ser representadas por setas curvas (Fig. 60). (BEER, JOHNSTON, 1995)

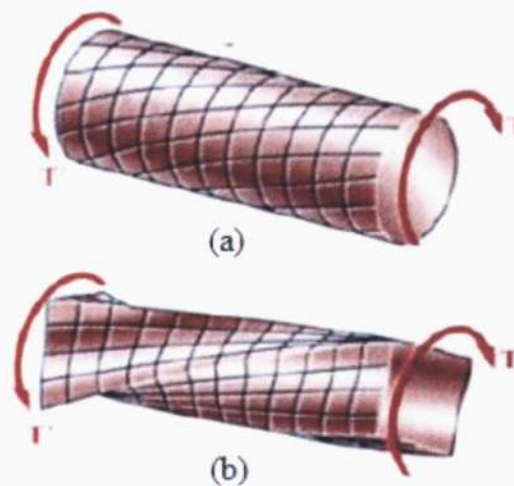


Figura 60: Torque causando torção em uma barra circular (a) e em uma barra quadrangular (b)
(Fonte: BEER, JOHNSTON, 1995)

5.5 FLAMBAGEM

Analizando a figura 61 observa-se que ocorre a flambagem quando a força P é aplicada e em vez de permanecer com seu eixo retilíneo, a coluna se torna subitamente bastante encurvada. Isso ocorre quando é ultrapassado o limite da carga crítica da estrutura e o resultado é que a peça começa a flambar. A Carga crítica de flambagem é dada pela equação 6: (BEER, JOHNSTON, 1995)

$$= \text{---} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

1. P_{CR} = carga crítica (Pa);
2. E = Módulo de elasticidade;
3. $\mu = 3,14$;
4. I = menor dos momentos de inércia da seção (m^4);
5. L_f = comprimento de flambagem da peça (m).

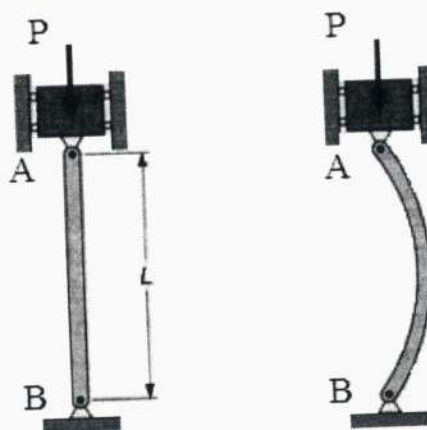


Figura 61: Coluna Flambando (Fonte: BEER, JOHNSTON, 1995)

5.6 FLEXÃO

Estão sob flexão pura os membros prismáticos sujeitos a dois conjugados ou momentos, iguais e de sentidos opostos, M e M' , atuando no mesmo plano longitudinal, como ilustra a figura 62. (BEER, JOHNSTON, 1995)

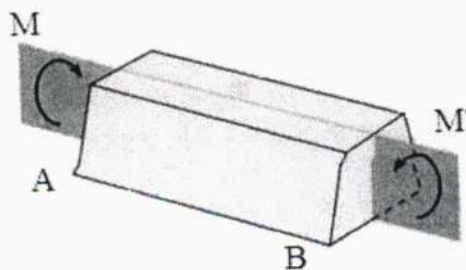


Figura 62: Peça sofrendo a ação da flexão (Fonte: BEER, JOHNSTON, 1995)

CAPÍTULO 6 - DIMENSIONAMENTO DE UMA COBERTURA EM AÇO - MEMORIAL DOS CÁLCULOS

Será dimensionado neste trabalho um galpão de médio porte de uso industrial.

6.1 IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

Objetivo: Cobertura do Galpão da Indústria de Laticínios Milk LTDA (fictício);

Local: Rua A, s/nº, Bairro C, Itaperuna-RJ (fictício);

Data: Junho/2011;

Contratante: Soft - Construção Metálica (fictício).

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Cobertura em “duas águas” com estrutura em viga treliçada em aço, modelo “Treliça Pratt duas águas” e telhas trapezoidais revestidas com Zinco e espessura igual a 0,5 mm. Área total de 360 m².

Vão livre: 12 m (largura interna da construção);

Comprimento: 30 m;

Distância entre tesouras: 5 m (I);

Distância entre terças: 2 m (L);

Estrutura metálica composta por perfis em aço ASTM A 36;

Declividade da cobertura: 10°;

Local da construção: Itaperuna-RJ;

Pilares em perfil “T” com abas paralelas.

As cargas permanentes (g) e as acidentais (q) serão calculadas segundo a NBR 6120-Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, enquanto as cargas devido à ação do vento serão calculadas com base na NBR 6123-Forças devidas ao vento em edificações.

6.3 CARGAS ADOTADAS NA ESTRUTURA

O primeiro passo para o dimensionamento de uma cobertura é encontrar as cargas às quais a mesma estará submetida. Primeiramente calculamos:

1 Cargas no plano perpendicular ao telhado

Segundo a NBR-6120 (1980) existem duas categorias de cargas a que está sujeita uma edificação em aço. A primeira é chamada Carga Permanente (g), que é constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. A segunda são as Cargas Acidentais (q), ou seja, toda aquela que pode atuar sobre a estrutura em função do seu uso.

-Cargas Pemanentes (g)

- Peso próprio das telhas (tabela 9) = $4,85 \text{ kgf/m}^2$

- Acessórios para montagem = $1,00 \text{ kgf/m}^2$

Soma: $4,85 + 1 = 5,85 \text{ kgf/m}^2 \times \text{distância (L) entre as terças} = 5,85 \cdot 2 = 11,70 \text{ kgf/m}$

- Peso próprio do perfil = $8,00 \text{ kgf/m}$

Carga permanente total (g) = $19,7 \cdot \cos 10^\circ = 19,4 \text{ kgf/m}$

-Cargas Acidentais Distribuídas (q)

As cargas acidentais distribuídas são aquelas devidas à ação do vento. Os valores, tabelas e fórmulas para seu desenvolvimento podem ser encontrados consultando à NBR-6123/88.

