

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Enzo Rönnau de Medeiros

**ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES
SOLUÇÕES PARA COBERTURAS DE EDIFÍCIOS
HABITACIONAIS**

Porto Alegre
Dezembro, 2018.

Enzo Rönnau de Medeiros

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES SOLUÇÕES PARA COBERTURAS DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Dezembro, 2018.

Dedico este trabalho a meus pais, Eduardo e Simone, que me apoiaram e especialmente durante o período do meu curso de graduação em engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Prof. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira, orientadora deste trabalho, pelo auxílio e apoio, que foi essencial para a execução deste trabalho.

Também agradeço ao meu pai, Eduardo Vicentini de Medeiros pelas horas de ajuda para tornar a escrita deste trabalho mais correta e rica.

Agradeço a todos os meus colegas de trabalho que auxiliaram com informações para a execução deste trabalho e também a todos os outros que, de alguma forma, ajudaram.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de realização da pesquisa	17
Figura 2 – Elementos de uma tesoura	19
Figura 3 – Partes constituintes de um telhado usual	20
Figura 4 – Configuração do telhado pontaletado	22
Figura 5 – Telhado de uma água	22
Figura 6 – Telhado de duas águas	23
Figura 7 – Telhado de três águas	23
Figura 8 – Telhado de quatro águas	24
Figura 9 – Madeiramento tradicional	26
Figura 10 – Configuração do telhado pontaletado	27
Figura 11 – Formas básicas das cascas e folhas poliédricas	29
Figura 12 – Formas de seção transversal de vigas calhas	31
Figura 13 – Exemplo de cobertura tipo “shed”	31
Figura 14 – Tipos de armação	31
Figura 15 – Tipos de seção	35
Figura 16 – Cumeeira composta por perfis U e Ue	35
Figura 17 – Conexão dos caibros por meio de cantoneiras	39
Figura 18 – Conexão dos caibros por meio de peças de suporte	39
Figura 19 – Cobertura reforçada por enrijecedores	40
Figura 20 – Estrutura de tesoura de LSF	41
Figura 21 – Ligação de perfis por chapa Gusset	41
Figura 22 – Contraventamento lateral em tesouras	42
Figura 23 – Fixação de telhas tropicais na estrutura da cobertura	47
Figura 24 – Perda de revestimento de telhas metálicas	48
Figura 25 – Platibanda sem telhado.....	63
Figura 26 – Detalhamento da platibanda da cobertura com olhal fixado.....	64
Figura 27 – Corte esquemático para telhados em steel frame ou metálica convencional.	66
Figura 28 – Contraventamento da estrutura da cobertura.....	66
Figura 29 – Telhas de fibrocimento depositadas no canteiro de obras.....	68
Figura 30 – Parafuso de fixação das telhas.....	69
Figura 31– Detalhamento da fixação do rufo na platibanda.....	70
Figura 32 – Detalhamento da fixação da calha na platibanda.....	70

Figura 33 – Detalhamento da fixação do tubo de ventilação.....	71
Figura 34 – Detalhamento da impermeabilização da platibanda.....	72
Figura 35 – Execução da impermeabilização da platibanda.....	73
Figura 36 – Alocação dos materiais para execução do telhado.....	74
Figura 37 – Detalhamento da fixação da saída de pluvial do telhado.....	75
Figura 38 – Vedação do encontro entre rufo e platibanda.....	76
Figura 39 – Aspecto final da cobertura.....	76
Figura 40 – Projeto arquitetônico da cobertura de torre geminada.....	77
Figura 41 – Cronograma para execução do telhado.....	78
Figura 42 – Perfil metálica usado na estrutura das coberturas.....	79
Figura 43 – Vedação dos buzinotes mal executada	84
Figura 44 – Vedação das calhas mal executada.....	85
Figura 45 – Abertura entre encontro de telha, rufo e platibanda	88
Figura 46 – Telhas desencaixadas e quebradas.....	89
Figura 47 – Descolamento da camada de impermeabilização.....	90
Figura 48 – Vedação de ventilações.....	91
Figura 49 – Aplicação de poliuretano insuficiente.....	92
Figura 50 – Produto de vedação descolando da superfície.....	92
Figura 51 – Platibanda com sujeira.....	93
Figura 52 – Telhas fissuradas	94
Figura 53 – Uso de tábuas de madeira para distribuir o peso sobre as telhas.....	95
Figura 54 – Platibanda com caimento invertido.....	96
Figura 55 – Detalhamento da platibanda e seu caimento.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo, em 2001	25
Tabela 2 – Dimensões normais para vigas de cobertura com altura variável	30
Tabela 3 – Aços-carbono normalmente usados em estruturas	31
Tabela 4 – Aços de baixa liga normalmente usados em estruturas	33
Tabela 5 – Designação dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF e suas respectivas aplicações	37
Tabela 6 – Cargas à flexão de telhas cerâmicas	44
Tabela 7 – Inclinação de telhados para telhas mediterrâneas	44
Tabela 8 – Inclinação de telhados para telhas coloniais	45
Tabela 9 – Espessura de telhas de fibrocimento	45
Tabela 10 – Largura de telhas de fibrocimento	46
Tabela 11 – Inclinação de telhados para telhas de fibrocimento	46
Tabela 12 – Cargas mínimas admissíveis à ruptura	47
Tabela 13 – Sobrecargas admissíveis para telhas onduladas	49
Tabela 14 – Sobrecargas admissíveis para telhas trapezoidais	50
Tabela 15 – Temperaturas máximas para telhas de aço galvanizado	50
Tabela 16 – Comparativo de desempenho de telhas.....	51
Tabela 17 – Capacidade à sobrecarga de telhas termoacústicas	52
Tabela 18 – Performance acústica e térmica da lã de vidro	53
Tabela 19 – Características dos tipos de mantas asfálticas	55
Tabela 20 – Características dos revestimentos de mantas asfálticas	56
Tabela 21 – Propriedades da argamassa polimérica semi flexível	61
Tabela 22 – Propriedades da argamassa polimérica flexível	62
Tabela 23 – Espessura dos tubos galvanizados utilizados na estrutura.....	65
Tabela 24 – Dados das telhas de fibrocimento.....	67
Tabela 25 – Número de apoios por telha de fibrocimento 6mm e 8mm.....	68
Tabela 26 – Custo total do telhado de fibrocimento com estrutura metálica.....	81
Tabela 27 – Levantamento do relatório fotográfico.....	83
Tabela 28 – Gráfico de Pareto – Local da Não Conformidade.....	86
Tabela 29 – Gráfico de Pareto –Tipo de Não Conformidade.....	87
Tabela 30 – Custo total da cobertura de laje impermeabilizada.....	104

Tabela 31 – Comparativo de diferentes tipos de telhamento.....	109
Tabela 32 – Comparativo de diferentes tipos de cobertura	110

LISTA DE SIGLAS

ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CUB - Custo Unitário Básico

EPC - Equipamento de proteção coletiva

EPI – Equipamento de proteção individual

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

LSF – Light Steel Frame

MCMV – Minha Casa Minha Vida

PVC - Policloreto de vinila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÕES DA PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS	14
2.2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
2.3 DELIMITAÇÃO	15
2.4 LIMITAÇÃO	15
2.5 DELINEAMENTO	16
3 TELHADOS	18
3.1 FUNÇÕES PRINCIPAIS DE COBERTURAS	18
3.2 DEFINIÇÕES	18
3.3 TIPOS DE ESTRUTURA	24
3.3.1 ESTRUTURAS DE MADEIRA	24
3.3.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	27
3.3.3 LAJES DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO	32
3.3.4 ESTRUTURA DE AÇO	33
3.3.5 ESTRUTURA DE STEELFRAME	36
3.4 TELHAS	43
3.4.1 TELHAS CERÂMICAS	43
3.4.2 TELHAS DE FIBROCIMENTO	45
3.4.3 TELHAS METÁLICAS	45
3.4.4 TELHAS SANDUÍCHE	51
3.4.5 LÃ DE VIDRO	54
3.5 IMPERMEABILIZANTES	54
3.5.1 MANTA ASFÁLTICA	55
3.5.2 MEMBRANAS MOLDADAS IN LOCO	58
3.5.3 ARGAMASSAS POLIMÉRICAS	60
3.5.4 SELANTE DE POLIURETANO	62
4 O SISTEMA CONSTRUTIVO DE COBERTURAS APLICADO À OBRA	63
OBJETO DE ESTUDO.....	63
4.1 ESTRUTURA DE CONCRETO.....	63