- Ação do vento

A figura 63 do mapa do Brasil serve para auxiliar na determinação da velocidade básica do vento (V_0). No mapa fica claro que cada região apresenta um valor de V_0 diferente. Basta consultar o valor na região desejada e prosseguir com os cálculos.

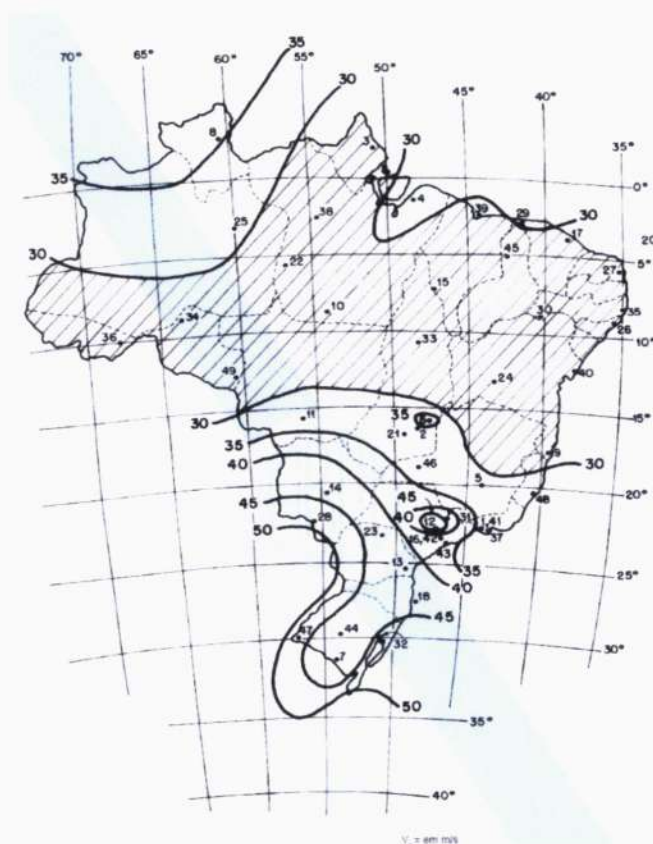


Figura 63: Mapeamento nacional da velocidade do vento (Fonte: ABNT, 1988)

Velocidade básica do vento = 30 m/s.

(a) Fatores de variação da velocidade básica:

O Fator Topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo.

Tabela 12: Valores do fator topográfico

Topografia	S_1
Vales profundos, protegidos de todos os ventos.	0,9
Encostas e cristas de morro em que ocorre aceleração do vento.	1,1
Vales com efeitos de afunilamento.	
Todos os casos, exceto os acima citados.	1

Fonte: ABNT (1988)

O Fator S_2 trata da Rugosidade do terreno (Categoria), dimensões da edificação (Classe) e altura sobre o terreno. As categorias são definidas de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 13: Definição de categorias para determinação do coeficiente S_2

Definição de categorias de terreno segundo NBR6123/1988	
Categoria	Descrição do ambiente
I	mar calmo, lagos, rios, pântanos
II	campos de aviação, fazendas
III	casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0m
IV	cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0m
V	florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0m

Fonte: ABNT (1988)

Já suas Classes devem ser definidas através de consulta a outra tabela, apresentada a seguir:

Tabela 14: Definição de classes de para determinação do coeficiente S_2

Classe	Descrição
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Fonte: ABNT (1988)

Sabendo a Categoria e a Classe a que pertence uma edificação, encontramos o valor de S_2 na tabela 15.

Tabela 15: Fator S₂ - Rugosidade do terreno

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	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	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	0,90	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	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34

Fonte: ABNT (1988)

Por sua vez, o Fator Estatístico S₃ é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação (Tab. 16).

Tabela 16: Valores mínimos do Fator Estatístico S₃

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.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
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

Fonte: ABNT (1988)

Após consultar às tabelas da NBR 6123/88, poderão ser especificados os três fatores:

Fator topográfico do terreno _____ $S_1 = 1,10$

Rugosidade Local _____ $S_2 = 0,95$

Fator estatístico _____ $S_3 = 0,95$

(b) Velocidade característica:

É a velocidade usada em projeto. Leva em conta a influência dos Fatores de Variação.

$$S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{Equação 7})$$

→

(c) Pressão Dinâmica:

A pressão dinâmica, segundo a NBR-6123/88, é dada pela equação:

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (\text{Equação 08})$$

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \rightarrow q = 55,5 \text{ kgf/m}^2$$

$q = 55,5 \text{ kgf/m}^2 \cdot \text{distância } (L = 2 \text{ m}) \text{ entre as terças} = 55,5 \cdot 2 = 111 \text{ kgf/m}$ e multiplicando por $\sin 10^\circ$, devido à inclinação do telhado, obtém-se: $q = 19,27 \text{ kgf/m}$.

- Carga Pontual acidental

É a carga que se tem em uma situação específica. Neste caso refere-se ao trabalhador responsável pela montagem da cobertura.

- Peso do trabalhador

Chamaremos de Peso (P) a carga imposta devido à massa (m) do trabalhador, que pode ser calculada da seguinte forma:

$$P = m \cdot \cos 10^\circ = 80 \text{ kgf} \cdot \cos 10^\circ = 78,78 \text{ kgf}$$

Substituindo na equação do Momento fletor (Equação 9), vem:

$$M = 0,125 \cdot 38,67 \cdot 5^2 = 120,8 \text{ kgf.m} \quad (\text{Condição I})$$

Para as cargas perpendiculares e sem a ação do vento teremos que encontrar primeiro o Momento que o trabalhador exerce, e para tanto utilizamos a equação sugerida por LACERDA (2004):

$$M_{\text{trab}} = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 19,4 \cdot 5 = 98,48 \text{ kgf.m} \quad (\text{Equação 10})$$

O Momento (Equação 9) das cargas permanentes (g) também deve ser encontrado:

$$M_g = 0,125 \cdot Q \cdot l^2 = 0,125 \cdot 19,4 \cdot 5^2 = 60,625 \text{ kgf.m}$$

Somando-se o $M_{\text{trab}} + M_g$ obtém-se o Momento das cargas perpendiculares sem a ação do vento:

$$M_{\text{trab}} + M_g = 98,48 + 60,625 = 159,1 \text{ kgf.m} \quad (\text{Condição II})$$

Como a condição I < condição II, esta última é que será utilizada no cálculo de W_x , que é o Momento Resistente no eixo x, o que nos permitirá a escolha do perfil mais adequado.

$$W_x = \frac{M}{\sigma} \quad (\text{Equação 11})$$

$$W_x = \frac{159,1}{15,2} = 10,6 \text{ cm}^3$$

Para efeito de cálculo utiliza-se uma tensão admissível de 1.500 kgf/cm^2 para um aço SAE-1020.

Do mesmo modo calculamos o Momento Fletor (M) e o Momento Resistente (W_y) para as cargas paralelas ao telhado:

$$M = 0,125 \cdot Q \cdot l^2 = 0,125 \cdot 3,42 \cdot 5^2 = 10,69 \text{ kgf.m}$$

$$W_y = \frac{M}{\sigma} = 0,71 \text{ cm}^3$$

De posse dos valores de $W_x = 10,6 \text{ cm}^3$ e de $W_y = 0,71 \text{ cm}^3$ consultou-se a tabela 17 e escolheu-se o perfil mais adequado. Poderá ser o perfil U – 100x50x17 (mm) com espessura

de 1,9 (mm). Como o peso do perfil escolhido é de 3,27 kgf/m e no cálculo de g foi adotado 8,00 kgf/m _____ OK.

Tabela 17: Propriedades do perfil U enrijecido

DIMENSÕES				S	P	I _x	W _x	r _x	e _y	I _y	W _y	r _y
h	b	d	e = r	cm ³	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm	mm									
150	60	20	3,04	8,70	6,83	295,19	39,36	5,82	1,91	41,53	10,14	2,18
			2,66	7,69	6,04	263,19	35,09	5,85	1,91	37,42	9,15	2,21
			2,28	6,66	5,23	229,93	30,68	5,88	1,91	33,03	8,08	2,23
			1,90	5,61	4,40	195,38	26,05	5,90	1,92	28,36	6,95	2,25
			1,52	4,53	3,56	159,20	21,23	5,93	1,92	23,35	5,72	2,27
127	50	17	3,42	8,01	6,29	189,39	29,83	4,86	1,58	25,20	7,36	1,77
			3,04	7,21	5,66	172,40	27,15	4,89	1,58	23,24	6,79	1,80
			2,66	6,39	5,01	154,31	24,30	4,92	1,58	21,07	6,17	1,82
			2,28	5,54	4,35	135,33	21,31	4,94	1,59	18,71	5,48	1,84
			1,90	4,68	3,67	115,45	18,18	4,97	1,59	16,17	4,74	1,86
100	50	17	1,52	3,79	2,97	94,41	14,87	4,99	1,60	13,38	3,93	1,88
			3,42	7,09	5,56	107,17	21,43	3,89	1,76	23,13	7,13	1,81
			3,04	6,39	5,02	97,83	19,57	3,91	1,76	21,35	6,59	1,83
			2,66	5,67	4,45	87,80	17,56	3,94	1,77	19,36	5,99	1,85
			2,28	4,93	3,87	77,21	15,44	3,96	1,77	17,21	5,33	1,87
75	40	15	1,90	4,16	3,27	66,05	13,21	3,98	1,78	14,87	4,61	1,89
			1,52	3,38	2,65	54,16	10,83	4,01	1,78	12,32	3,83	1,91
			3,04	4,90	3,85	41,18	10,98	2,90	1,48	10,38	4,13	1,46
			2,66	4,37	3,43	37,25	9,93	2,92	1,49	9,50	3,78	1,48
			2,28	3,81	2,99	33,01	8,80	2,94	1,49	8,52	3,40	1,50
50	25	10	1,90	3,23	2,54	28,46	7,59	2,97	1,50	7,43	2,97	1,52
			1,52	2,63	2,07	23,51	6,27	2,99	1,50	6,20	2,48	1,54
			3,04	2,92	2,30	10,04	4,01	1,85	0,91	2,15	1,35	0,86
			2,66	2,64	2,07	9,28	3,71	1,88	0,91	2,02	1,28	0,88
			2,28	2,33	1,83	8,40	3,36	1,90	0,92	1,87	1,18	0,90
			1,90	2,00	1,57	7,40	2,96	1,92	0,92	1,68	1,06	0,92
			1,52	1,64	1,29	6,23	2,49	1,95	0,92	1,44	0,91	0,94

Fonte: LACERDA, 2004

6.5 CÁLCULO DAS TELHAS

O cálculo das telhas leva em consideração duas hipóteses. A primeira desconsidera a ação do vento e adiciona-se uma carga de 15,00 kgf/m² de acordo com a NBR-6120/80, e a segunda leva em conta a ação do mesmo e por isso subtrai-se o valor do peso próprio das telhas, segundo a mesma norma.

1ª Hipótese:

Carga permanente: 19,4 kgf/m²

Carga adicional (NBR-6120/80): 15,00 kgf/m²

Total: 34,4 kgf/m²

2ª Hipótese:

Antes de encontrarmos as cargas devidas ao vento sobre as telhas, precisamos determinar a altura relativa (h/b) e a proporção em planta (a/b). Dessa maneira poderemos consultar às tabelas da NBR-6123/88 que seguem.