4.2 ESTRUTURA DO TELHADO	63
4.3 TELHAS E SUA FIXAÇÃO	66
4.4 CALHAS, RUFOS E EXTRAVASORES	69
4.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DA PLATIBANDA	71
4.6 EXECUÇÃO DA COBERTURA	72
4.6.1 EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA PLATIBANDA	73
4.6.2 EXECUÇÃO DO TELHADO	74
4.7 CUSTOS DA COBERTURA	78
4.7.1 CUSTOS DA MÃO DE OBRA	78
4.7.2 CUSTOS DAS TELHAS	79
4.7.3 CUSTO DA ESTRUTURA METÁLICA	79
4.7.4 CUSTOS ADICIONAIS	80
4.7.5 CUSTO TOTAL	81
5 NÃO CONFORMIDADES DO SISTEMA CONSTRUTIVO ATUAL	82
5.1 DADOS DO RELATÓRIO	82
5.2 ANÁLISE DOS DADOS	86
5.3 EXECUÇÃO OU ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	88
5.4 VEDAÇÃO OU IMPERMEABILIZAÇÃO	89
5.5 QUEBRAS E DANOS	93
5.6 CAIMENTO	95
6 COMPARATIVO ENTRE SISTEMA ATUAL E SISTEMAS ALTERNATIVOS DE COBERTURA	98
6.1 ESTRUTURAS	99
6.1.1 ESTRUTURA DE MADEIRA	99
6.1.1.1 DISPONIBILIDADE NO MERCADO	99
6.1.1.2 DESEMPENHO	99
6.1.1.3 TEMPO DE EXECUÇÃO	100
6.1.1.4 CUSTO	100
6.1.2 ESTRUTURA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	100
6.1.3 ESTRUTURA DE LAJE IMPERMEABILIZADA	101
6.1.3.1 DISPONIBILIDADE NO MERCADO	102
6.1.3.2 TEMPO DE EXECUÇÃO	102
6.1.3.3 CUSTO DE EXECUÇÃO	103
6.1.3.3.1 MÃO DE OBRA	103

6.1.3.3.2 CUSTO MATERIAIS	103
6.1.3.3.3 CUSTO TOTAL	104
6.1.3.3.4 PARTICULARIDADES DO SISTEMA	104
6.1.4 COMPARATIVO DE ESTRUTURAS	105
6.2 TELHAMENTO	106
6.2.1 TELHAS CERÂMICAS	106
6.2.2 TELHAS DE FIBROCIMENTO	107
6.2.3 TELHAS METÁLICAS	107
6.2.4 TELHAS SANDUÍCHE	108
6.2.5 LÃ DE VIDRO	108
6.2.6 COMPARATIVO DO TELHAMENTO	109
6.3 COMPARATIVO DOS SISTEMAS	110
7 CONCLUSÃO	111
REFERÊNCIAS	113

1 INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil brasileira vem sofrendo uma mudança de paradigma. Com a extensa crise econômica que assola o país no período de 2015 a 2018, a população viu seu poder de compra reduzir drasticamente. Um dos setores mais afetados por esta crise foi o setor imobiliário, que viu uma alteração na demanda por seus produtos. A procura por moradia barata e acessível aumentou vertiginosamente, sendo apoiada pelo programa MCMV (Minha Casa Minha Vida), iniciativa do governo federal brasileiro a partir de 2009, o qual subsidia a aquisição de moradia para famílias de baixa renda.

Os empreendimentos estudados neste trabalho são classificados na faixa 1.5 do programa, que limita o valor de venda de uma unidade a R\$ 135.000,00. Como o valor da unidade vendida é reduzido, é necessário procurar incessantemente opções de sistemas construtivos que tenham seu custo otimizado ao máximo, porém ainda atendendo as exigências mínimas de desempenho.

O principal ponto do trabalho é a análise do sistema de cobertura que é executado nas obras estudadas, que é composto por uma estrutura metálica de aço galvanizado e telhamento de fibrocimento. Essa opção se demonstra bastante comum no cenário da construção civil brasileira, porém é importante salientar que existem outros sistemas construtivos que podem trazer benefícios, econômicos e de desempenho, quando comparados ao sistema escolhido nestes empreendimentos.

A escolha da melhor opção de cobertura pode reduzir os custos de uma obra e aumentar a eficiência e velocidade da mesma, fatores essenciais no padrão construtivo comercial no qual a construtora se situa. Além disso, um sistema de cobertura que não seja ideal para as condições da edificação, ou mal executado, pode acarretar em grandes custos de manutenção e reparos, que acabam por encarecer a obra e tornar o empreendimento um investimento não rentável para a empresa executora.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

A fim de se obter uma pesquisa concisa e clara, foram definidas as suas diretrizes, conforme os itens abaixo.

2.1 QUESTÕES DE PESQUISA

Definem-se as seguintes questões:

- (1) quais são as manifestações patológicas e custos do sistema de cobertura atualmente sendo executado nas obras estudadas?
- (2) quais as vantagens e desvantagens de opções disponíveis no mercado em comparação com o sistema atual?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A pesquisa define seus objetivos principais e secundários, conforme os itens abaixo.

2.2.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS

O principal objetivo desta pesquisa visa fazer uma comparação entre o atual sistema de cobertura usado nas obras estudadas, ou seja, estrutura metálica com telhamento de fibrocimento, e as outras opções que existem no mercado da construção civil brasileiro. Com seu principal foco no material e método de execução da estrutura, no telhamento utilizado e nas opções de impermeabilização que podem ser aplicadas na cobertura escolhida.

2.2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Realizar um levantamento das manifestações patológicas encontradas na execução do telhado em uma obra do programa MCMV. Esse levantamento foi feito no momento da entrega do empreendimento, e indicou todos os problemas de execução e manifestações patológicas devido às falhas no sistema de cobertura. Através desse levantamento, foi possível a análise da viabilidade da atual solução de cobertura, composto por estrutura metálica e telha de

fibrocimento. Também realizou-se o acompanhamento da execução do sistema de cobertura atual, observando-se o tempo de execução, complexidade do serviço e número de operários.

2.3 DELIMITAÇÃO

O presente estudo delimita-se à análise da execução de coberturas em edificações habitacionais de empreendimentos do programa MCMV (Minha Casa Minha Vida) de uma única empresa que atua na cidade de Porto Alegre.

Os componentes da cobertura analisados são:

- Estrutura da cobertura;
- Telhamento;
- Impermeabilização do sistema;

Foi feita uma análise das manifestações patológicas encontradas pela empresa na entrega dos empreendimentos estudados, possibilitando um estudo estatístico dos relatórios apresentados.

O trabalho faz uma comparação entre o sistema de cobertura utilizado nas obras estudadas e as diversas opções do mercado, sendo os pontos da comparação os seguintes:

- Desempenho;
- Custo;
- Execução;

2.4 LIMITAÇÃO

Tem-se como limitação deste presente trabalho a análise de coberturas aplicadas às habitações do programa MCMV, no qual existe um processo de especificações técnicas pré-definidas pela empresa construtora estudada. Procedimentos executivos de outras construtoras podem vir a diferir e, portanto, não poderão se basear nos resultados mostrados ao final da pesquisa.

Como o modelo de construção utilizado pela construtora se aplica em diferentes regiões do país, o estudo não considerou as especificações climáticas da região onde as obras se encontram. Possibilitando assim a extrapolação do estudo para os demais climas do país, sendo necessária posterior análise da viabilidade por efeito de condições climáticas desfavoráveis.

2.5 DELINEAMENTO

O presente trabalho consiste, em sua primeira parte, de uma revisão bibliográfica dos principais elementos que compõem um sistema de cobertura, sendo eles a estrutura, o telhamento e a impermeabilização. O item se baseia nas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a qual disponibiliza balizamento sobre o uso dos diversos materiais e sistemas construtivos estudados. Além disso, também se fez uso da literatura nacional que aborda as diferentes técnicas para execução de coberturas, tanto como a utilização de trabalhos acadêmicos, artigos e catálogos de fornecedores dos materiais aplicados.