Com a (maior lado da edificação) = 30 m;

$$h/b = 6/12 = 0,5 \quad (= 0,5)$$

b (distância entre as laterais) = 12 m;

$$a/b = 2,5 \quad (2 < 2,5 < 4)$$

h (altura da edificação) = 6 m.

-Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes laterais de edificações retangulares (Fig. 65). Na tabela 18 encontram-se os valores para cálculo:

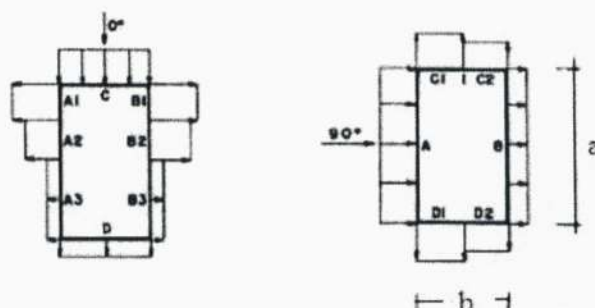


Figura 65: Esboço da ação do vento nas paredes externas (Fonte: ABNT, 1988)

Tabela 18: Coeficientes de pressão e de forma para paredes com base na NBR 6123/88

Altura relativa		Valores de C_p para								C_{pe}
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				médios
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 $0,2b$ ou h (o menor dos 2)	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0

Fonte: ABNT (1988)

Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhado com duas águas (Fig. 66).

Na tabela 19 encontram-se os valores para cálculo:

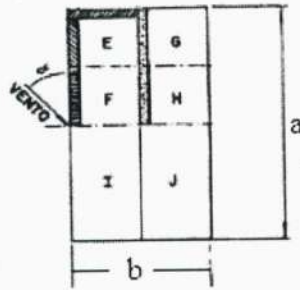


Figura 66: Esboço da ação do vento na cobertura (Fonte: ABNT, 1988)

Tabela 19: Coeficientes de pressão e de forma para cobertura em duas águas

Altura relativa	Graus	C _e				C _{pe} médio			
		α = 90°		α = 0°					
		EF	GH	EG	FH				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ Θ 	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	-
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-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

Fonte: ABNT (1988)

Carga devida ao vento:

Paredes → 0° → $-0,8 \cdot q = -0,8 \cdot 55,5 = -44,40 \text{ kgf/m}^2$

90° → $-0,9 \cdot q = -0,9 \cdot 55,5 = -49,55 \text{ kgf/m}^2$

Telhado → 0° → $-0,8 \cdot q = -0,8 \cdot 55,5 = -44,40 \text{ kgf/m}^2$

90° → $-1,2 \cdot q = -0,9 \cdot 55,5 = -66,60 \text{ kgf/m}^2$

Carga permanente (g): $13,55 \text{ kgf/m}^2$

Carga acidental (q): $-66,60 \text{ kgf/m}^2$

Total: $-53,05 \text{ kgf/m}^2$

Como 1ª hipótese < 2ª hipótese, utilizaremos esta segunda para escolher o perfil mais adequado à situação exposta, em consulta à tabela 09. A telha trapezoidal com espessura de

0,50 mm, com 2 apoios e uma distância de 2,00 m entre os mesmos tem carga admissível de 122 kgf/m², enquanto a solicitação máxima calculada é de 53,05 kgf/m², logo: _____ OK.

Para fixar as telhas nas terças usam-se ganchos rosqueados com pés dobrados, conforme a figura que se segue. Fura-se a telha no topo da onda e não na sua calha. Para permitir aperto, coloca-se um calço entre a telha e a terça. Entre o calço e a telha coloca-se uma arruela de borracha. Entre a telha e a porca do parafuso coloca-se uma arruela de borracha com uma arruela de metal galvanizada por cima. Estes cuidados evitam vazamentos que enferrujam a estrutura. (LACERDA, 2004)

6.6 CÁLCULO DAS TESOURAS

A opção da tesoura foi por uma do tipo entrelaçada. O cálculo de treliça pode ser desenvolvido de vários Métodos como Método de Cremona, Método das Seções ou como o escolhido para este trabalho, o Método dos Nós.

O Método dos Nós é o processo de cálculo de treliças e similares pelo qual se determina o equilíbrio estático de cada nó em determinada sequência operacional: a) Primeiramente determinam-se as reações nos pontos de apoio. b) A seguir, indentificam-se os tipos de solicitação em cada barra. c) Escolhe-se o primeiro nó e determina-lhe as condições de equilíbrio. d) Passa ao segundo nó e calcula o seu equilíbrio estático com a ajuda de informações obtidas no primeiro nó. e) Procedimento idêntico até o último nó. (LACERDA, 2004)

Primeiramente deve-se encontrar a carga total (Q) a qual a tesoura estará submetida:

Carga das telhas e acessórios (g): 11,7 kgf/m

Carga das terças: 3,3 kgf/m

Soma: 15,00 kgf/m x distância (l = 5 m) entre as tesouras = 75,00 kgf

Carga do vento (q): $q \times \sin 10^\circ = 55,5 \text{ kgf/m}^2 \cdot \sin 10^\circ = 9,64 \text{ kgf/m}^2$

$$q \times L \times l = 9,64 \text{ kgf/m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} = 96,4 \text{ kgf}$$

$$\text{Soma: } 75,00 \text{ kgf} + 96,4 \text{ kgf} = 171,4 \text{ kgf}$$

Como sabemos que a metade da tesoura é um triângulo retângulo de base igual a 6 m e inclinação de 10° , podemos calcular sua altura (h) a partir da fórmula da tangente:

$h = 6 \cdot \text{tg } 10^\circ = 1,06 \text{ m}$ e com isso calculamos a hipotenusa com auxílio do Teorema de Pitágoras: $h^2 = \text{cops}^2 + \text{cadj}^2$, logo, $h = 6,1 \text{ m}$. Como a distância entre terças (L) adotada foi de 2m, sabemos que serão necessárias no mínimo 3. A figura 67, abaixo, exhibe de maneira clara os resultados obtidos até aqui.

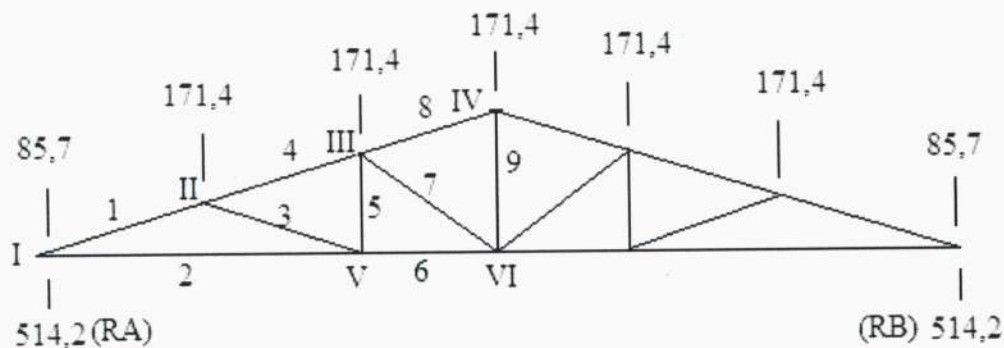


Figura 67: Esforços na tesoura (Fonte: Próprio)

Nas extremidades recebe-se apenas metade do esforço. Os algarismos romanos exibem o número de nós e os algarismos arábicos representam o número de barras. Não se numera o outro lado da tesoura, pois apresenta os mesmos valores.

A carga total (Q) é a soma de todas apresentadas na ilustração acima, ou seja:

$$(85,7 \cdot 2) + (171,4 \cdot 5) = 1028,4 \text{ kgf}$$

A reação dos apoios R_A e R_B são idênticas e, portanto:

$$R_A = R_B = Q/2 \rightarrow R_A = R_B = 1028,4/2 = 514,2 \text{ kgf}$$

A primeira verificação de estabilidade é feita pela fórmula:

$$b = 2 \cdot n - 3 \quad (\text{Equação 12})$$

onde $b = \text{n}^\circ$ de barras (17) e $n = \text{n}^\circ$ de nós (10), substituindo:

$$17 = 2 \cdot 10 - 3 \rightarrow 17 = 17 \text{ OK}$$

Analisando o desenho dos esforços na tesoura podemos dizer que as barras 1, 3, 4, 7 e 8 estão sendo comprimidas ao passo que as barras 2, 5, 6 e 9 estão sendo tracionadas.

- Cálculo dos esforços nas barras

Os ângulos e medidas que se fizerem necessários podem ser determinados a partir do ângulo inicial de 10° no nó I (Fig. 67), utilizando as relações trigonométricas.

NÓ I (Fig. 68)

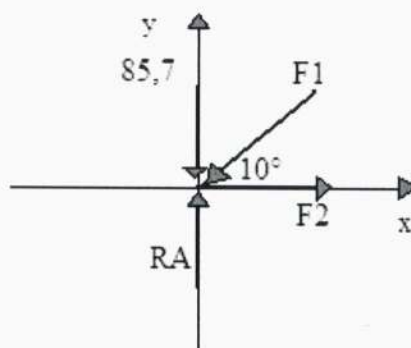


Figura 68: Esforços no nó I (Fonte: Próprio)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -85,7 + R_A - F_1 \sin \alpha = 0 \rightarrow F_1 \sin \alpha = 514,2 - 85,7 \rightarrow F_1 = 2468 \text{ kgf}$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_2 - F_1 \cos \alpha = 0 \rightarrow F_2 = 2430 \text{ kgf}$$

NÓ II (Fig. 69)

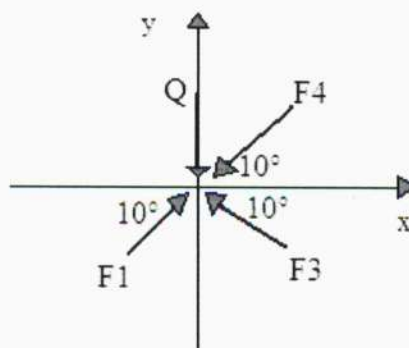


Figura 69: Esforços no nó II (Fonte: Próprio)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -Q - F_4 \operatorname{sen} \alpha + F_1 \operatorname{sen} \alpha + F_3 \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$(F_3 - F_4) \operatorname{sen} 10^\circ = -257,16 \rightarrow (F_3 - F_4) = -1481$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_1 \cos 10^\circ - F_4 \cos 10^\circ - F_3 \cos 10^\circ = 0$$

$$(F_3 + F_4) \cos 10^\circ = 2430 \rightarrow (F_3 + F_4) = 2467,5$$

Resolvendo o sistema encontra-se o valor de F_3 e F_4 :

$$F_3 = 493,25 \text{ kgf e } F_4 = 1974,25 \text{ kgf}$$

NÓ V (Fig. 70)

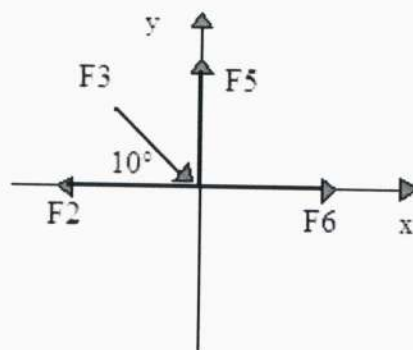


Figura 70: Esforços no nó V (Fonte: Próprio)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow F_5 - F_3 \operatorname{sen} \alpha = 0 \rightarrow F_5 = 493,25 \cdot \operatorname{sen} 10^\circ \rightarrow F_5 = 85,65 \text{ kgf}$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_6 + F_3 \cos \alpha - F_2 = 0 \rightarrow F_6 = 2430 - 493,25 \cos 10^\circ \rightarrow F_6 = 1944 \text{ kgf}$$