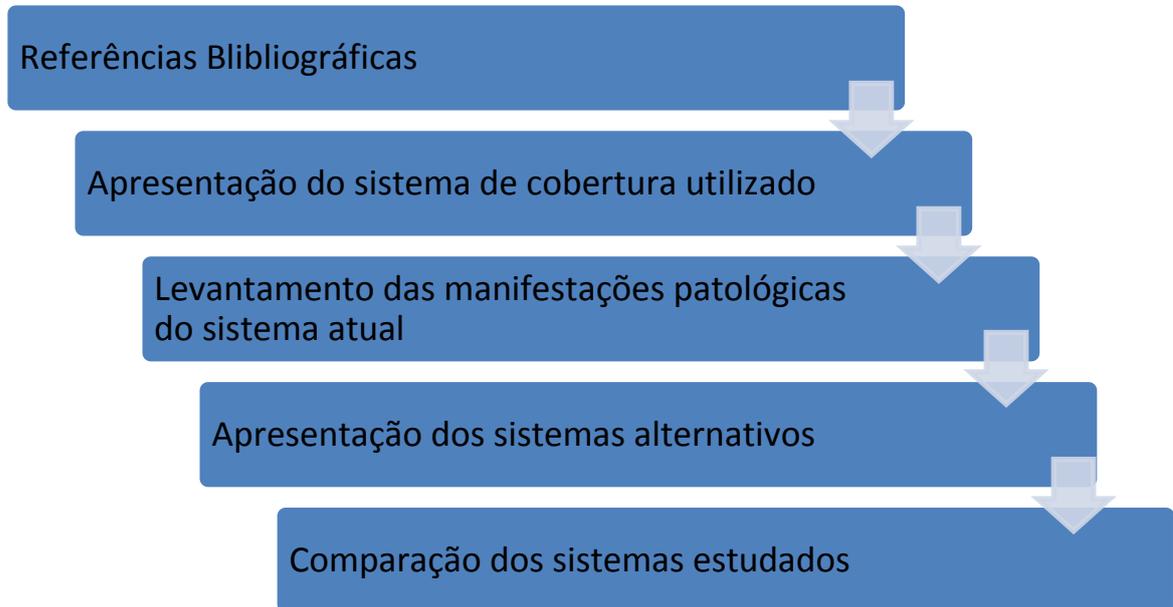
Para a segunda parte do trabalho se fez uso de um levantamento de manifestações patológicas realizado pela construtora estudada para analisar o desempenho da atual solução de cobertura das edificações construídas pela mesma. Esse relatório é realizado na entrega final do empreendimento para os clientes e mapeia todos os problemas de execução e desempenho de todas as partes constituintes da edificação. O trabalho foca apenas nas manifestações patológicas encontradas nas coberturas, usando esse relatório para descaracterizar a solução atual como viável, devido ao alto número de problemas encontrados.

Posteriormente foram apresentadas todas as soluções alternativas de coberturas que são viáveis para o empreendimento, analisando as opções disponíveis no mercado da construção civil brasileira. Foram elencadas as vantagens e desvantagens do uso de cada solução aplicadas às edificações estudadas.

Ao final do trabalho foi feita uma comparação de todas as opções estudadas e a solução atualmente usada nos empreendimentos executados. Esta comparação tem como objetivo encontrar a forma mais prática, rápida e econômica de executar o sistema de cobertura, características muito relevantes no mercado da construção civil de baixa renda.

Em ordem, a pesquisa se deu da seguinte forma:

Figura 1 – Fluxograma da realização da pesquisa



3 TELHADOS

Neste capítulo serão apresentadas as funções principais de um telhado, tanto como a definição de nomenclatura e especificação de aspectos próprios de diversos tipos de soluções para coberturas usualmente utilizadas na construção civil brasileira.

3.1 FUNÇÕES PRINCIPAIS DE COBERTURAS

É definida como a parte superior das edificações que protege das intempéries, tendo função de isolante térmico e acústico da edificação, em vista do conforto térmico do usuário (Flach, R. S, 2010). Moliterno (2010, p. 1.) define que o telhado destina-se a proteger o edifício contra a ação das intempéries, tais como chuva, vento, raios solares, neve e também impedir a penetração de poeiras e ruídos no seu interior. Cardão (1981, p. 66.) cita também a função estética em prédios de menor altura que a cobertura pode possuir.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define que o sistema de cobertura disposto no topo da construção tem como função assegurar a estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional.

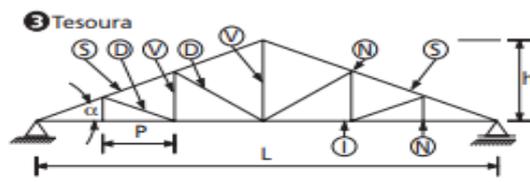
3.2 DEFINIÇÕES

Se caracteriza vulgarmente como telhado qualquer sistema de cobertura de uma edificação. Entretanto, o telhado se trata apenas de um tipo de cobertura, normalmente possuindo um ou mais planos inclinados em relação à linha horizontal (Flach, R. S, 2010). Moliterno (2010, p. 1.) explica que “[...] nem todo o sistema de proteção superior de um edifício, obrigatoriamente, constituí-se num telhado como, por exemplo, lajes com espelho d’água, terraços e jardins suspensos [...]”.

Para o prosseguimento do trabalho, é importante definir os termos utilizados para a estrutura do telhado, indicados em NBR 15575-5 (ABNT, 2013), (Moliterno, 2010) e (Flach, R. S, 2010).

- a) Telhado: sistema de fechamento superior da edificação, podendo ser de materiais diversos, desde que impermeáveis às águas pluviais e resistentes à ação do vento e intempéries. A cobertura pode ser de telhas cerâmicas, telhas de concreto (planas ou capa e canal) ou de chapas onduladas de fibrocimento, aço galvanizado, PVC (Policloreto de vinila), asfáltica (*shingle*) ou *fiberglass*.
- b) Armação: conjunto de elementos estruturais para sustentação do sistema, tais como: ripas, caibros, terças, tesouras e contraventamentos. Podendo estas serem executadas em madeira, aço, alumínio ou concreto armado.
- c) Tesoura: viga principal em treliça, com função de transferir as cargas do telhado aos pilares ou paredes da edificação.
- d) Terças: vigas apoiadas sobre tesouras.
- e) Mãos-francesas: escoras com função de aliviar a flexão das terças. Também servem como travamento para os nós inferiores da tesoura.
- f) Contraventamento vertical: estrutura vertical plana formada por barras cruzadas, dispostas perpendicularmente ao plano da tesoura. Tem função de travamento da tesoura, impedindo sua rotação e deslocamento causado majoritariamente pela ação dos ventos. Também é elemento de vinculação do banzo inferior à flambagem lateral.
- g) Contraventamento horizontal: estrutura horizontal plana formada por barras cruzadas colocadas no plano abaixo à cobertura. Seu propósito é a amarração do conjunto de tesouras e terças.

Figura 2 – Elementos de uma tesoura



(Fonte: MOLITERNO, 2010, p. 9.)

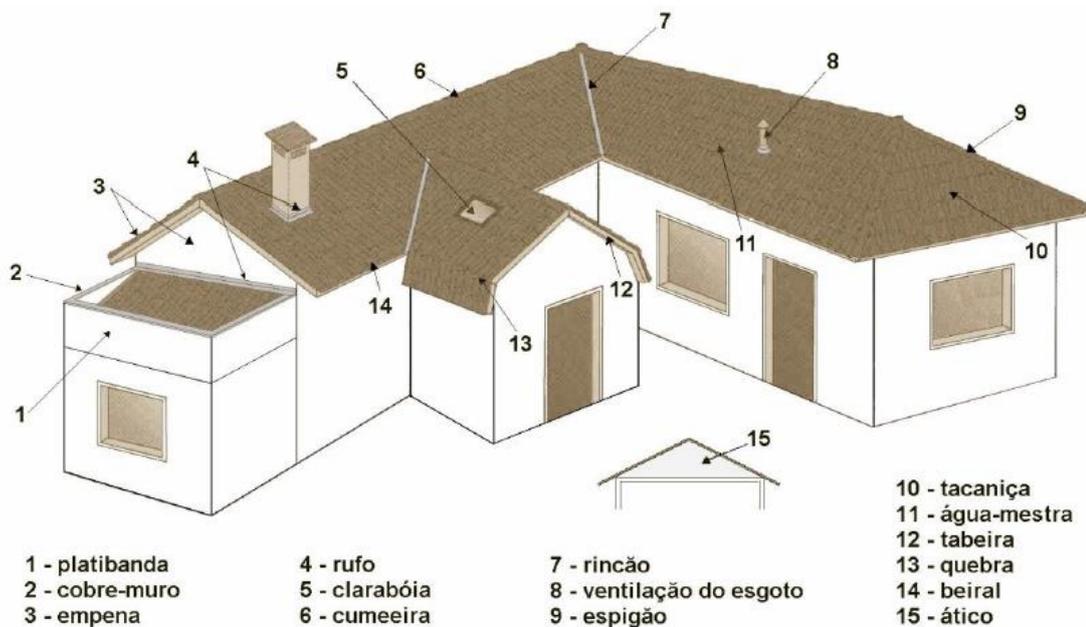
- S – Banzo superior
- I – Banzo inferior
- V – Barras verticais ou simplesmente verticais
- D – Barras diagonais ou simplesmente diagonais
- N – Nó ou junta – ponto de interseção de barras
- P – Paineis – distância entre dois nós
- h – Altura da tesoura
- L – Vão da tesoura – distância entre os apoios extremos
- α – Inclinação da tesoura

Também se faz necessária a definição de componentes complementares ao telhado, os quais não fazem parte da estrutura do mesmo, porém garantem suas funções primordiais, conforme Flach (2010) e NBR 8039 (ABNT, 1983). A figura 3 representa alguns destes componentes.

- a) Platibanda: faixa horizontal, podendo ser um muro, ou grade, que emoldura a parte superior de um edifício. Seu principal objetivo é realizar o fechamento da periferia do telhado. Como a platibanda é um elemento que fica exposto aos raios solares, a radiação absorvida pela platibanda é transformada em calor que irá alterar a temperatura dos componentes da fachada e da cobertura. Essa variação da temperatura produzirá variações dimensionais que são resultantes da dilatação e contração que todo material apresenta nessas condições. (CORREA; RAMALHO, 2012).
- b) Rufo: tem como função proteger as paredes expostas que estão, geralmente, acima do telhado. Evitam infiltrações entre o telhado e as paredes, além de proteger as paredes de cobertura de infiltrações por percolação.
- c) Cumeeira: linha horizontal definida pelo encontro de duas águas. Normalmente se localiza na parte mais alta do telhado.
- d) Espigão: linha inclinada definida pelo encontro de duas águas que formam um ângulo saliente.

- e) Rincão: similar ao espigão, é uma linha inclinada definida pelo encontro de duas águas, entretanto, neste caso, o ângulo formado pelas águas é reentrante.
- f) Água: superfície plana inclinada do telhado. O telhado pode ser formado de uma, ou múltiplas águas.
- g) Beiral: parte do telhado que está localizada na parte de fora do alinhamento da parede.
- h) Tacaniça: água que se apoia em dois espigões, tendo uma forma triangular.

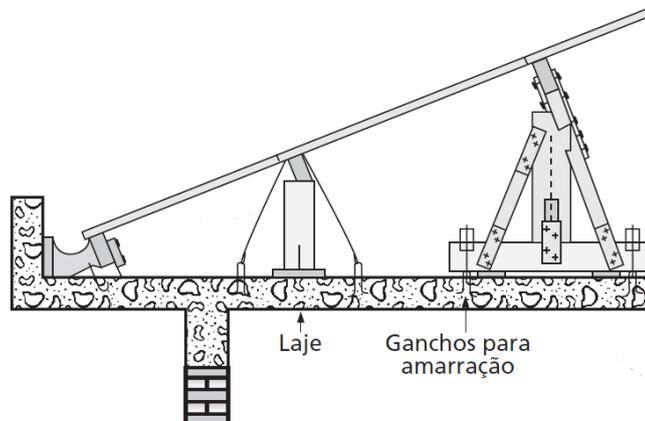
Figura 3 – Partes constituintes de um telhado usual



(fonte: ABNT, 2008, p. 6)

A configuração de telhado acima é aplicada usualmente em residências e estruturas convencionais, onde a cobertura não possui uma platibanda e não é de interesse arquitetônico esconder o telhado. Entretanto, conforme Moliterno (2010, p. 6), quando a cobertura tem, na extensão de seu perímetro, uma platibanda, é necessário que esta seja coberta por uma calha e rufo. Na figura 4, é representada a estrutura de um telhado pontaletado, que será explicado posteriormente, nesta estrutura é comum a necessidade do uso de platibanda, representando a configuração explicada anteriormente.

Figura 4 – Configuração do Telhado Pontaletado

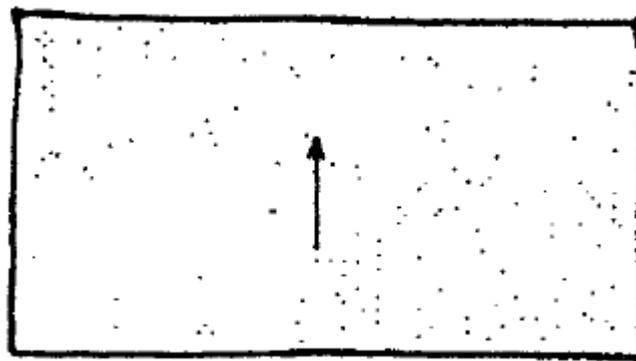


(fonte: Moliterno, 2010, p. 106)

O telhado precisa ter a característica de adquirir diversas formas, em função da planta da edificação a ser coberta (IPT, 1998, p. 4). Estas formas são caracterizadas conforme abaixo:

- a) Telhado de uma água ou alpendre: telhado da forma mais simples possível. Conforme figura 5. Neste caso não são encontradas algumas estruturas básicas usualmente verificadas nos telhados, como cumeeira, espigão e rincão.

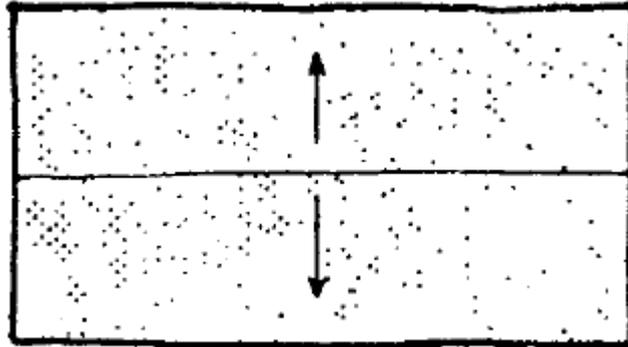
Figura 5 – Telhado de uma água



(fonte: IPT, 1998, p. 4)

- b) Telhado de duas águas: é constituído por dois planos inclinados, conforme figura 6. A linha de encontro entre os planos é denominada de cumeeira

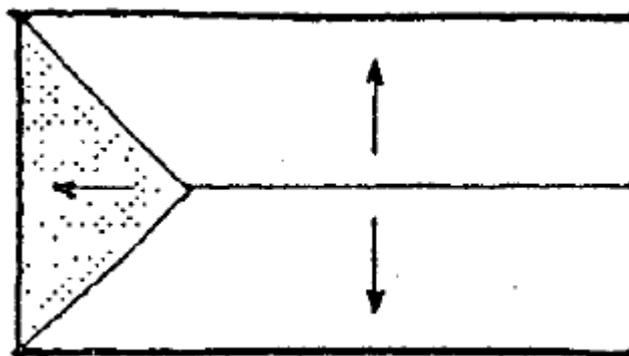
Figura 6 – Telhado de duas águas



(fonte: IPT, 1998, p. 4)

- c) Telhado de três águas: possui dois planos inclinados, similar ao telhado de duas águas, porém também é constituído por um terceiro plano, triangular, que recebe o nome de tacaniça. Neste caso, além da cumeeira, o telhado possui dois espigões. A figura 7 representa esta configuração.