NÓ III (Fig. 71)

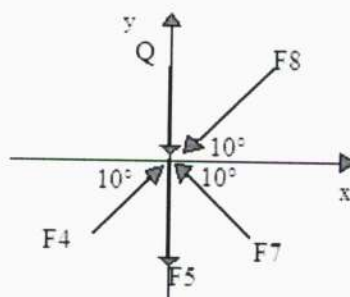


Figura 71: Esforços no nó III (Fonte: Próprio)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -Q - F_5 - F_8 \operatorname{sen} \alpha + F_4 \operatorname{sen} \alpha + F_7 \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$(F_7 - F_8) \operatorname{sen} 10^\circ = 171,4 + 85,65 - 1974,25 \operatorname{sen} 10^\circ \rightarrow (F_7 - F_8) = -1717,2$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_4 \cos \alpha - F_8 \cos \alpha - F_7 \cos \alpha = 0 \rightarrow (F_7 + F_8) \cos 10^\circ = 1974,25 \cos 10^\circ$$

$$(F_7 + F_8) = 1974,25$$

Resolvendo o sistema, encontramos:

$$F_7 = 128,52 \text{ kgf e } F_8 = 1845,73 \text{ kgf}$$

NÓ IV (Fig. 72)

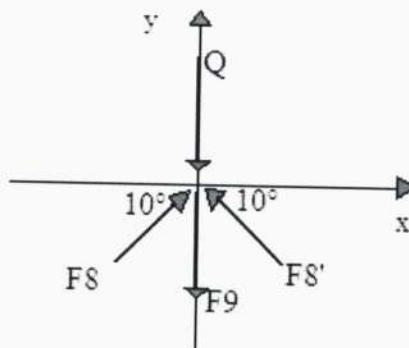


Figura 72: Esforços no nó IV (Fonte: Próprio)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -Q - F_9 + (2 \cdot F_8 \operatorname{sen} \alpha) = 0 \rightarrow F_9 = (2 \cdot 1845,75 \operatorname{sen} 10^\circ) - 171,4$$

$$F_9 = 469,61 \text{ kgf}$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_8 = F_{8'}$$

Feito isso já estarão determinadas todas as solicitações atuantes nas barras que compõem a tesoura em questão.

Para o cálculo do dimensionamento nós utilizamos a fórmula do Momento de Inércia (I) para as barras comprimidas e a fórmula da Área (A) para as tracionadas, como indica LACERDA (2004).

$$I = 2,43 \cdot F \cdot l^2 \quad (\text{Equação 13})$$

$$A = \text{—} \quad (\text{Equação 14})$$

Sendo:

F = força atuante;

l = comprimento da barra;

= constante (1500 kgf/cm²).

Os resultados obtidos podem ser agrupados da maneira apresentada no quadro abaixo:

Tabela 20: Quadro de dimensionamento das barras da tesoura

Barra	l (m)	F (kgf)	Dimensionamento
1	2,00	- 2.468	$I = 2,43 \cdot 2,468 \cdot 2^2 = 24$
3	2,05	- 494	$I = 2,43 \cdot 0,494 \cdot 2,05^2 = 4,8$
4	2,00	- 1.975	$I = 2,43 \cdot 1,975 \cdot 2^2 = 20,17$
7	2,12	- 129	$I = 2,43 \cdot 0,129 \cdot 2,12^2 = 1,41$
8	2,00	- 1.846	$I = 2,43 \cdot 1,846 \cdot 2^2 = 17,94$
2	2,00	+ 2.430	$A = 2.430/1.500 = 1,56 \text{ cm}^2$
5	0,70	+ 86	$A = 86/1.500 = 0,06 \text{ cm}^2$
6	2,00	+ 1.944	$A = 1944/1.500 = 1,29 \text{ cm}^2$
9	1,06	+ 470	$A = 470/1.500 = 0,31 \text{ cm}^2$

Para a escolha do perfil mais apropriado basta consultar a tabela 17 para perfis "U".

Como as barras 1, 4 e 8 são seguimentos do banzo superior, toma-se o seguimento mais solicitado para a escolha do perfil, neste caso, a barra 1.

Poderá ser utilizado um perfil U-150x60x20, com espessura de 1,9 mm _____OK

Os seguimentos 2 e 6 compõem o banzo inferior. Como feito antes, tomaremos o seguimento mais solicitado.

O perfil U-50x25x10 com espessura de 1,9 mm atenderá bem as solicitações. Observa-se que a espessura é mantida, com o propósito de facilitar a montagem. _____ OK

Para as montantes, barras 5 e 9, poderá ser empregado o perfil U-50x25x10 de espessura igual às anteriores e para as barras 3 e 7, as diagonais, opta-se por um perfil U-75x40x15 com a espessura mantida em 1,9 mm. _____ OK

6.7 CÁLCULO DOS PILARES

Os pilares são peças estruturais comprimidas. (LACERDA, 2004)

Já sabemos de antemão os dados preliminares para o dimensionamento dos pilares, como:

Pé direito do projeto = 6 m;

Colunas com as duas extremidades engastadas, logo com um comprimento efetivo (comprimento de flambagem – l_n) equivalente a $l/2$. Portanto, razão constante (k) = 0,5;

$$l_n = 6/2 = 3 \text{ m}$$

O aço estrutural mais usual é o ASTM A-36 e suas propriedades são:

Módulo de Elasticidade (E) = 200 GPa;

Limite de escoamento (f_y) = 250 MPa.