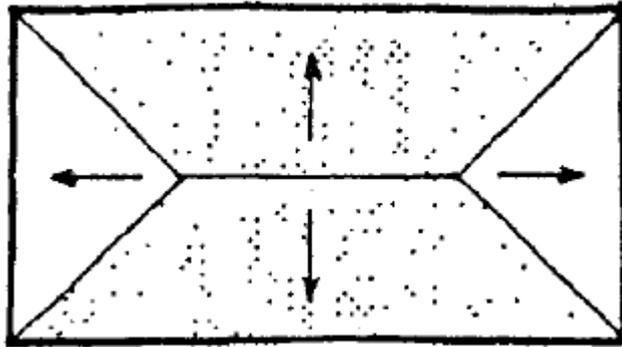
Figura 7 – Telhado de três águas



(fonte: IPT, 1998, p. 4)

- d) Telhado de quatro ou mais águas: no caso do telhado de quatro águas, é constituído por uma cumeeira e duas tacaniças. Conforme figura 8.

Figura 8 – Telhado de quatro águas



(fonte: IPT, 1998, p. 4)

3.3 TIPOS DE ESTRUTURAS

Neste capítulo serão estudados os tipos de estrutura disponíveis no mercado da construção civil brasileira, elencando suas características para futura comparação entre os mesmos.

3.3.1 ESTRUTURAS DE MADEIRA

“[...]Na construção civil, a madeira é utilizada de diversas formas em usos temporários, como: fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos. De forma definitiva, é utilizada nas estruturas de cobertura, nas esquadrias (portas e janelas), nos forros e pisos[...]”. (IPT, 2003, p. 12). Aproximadamente 50% da madeira usada na construção civil no ano de 2001 foi destinado à execução de coberturas, demonstrando a magnitude do uso destes materiais para a execução de estrutura de telhados, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo, em 2001

Uso na construção civil	Consumo	
	1000m ³	%
Estruturas de cobertura	891,7	50
Andaimos e formas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	1783,3	100

(fonte: IPT, 2003, p. 12)

É interessante elencar os tipos de estrutura de madeira disponível para execução no Brasil, considerando suas propriedades, vantagens e desvantagens:

- a) Estrutura descontínua de madeira serrada: sua estrutura principal é formada por tesouras, sendo que a estrutura secundária é constituída por caibros, ripas e terças.

É importante definir estes últimos três elementos da estrutura do telhado e suas respectivas funções, conforme Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo (1988, p. 1) e Moliterno (2010, p. 3):

Terças: é definida por uma viga horizontal, posicionada paralelamente ao beiral, que é apoiada nas tesouras e tem função de sustentação aos caibros de maneira a transmitir as cargas diretamente sobre os nós das tesouras (IPT, 1988, p. 25).

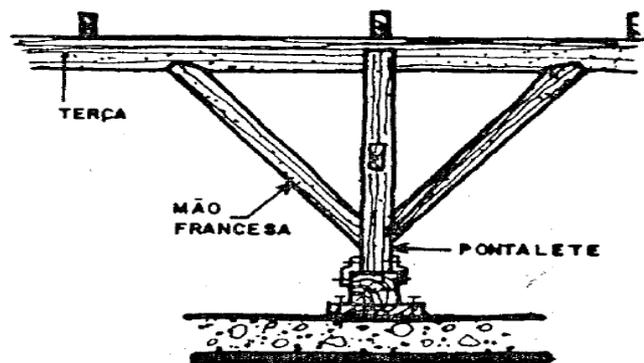
Caibros: peças de madeira, que são apoiadas sobre as terças, atuando por sua vez como suporte às ripas, seu uso é dispensado para estruturas que suportam telhas de fibrocimento ou metálicas.

Ripas: peças de madeira fixadas sobre os caibros, tendo como principal função o apoio às terças. Como os caibros, o uso das ripas não é necessário quando se faz uso de telhas de fibrocimento ou metálicas.

Conforme Flach (2010, p. 73) é recomendado o uso destas estruturas tradicionais para edificações residenciais e comerciais de pequenos vãos. Tendo como vantagem no uso a leveza nas peças, possibilitando sua montagem manual, a flexibilidade de adequação dos projetos em obra e o maior conhecimento popular, facilitando sua aceitação. Entretanto, o uso deste tipo de estrutura tem como desvantagem a necessidade de mão de obra qualificada, o produto final é extremamente dependente da qualidade do serviço do executor e o material utilizado é suscetível a ataque de fungos e cupins.

- b) Estrutura pontaletada com madeira serrada: é uma estrutura que pode ser usada para empreendimentos econômicos, muito aplicado em coberturas de geometria irregular. “[...] Como o próprio nome indica, as terças são apoiadas em pontaletes, de altura variável com a inclinação do telhado, e enrijecidas com sarrafos ou caibros que servem de contraventamento. Os pontaletes distribuem as cargas permanentes e acidentais diretamente sobre as lajes do forro [...]”. (Moliterno, 2010, p. 105). Conforme o IPT (Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo) (1988, p. 21) o contraventamento deve ser feito dos dois lados dos pontaletes, sendo recomendado que a estrutura seja contraventada nas duas direções, ou seja, na direção do pontalete e perpendicular a esta, conforme figura 9 abaixo.

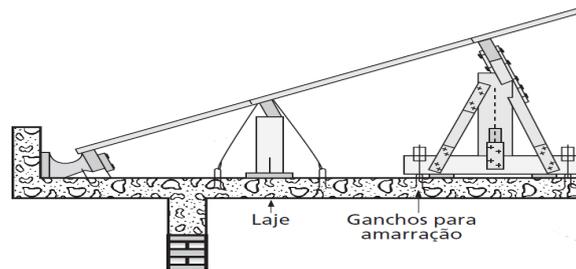
Figura 9 – Madeiramento tradicional



(fonte: IPT, 1988, p. 21)

Também é recomendado pelo IPT (1988, p. 21) que os pontaletes não devem ser apoiados diretamente sobre a laje de cobertura, mas sim sobre uma placa de apoio, que pode ser constituída de pranchas ou vigas de madeira. Moliterno (2010, p. 106) indica que estas placas devem ser ser fixadas na laje por ganchos para amarração, conforme figura 10 abaixo.

Figura 10 – Configuração do Telhado Pontaletado



(fonte: Moliterno, 2010, p. 106)

3.3.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Segundo El Debs (2000, p. 5), o emprego do concreto pré-moldado apresenta duas diretrizes. Sendo elas a constante industrialização da construção, fator muito presente do ramo atualmente, e a racionalização da execução de estruturas de concreto.

Efetivamente, no início dos anos de 1980 a pré-fabricação de concreto começa a ter maior visibilidade na construção civil brasileira, pelo meio de obras industriais e de empresas multinacionais que já haviam adotado esse sistema construtivo em obras fora do Brasil, já trazendo o conceito de alta produtividade e industrialização como principais pilares de sua filosofia construtiva. Até 1990, o sistema construtivo pré-fabricado, difundido por obras comerciais e industriais, era associado à obras com pouca liberdade arquitetônica. Entretanto, após esse período, com o advento de inovações tecnológicas que possibilitaram maior eficiência estrutural, o uso deste sistema foi difundido para todo o mercado construtivo brasileiro (ABDI, 2015).

El Debs (2000, p. 260) define peças de concreto pré-moldado como aquelas que são moldadas fora de sua posição de construção definitiva. Em coberturas de edificações, majoritariamente de configurações retangulares, pode-se utilizar o concreto pré-moldado como elementos que cobrem os vãos principais da estrutura ou como vigamento secundário. Segundo NBR 9062

(ABNT, 2006), o concreto pré-fabricado é “[...] executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadram e atendem aos requisitos mínimos das especificações [...]”. O concreto pré-moldado dispensa o uso de laboratório e demais instalações congêneres próprias. Esta norma distingue o concreto pré-moldado do pré-fabricado, estabelecendo condições específicas de projeto, produção e controle de execução.

Em concretos pré-moldados, o cobrimento mínimo para qualquer barra de armadura é de 5mm, já para concretos pré-fabricados adota-se os seguintes cobrimentos mínimos:

- Lajes em concreto armado ≥ 15 mm
- Demais peças em concreto armado (vigas / pilares) ≥ 20 mm
- Peças em concreto protendido ≥ 25 mm
- Peças delgadas protendidas (telhas/nervuras) ≥ 15 mm
- Lajes alveolares protendidas ≥ 20 mm

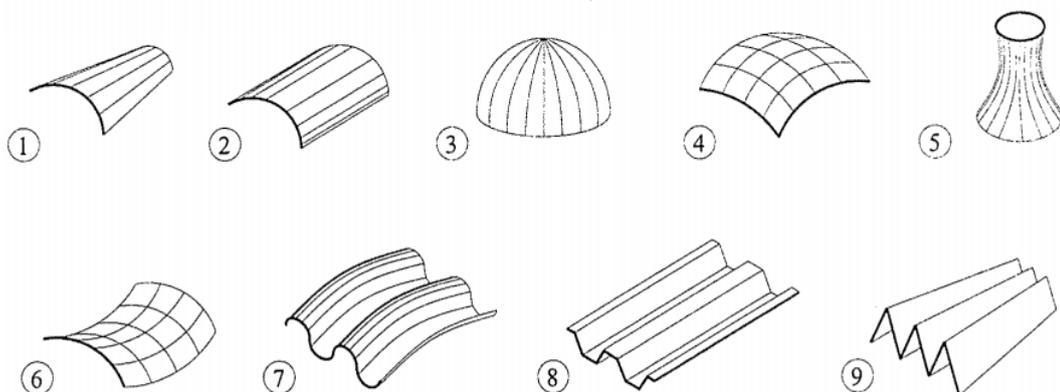
El Debs (2000, p. 23) atenta ao fato de que o projeto de estruturas de concreto pré-moldado diferencia-se da situação de concreto moldado *in loco*, pois é necessário considerar outras situações de cálculo, além da final da estrutura, como a desmoldagem, transporte, armazenamento e montagem, que podem representar situações mais críticas que a situação final. Também se faz necessário o dimensionamento da estrutura contra o fogo. Segundo Van Acker (2002, p. 5), as estruturas em concreto armado resistem de 60 a 120 minutos ao fogo. Para edificações comerciais, todas as peças atingem as exigências de resistência à 60 minutos. Para outros tipos de edificações, pode-se aumentar o cobrimento para atender à demanda ao fogo.

Além disso, também é necessário considerar as particularidades das ligações entre as peças pré-moldadas. “[...] As ligações mais simples, normalmente articulações, acarretam elementos mais solicitados à flexão comparados com similares de concreto moldado no local, bem como estrutura com pouca capacidade de redistribuição de esforços. Já as ligações que possibilitam a transmissão de momentos fletores, chamadas de ligações rígidas, tendem a produzir estruturas com comportamento próximo ao das estruturas de concreto moldado no local. [...]” (El Debs, 2000, p 24).

Nesta parte do trabalho serão elencados os tipos de estrutura de coberturas que podem ser formadas com o uso do concreto, também destacando suas vantagens e desvantagens. Serão divididos, conforme El Debs (2000, p. 301), em estruturas contínuas e descontínuas. Sendo as estruturas contínuas elementos que formam coberturas semelhantes ao das cascas e folhas poliédricas, com elementos que cobrem os vãos principais da estrutura. Já as coberturas descontínuas são elementos que formam arcos ou pórticos, que necessitam de estrutura secundária e telhas ou outro material de vedação. É importante salientar que, embora coberturas de concreto podem ser aplicadas em qualquer tipo de construção, como edifícios de múltiplos pavimentos, há uma forte relação com coberturas de grandes vãos, como galpões e ginásios de esporte.

- a) Estrutura em Casca ou Folha Poliédrica: segundo El Debs (2000, p. 301), as estruturas de concreto em casca ou folha poliédrica podem adquirir diversas formas, conforme figura 11. Por este motivo, o emprego de pré-moldados se faz necessário para este tipo de cobertura. “[...]Dito de outra forma, nesses tipos estruturais faz-se o "uso da forma" para possibilitar o emprego de espessuras bastante reduzidas, quando comparadas com outros tipos estruturais com esforços de flexão preponderantes. [...]” (El Debs, 2000, p. 302). A ABCI (Associação Brasileira da Construção Industrializada) (1986) é recomendado que todas as juntas sejam impermeabilizadas para garantir que a cobertura esteja estanque.

Figura 11 – Formas básicas das cascas e folhas poliédricas



(fonte: El Debs, 2000, p. 302)

Segundo Flach (2010), a opção de coberturas em casca ou folha poliédrica possui a vantagem de ser um produto industrial, tendo assim projeto prévio e tendência de grande qualidade. Além disso, pode-se destacar a alta resistência a ataques químicos, físicos e biológicos do sistema e a rapidez na execução. Entretanto, as folhas ou cascas possuem grande peso próprio, encarecendo a montagem pelo uso de equipamentos de elevação e transporte. Outro fator que dificulta a execução é a necessidade de grande área de estoque para as peças. Também se encontram manifestações patológicas de corrosão da armadura se a mesma não for executada adequadamente.

- b) Estrutura descontínua de concreto pré-moldado: segundo Flach (2010) este tipo de estrutura possui as mesmas características dos telhados de madeira, ou seja, a presença de tesouras, terças, caibros e ripas. Neste caso, conforme El Debs (2000, p. 261) em substituição às tesouras, também se recorre ao vigamento secundário, com uso de terças de concreto, e cobertura inclinada com telhas de pequenas dimensões.

Conforme Van Acker (2002, p. 66) a seção em I é normalmente empregada para as vigas. A inclinação da cobertura varia de 5 a 12%. Os tamanhos usuais de vigas podem ser verificados na tabela 2 abaixo.

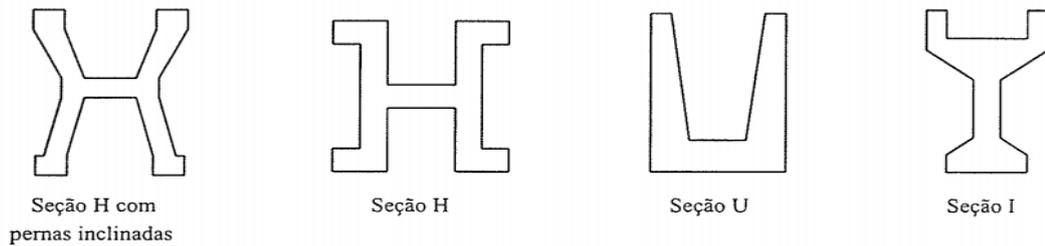
Tabela 2 – Dimensões normais para vigas de cobertura com altura variável

Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura da Alma (mm)	Vão (m)
250 – 300	800 – 1400	80 - 120	10 – 25
300 – 400	1200 – 2000	80 - 120	15 – 25
300 – 500	1300 – 2500	80 - 120	25 – 40

(fonte: Van Acker, 2002, p. 66)

Também podem ser utilizadas vigas de forma especial, conforme figura 12 abaixo.

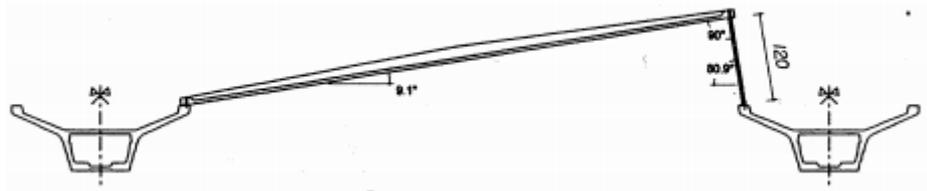
Figura 12 – Formas de seção transversal de vigas calhas



(fonte: El Debs, 2000, p. 261)

Outra solução para este tipo de estrutura são as coberturas tipo “shed”. Conforme Van Acker (2000, p. 66), são bastante empregadas na Itália, e podem vencer vãos de 15 a 28 metros, conforme figura 13 abaixo.