Do cálculo das reações das tesouras, sabe-se que a carga (Q) no topo de cada pilar equivale a 514,2 kgf = 5.043 N. Para efeito de cálculo essa carga “ Q ” deve ser multiplicada por um coeficiente de segurança (C.S.) igual a 5, sendo assim teremos:

$$Q_{c.s.} = Q \cdot 5 = 25 \text{ kN}$$

O coeficiente “ b ” serve para nos auxiliar na determinação do índice de esbeltez do pilar escolhido, e sua fórmula se dá como abaixo: (LACERDA, 2004)

$$b^2 = \text{———} \quad (\text{Equação 15})$$

$$b^2 = \text{—————} = 125,66$$

O índice de esbeltez (λ) do pilar é o quociente do comprimento efetivo da coluna (l_n), pelo raio de giração (r). Para facilitar, a priori, a escolha a escolha das bitolas adequadas do perfil, usa-se $\lambda_{\text{máx}}$, isto é, $\lambda = 200$ e determina-se o raio de giração mínimo necessário, r_{min} . Este artifício contribui para encontrar na tabela o perfil aproximado. Na maioria dos casos é na coluna r_y que se encontra o tipo desejado. (LACERDA, 2004)

Sendo assim, calculamos r_{min} :

$$r_{\text{min}} = l_n / 200$$

$$r_{\text{min}} = 300\text{cm} / 200 = 1,5 \text{ cm}$$

Com este dado, basta consultar a tabela 21 referente às propriedades do perfil “I” (Fig. 73) e verificar qual perfil é o mais apropriado para esta condição:

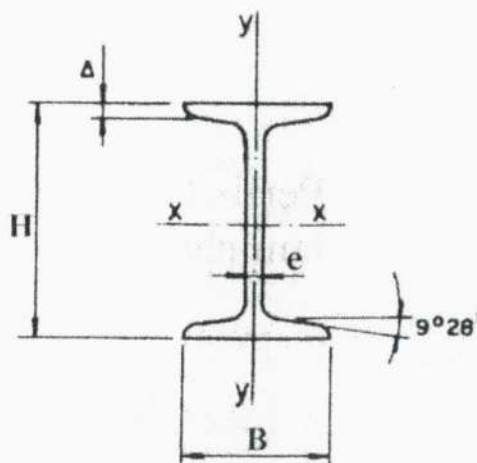


Figura 73: Perfil I (Fonte: LACERDA, 2004)

Tabela 21: Propriedades do perfil I

PROPRIEDADES PARA CÁLCULO												
H		Peso	e	B	Δ	Área	I _x	W _x	r _x	I _y	W _y	r _y
Pol.	cm	kg/m	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
3"	7,62	8,45	0,432	5,92	0,66	10,8	105,1	27,6	3,12	18,9	6,41	1,33
		9,68	0,638	6,12		12,3	112,6	29,6	3,02	21,3	6,95	1,31
		11,20	0,886	6,37		14,2	121,8	32,0	2,93	24,4	7,67	1,31
4"	10,16	11,40	0,483	6,76	0,74	14,5	252,0	49,7	4,17	31,7	9,4	1,48
		12,70	0,643	6,92		16,1	266,0	52,4	4,06	34,3	9,9	1,46
		14,10	0,828	7,10		18,0	283,0	55,6	3,96	37,6	10,6	1,45
		15,60	1,016	7,29		19,9	299,0	58,9	3,87	41,2	11,3	1,44
5"	12,70	14,80	0,533	7,62	0,83	18,8	511,0	60,4	5,21	50,2	13,2	1,63
		18,20	0,881	7,97		23,2	570,0	69,8	4,95	58,6	14,7	1,59
		22,00	1,255	8,34		28,0	634,0	99,8	4,76	69,1	16,6	1,57
6"	15,24	18,50	0,584	8,46	0,92	23,6	919,0	120,6	6,24	75,7	17,9	1,79
		22,00	0,871	8,75		28,0	1003,0	131,7	5,99	84,9	19,4	1,74
		25,79	1,181	9,06		32,7	1095,0	143,7	5,79	96,2	21,2	1,72
8"	20,32	27,30	0,686	10,16	1,08	34,8	2400,0	236,0	8,30	155,0	30,5	2,11
		30,50	0,886	10,36		38,9	2540,0	250,0	8,08	166,0	32,0	2,07
		34,30	1,120	10,59		43,7	2700,0	266,0	7,86	179,0	33,9	2,03
		38,00	1,351	10,83		48,3	2860,0	282,0	7,69	194,0	35,8	2,00
10"	25,40	37,70	0,79	11,84	1,25	48,1	5140,0	405,0	10,30	282,0	47,7	2,42
		44,70	1,14	12,18		56,9	5610,0	442,0	9,93	312,0	51,3	2,34
		52,10	1,51	12,56		66,4	6120,0	482,0	9,60	348,0	55,4	2,29
		59,60	1,88	12,93		75,9	6630,0	522,0	9,35	389,0	60,1	2,26

Fonte: LACERDA (2004)

Optou-se pelo perfil I-12,7x8,34x1,255, e suas propriedades são:

$A = 28,00 \text{ cm}^2$;

$I_x = 634$ e $I_y = 69,1$;

$r_x = 4,76 \text{ cm}$ e $r_y = 1,57 \text{ cm}$.

O próximo passo é calcular o índice de esbeltez (λ) do pilar, utilizando a fórmula apresentada por LACERDA (2004).

$$\lambda = \frac{L}{r} \quad (\text{Equação 16})$$

$$\lambda = \frac{L}{r} \rightarrow \lambda = 191,08$$

Como $\lambda > b$, utilizamos a equação que segue para a determinação da tensão admissível

(σ_{adm}): (LACERDA, 2004)

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 17})$$

Por recomendação do AISC, utiliza-se um C.S. igual a 1,92 para $(l/r) \leq 200$. Sabendo disto, temos todos os dados necessários para o cálculo de σ_{adm} .