Figura 13 – Exemplo de cobertura tipo “shed”



(fonte: Van Acker, 2002, p. 66)

Para a estrutura descontínua de concreto armado, conforme Flach (2010) essa opção possui vantagens similares às folhas e cascas, porém destacando o fato de que algumas soluções possuem uma maior disponibilidade no mercado da construção civil brasileira. Igualmente às coberturas de concreto mencionadas anteriormente, estas coberturas também possuem os mesmos problemas de encarecimento da montagem, necessidade de grande espaço de estoque e suscetibilidade à corrosão da armadura.

3.3.3 LAJES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

É importante também a análise da opção de cobertura apenas com uma laje de concreto armado, pois se demonstra uma opção que substitui a presença do telhado, sendo a própria laje responsável por resistir às intempéries e proteger o interior da edificação (Nakamura, 2016).

“[...] As lajes são elementos estruturais laminares planos, solicitados predominantemente por cargas normais ao seu plano médio. Nas estruturas laminares planas, predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira que é a espessura. [...]” (Noronha, 2012). Segundo NBR 6118 (ABNT, 2014) as espessuras mínimas para lajes de concreto são:

- a) 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 10 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- d) 15 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;

É importante salientar que a espessura da laje escolhida também precisa atender às normas de desempenho estabelecidas na NBR 15575-5: Requisitos para sistemas de coberturas. Entretanto, não é o intuito deste trabalho se alongar em todas as solicitações que cada tipo de cobertura atende, mas sim uma comparação de custo e execução das opções escolhidas.

As lajes de concreto estão, conforme Noronha (2012), expostas diretamente às intempéries, portanto, precisam ser impermeabilizadas. Caso contrário, ficam expostas a manifestações patológicas estruturais e de serviço, que podem reduzir a vida útil da estrutura e prejudicar sua capacidade de proteger o interior da edificação. Para impermeabilizar a estrutura, também segundo Noronha (2012) é necessário escolher um produto que seja capaz de acompanhar as movimentações da estrutura conforme a variação de temperatura.

Entre os principais tipos de impermeabilização usados em lajes de concreto, destaca-se, segundo Nakamura (2016) as mantas asfálticas, indicadas para lajes com área superior à 50m², e mantas pré-fabricadas de materiais sintéticos, competitivos para cobrir grandes

extensões. Também se destaca o uso de outras soluções de impermeabilização flexível, como membranas acrílicas, membranas de poliuretano e soluções asfálticas elastoméricas.

Os pontos mais críticos na execução da impermeabilização, segundo Nakamura (2016), são os caimentos dos ralos, o desnível entre a área externa e interna, as cotas de regularização e proteção e revestimento final da estrutura. Além disso, independentemente do método de impermeabilização selecionado, antes da aplicação do produto, é importante regularizar a superfície, garantindo um caimento de, no mínimo, 1% para os ralos. A base deve estar limpa, isenta de pó, graxa e outras impurezas.

A laje impermeabilizada possui a vantagem de permitir o acesso e trânsito de pessoas na cobertura, porém, conforme (ABNT, 2001) a altura mínima do guarda-corpo da cobertura, considerada entre o piso acabado e a parte superior do peitoril, deve ser de 1,1 metros.

3.3.4 ESTRUTURAS DE AÇO

O aço é uma liga de ferro e carbono com outros elementos adicionais, como silício, manganês, fósforo e enxofre. O teor de carbono varia de 0% a 1,7%. Pode-se classificar os aços usados em estruturas em duas categorias, os aços-carbono e aços de baixa liga.

Os aços-carbono são os mais usuais, no qual a presença do carbono, e em menor escala do manganês, gera um aumento de resistência se comparado ao ferro puro. Usualmente, o teor de carbono usado em estruturas varia entre 0,15% a 0,29% (PFEIL; PFEIL, 2000). Na tabela 3 pode-se verificar os principais aços-carbono usados em estruturas e suas propriedades.

Tabela 3– Aços-carbono normalmente usados em estruturas

<i>Especificação</i>	<i>Teor de carbono %</i>	<i>Limite de escoamento f_y (MPa)</i>	<i>Resistência ruptura f_u (MPa)</i>
ASTM A7		240	370 – 500
ASTM A36	0,25 – 0,29	250	400 – 500
DIN St37 (norma alemã)	0,17 – 0,20	240	370 – 450

(fonte: PFEIL; PFEIL, 2000, p. 2)

Os aços de baixa liga são aços-carbono acrescidos de uma liga, como colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, entre outros, que melhoram algumas propriedades mecânicas do material (PFEIL; PFEIL, 2000). Na tabela 4abaixo pode-se verificar alguns aços de baixa liga usuais no mercado.

Tabela 4– Aços de baixa liga normalmente usados em estruturas

<i>Especificação</i>	<i>Principais elementos de liga (%)</i>	<i>Limite de escoamento f_y (MPa)</i>	<i>Resistência à ruptura f_u (MPa)</i>
ASTM A242	C < 0,22% Mn < 1,25%	290 – 350	435 – 480
DIN St52	C < 0,20% Mn < 1,5%	360	520 – 620

(fonte: PFEIL; PFEIL, 2000, p. 2)

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p.10) os aços aprovados para uso são aqueles com qualificação estrutural assegurada por Norma Brasileira ou estrangeira, tendo resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistência à ruptura e resistência ao escoamento não inferior a 1,18.

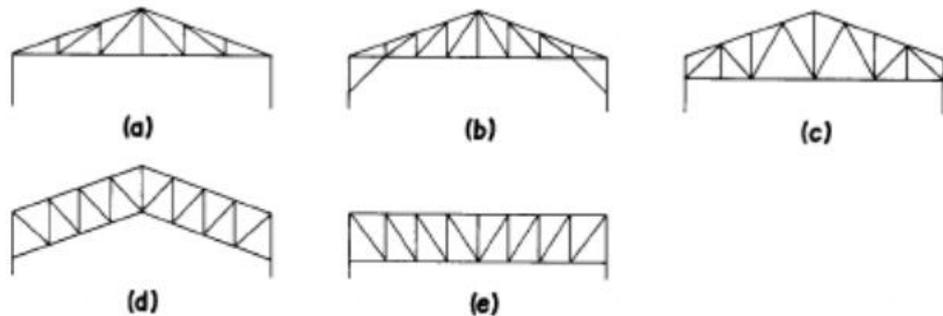
Em estruturas de aço, se utilizam conectores, que são um meio de união de peças, através de furos feitos nas chapas. Segundo Pfeil e Pfeil (2000), podemos classificar esses conectores em rebites, parafusos comuns, parafusos ajustados e parafusos de alta resistência.

Segundo Pfeil e Pfeil (2000) outro tipo de união que pode ser usada para ligação de peças é a solda, feito pela fusão de partes adjacentes. Podendo ser a energia fornecida para a solda de origem elétrica, química, ótica ou mecânica, sendo a primeira a mais comumente usada na contração. PFEIL; PFEIL faz a divisão dos tipos de solda em soldas de entalhe, filete e tampão ou orifício.

Similar à madeira, o aço pode ser usado como material base para a execução da estrutura de coberturas. O uso mais usual para este material é na execução de vigas de cobertura em armação. Segundo Bellei (2000, p. 196) o uso de armações, como tesouras e treliças, é uma das opções mais antigas de solução para coberturas existente. Com o avanço tecnológico, as armações de aço passaram a ser a solução mais econômica para vãos acima de 25 metros.

Pode-se encontrar uma grande variedade de tipos de tesouras e treliças, conforme figura 14 abaixo. A opção a) se trata de uma tesoura bi apoiada, sendo a solução mais simples possível. Quando é necessária maior rigidez, pode-se adicionar mãos francesas à tesoura, conforme opção b). Outras opções. Como c), d) e e) também são soluções bastante eficientes.