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A} = 28 \text{ MPa}$$

Feito isso, é hora de verificarmos a carga admissível (Q_{adm}) em cada pilar, através da relação da equação 3:

$$Q_{adm} = \sigma_{adm} \cdot A \rightarrow Q_{adm} = 28 \cdot 28 \cdot 10^3 = 78,4 \text{ kN}$$

Como $Q_{c.s.} (25 \text{ kN}) < Q_{adm} (78,4 \text{ kN})$, o perfil analisado poderá ser utilizado. OK

Sem mais, os principais elementos constituintes de uma cobertura “duas águas” utilizando aço como material de trabalho, estão dimensionados.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi apresentar os procedimentos e cálculos utilizados na edificação de coberturas especificando os componentes fundamentais para sua montagem. Foi dimensionado um galpão industrial através da análise dos esforços aos quais a estrutura estaria submetida nas condições especificadas em "Materiais e Métodos". Assim, foi possível fazer o cálculo dos materiais e perfis mais apropriados para cada componente da estrutura.

- Resultados obtidos:

Através do cálculo dos momentos resistentes W_x e W_y , encontrou-se o perfil mais apropriado para as terças, com o auxílio da tabela 17: U-100x50x17, espessura de 1,9 mm;

Encontrando a carga total agindo sobre as telhas, incluindo a ação do vento (NBR 6123/88), pôde ser feito o dimensionamento das telhas consultando-se a tabela 9: Telha trapezoidal com espessura de 0,5 mm, 2 apoios e distância de 2,00 m entre os apoios;

Aplicando o método dos nós nas barras da tesoura foi possível determinar o esforço ao qual cada uma delas estaria submetida. De posse dessas informações, o dimensionamento das barras (realizado através da tabela 17) foi executado com base na equação do momento de inércia, para as barras comprimidas (Eq. 13) e da área de seção transversal para as barras tracionadas (Eq. 14): Para o banzo superior escolheu-se o perfil U-150x60x20 com espessura de 1,9 mm. Para o banzo inferior e também para as montantes o escolhido foi o perfil U-50x25x10 e espessura de 1,9 mm. Já para as diagonais foi empregado o perfil U-75x40x15, mantendo a espessura anterior;

Para o dimensionamento dos pilares foi encontrada a carga admissível (Q_{adm}), através do raio de giração (r_y) e do índice de esbeltez da peça (λ). Com esses dados consultou-se a tabela 21 e o perfil mais adequado, para a situação exposta, foi escolhido: Perfil I-12,7x8,34x1,255.

Feito isso o objetivo deste trabalho foi alcançado

Com esta liga de ferro-carbono o homem remodelou seu jeito de construir coberturas. As coberturas em aço vieram, e ficarão por um bom tempo no que diz respeito à versatilidade, segurança e qualidade, a menos que seja descoberto na natureza um material de custo-benefício mais satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCEM - Associação Brasileira de Construção Metálica - **Manual técnico Telhas de Aço**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14513: **Telhas de aço revestido de seção ondulada**. ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14514: **Telhas de aço revestido de seção trapezoidal**. ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. ABNT, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Forças Devidas ao Vento em Edificações**. ABNT, 1988.
- BEER, F.P. e JOHNSTON, JR., E.R. **Resistência dos Materiais**, 3.º Ed., Makron Books, 1995.
- Biografia **Siméon Denis Poisson**, disponível em:
<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/SimeonDe.html>, 02/2011.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2002.
- CARDOSO, F. F.. **Coberturas em Telhados**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- CPM – **Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção**, Mecânica Tratamentos Térmicos. SENAI-ES – Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1997.
- CPM – **Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção**, Mecânica Noções Básicas de Elementos de Máquinas, 1996.
- FERRAZ, F.. **Introdução aos Elementos de fixação** (2008), disponível em:
<http://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/introdução-aos-elementos-de-fixacao.pdf>, 01/2011.
- Galpão em Duas Águas**. Disponível em:
<http://rf.demolidora.zip.net/>, 05/2011.
- GENEROSO, R. A. **Materiais: Aço**, disponível em:
<http://ruyalexandre.zzl.org/arquivos/engmat5aco.pdf>, 03/2011.
- GGD Metais, **Aços - Construção Mecânica**, disponível em:
<http://www.ggdmetals.com.br/cat/1045.pdf>, 01/2011.
- GOMES E MORAES, **Estruturas Metálicas**, disponível em:
<http://www.gomesemoraes.com.br/standard.html>, 05/2011.

Imagem de **Solda**, disponível em:
<http://www.dectech.com.br/solda.htm>, 04/2011.

Imagem do Estádio **Soccer City**, disponível em:
<http://copaafricadosul10.blogspot.com/>, 05/2011.

Imagem dos **Vículos Estruturais** - UNICAMP Departamento de Estruturas, disponível em:
<http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/Deformacoes.pdf>, 02/2011.

Indústria de Importação e Exportação TAHITI LTDA - **Vida Útil do Aço Galvanizado**, Disponível em:
http://www.izolaikatelhas.com.br/info_tecnicas.php?info=4, 04/2011.

LACERDA, F. A. **Estruturas Metálicas de Pequeno Porte** – Dimensionamento Prático, 1ª Ed., Editora Autodidata, 2004.

Propriedades de Alguns Tipos de Aços, disponível em:
<http://estruturasmetalicas.vilabol.uol.com.br/aços.htm>, 05/2011.

Resume – Revestimento Superficial de Metais LTDA, disponível em:
<http://www.resumegalvanizacao.com.br>, 05/2011.

ROMÃO, X.. **Estruturas Hipo, Isso e Hiperestáticas**, FEUP (2002/2003), disponível em:
http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/me1/aulas_praticas/elementos_apoio/Estruturas_Hipo_Iso_Hiper.pdf, 02/2011.

SANTOS, A. F.. **Estruturas Metálicas – Projeto e detalhes para fabricação**, 3ª Ed., McGraw-Hill, 1977.

Tecém – Tecnologia Empresarial LTDA, disponível em:
<http://www.tecem.com.br>, 05/2011.