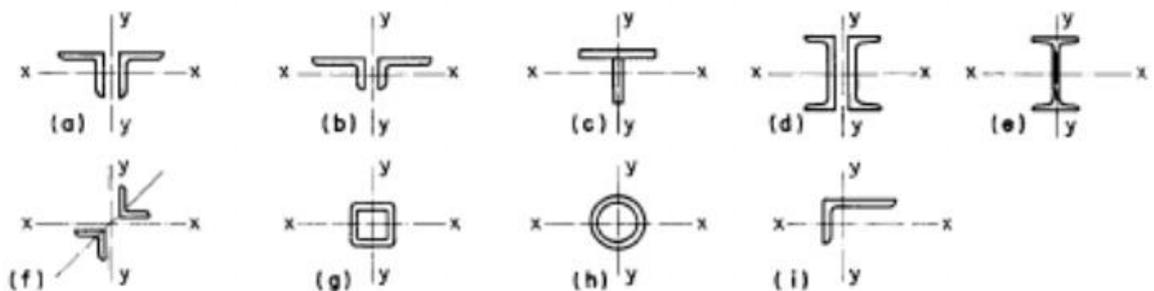
Figura 14 – Tipos de Armação



(fonte: BELLEI, 2000. P. 196)

Para a escolha do tipo de seção a ser empregada, é importante, segundo Bellei (2000, p. 197) o caráter técnico e econômico. Usualmente são empregadas soluções que tenham um eixo de simetria no plano da armação. Soluções típicas de cantoneiras podem ser encontradas na figura 15 abaixo. As dimensões mínimas para as mesmas são 50x50x6,4mm para as cordas e 44x44x4,8mm para as diagonais e montantes.

Figura 15 – Tipos de Seção



(fonte: BELLEI, 2000. P. 197)

Segundo Flach (2010) a qualidade do produto é muito dependente da industrialização do mesmo, portanto as peças já devem vir prontas para montagem de fábrica, evitando

retrabalhos em obra que possam alterar suas propriedades. É necessária uma atenção extra da obra para o transporte e estocagem das grandes peças que compõem este tipo de estrutura. Sendo necessária uma grua ou guindaste para a montagem das peças da cobertura. Também sendo necessária a execução de estais e contraventamentos para garantir a segurança dos colaboradores.

3.3.5 ESTRUTURAS DE *LIGHT STEEL FRAME*

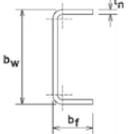
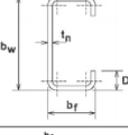
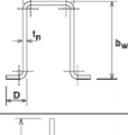
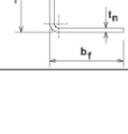
O LSF (*Light Steel Frame*), segundo Freitas e Crasto (2006, p. 10) é um sistema construtivo que tem como material principal perfis formados a frio de aço galvanizado. Se trata de um sistema industrializado que procura ser racional no uso de material e mão de obra, possibilitando uma construção a seco com grande velocidade. Freitas e Crasto também definem que LFS se trata de um “[...] processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural de aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação[...]”.

Devido a sua versatilidade, o LSF possibilita uma grande gama de projetos de cobertura. Para telhados inclinados, o *light steel frame* possui os mesmos princípios estruturais dos telhados de madeira, sendo assim, todas as soluções vistas para este tipo de telhado, também se aplicam ao LSF. Deste modo, conforme Terni et. al (2009, p. 77) os telhados de LSF suportam telhas metálicas, cerâmicas, fibrocimento e asfálticas (*single*), entre outras.

Na execução de coberturas de LSF se utiliza, segundo Terni et. al (2009, p. 77), os mesmo perfis usados na estrutura de paredes, que são os perfis U e Ue, com alma de 90mm, 140mm e 200mm, que são as dimensões normalmente comercializadas no mercado brasileiro.

Segundo Freitas e Crasto (2006, p. 22) os perfis normalmente usados em *light steel framing* são executados por perfilagem a partir de bobinas de aço revestidas em zinco (aço galvanizado) ou liga alumínio-zinco (aço galvalume). A tabela 5 apresenta um detalhamento dos perfis utilizados em LSF e suas respectivas utilizações. Importante salientar que as guias, ou perfil U, por não possuir a borda “D” presente no montante, ou perfil Ue, não transmitem esforços, sendo isto feito pelos montantes. As cantoneiras normalmente são usadas para conexões de elementos onde não é possível o uso de um perfil Ue. Já o cartola, ou perfil Cr, é usualmente empregado como ripas de telhado. As espessuras das chapas podem variar de 0,8mm a 3,0mm.

Tabela 5 – Designação dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF e suas respectivas aplicações

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples U $b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido Ue $b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola Cr $b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais L $b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 23)

Existem dois métodos de montagem para coberturas em LSF, segundo Freitas e Crasto (2006, p. 23):

- Método *Stick*: os perfis são cortados em obra e todas as estruturas são montadas no local. Os perfis já se encontram perfurados para a passagem dos sistemas, que são instalados posteriormente à montagem da estrutura. Esse método é usado quando a pré-fabricação não é possível. Possui vantagem do fácil transporte de peças até o local de instalação e o manuseio do LSF é facilitado, entretanto acaba utilizando mais mão de obra se comparado à métodos industrializados.
- Método por Painéis: método de montagem industrializado. As principais estruturas da cobertura são montadas em fábrica, podendo-se já instalar alguns materiais de fechamento anteriormente à chegada no canteiro, diminuindo assim o tempo de construção. Esse método aumenta a precisão de peças e qualidade do serviço final, ao mesmo tempo que diminuí a quantidade de trabalho feito em canteiro.

Será detalhado neste capítulo as soluções mais comuns para coberturas de estrutura com *light steel frame*. A escolha do tipo de solução a ser adotada deve levar em conta o tamanho do vão a cobrir, carregamentos, estética e economia.

Serão estudadas apenas as coberturas de telhados inclinados, já que as mesmas possuem, segundo Freitas e Crasto (2006, p. 64), boa capacidade de isolamento térmico comparando-se com telhados planos. Esse fato se dá pela camada de ar criada entre a cobertura e o forro. Essa capacidade é muito importante quando se possui um clima mais quente, como no Brasil.

- a) Estrutura com caibros e vigas: normalmente empregado pelo método de montagem *Stick*, onde os perfis U e Ue são cortados no canteiro. Esse tipo de estrutura é empregado em casos onde o vão permite o uso de caibros, assim utilizando quantidades menores de aço em comparação a estrutura em tesoura. Em vãos maiores, se faz necessário o uso de perfis duplos.

Corriqueiramente, a estrutura de uma cobertura do tipo consiste em apoiar as extremidades dos caibros na estrutura da edificação, formando uma inclinação, onde os caibros se encontram no topo da cobertura, formando uma cumeeira.

A cumeeira é, usualmente, composta por perfis U e Ue, conforme figura 16.

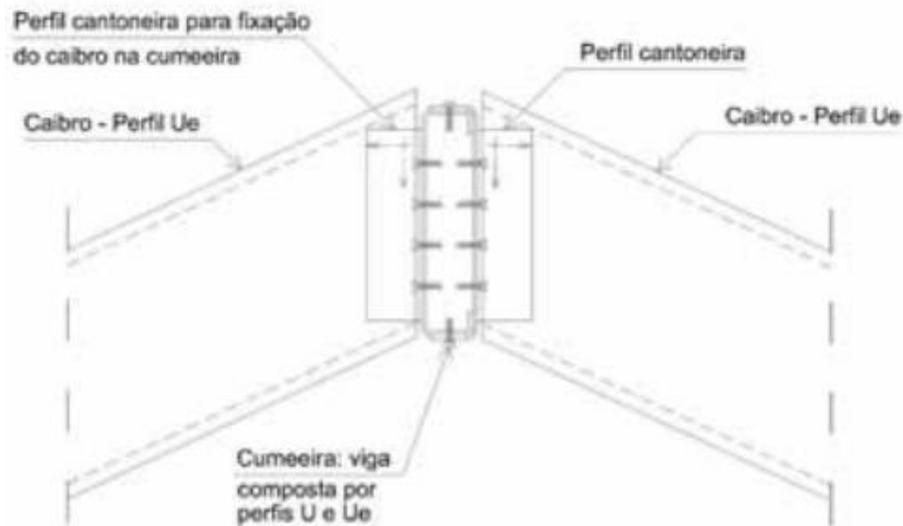
Figura 16 – Cumeeira composta por perfis U e Ue



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 65)

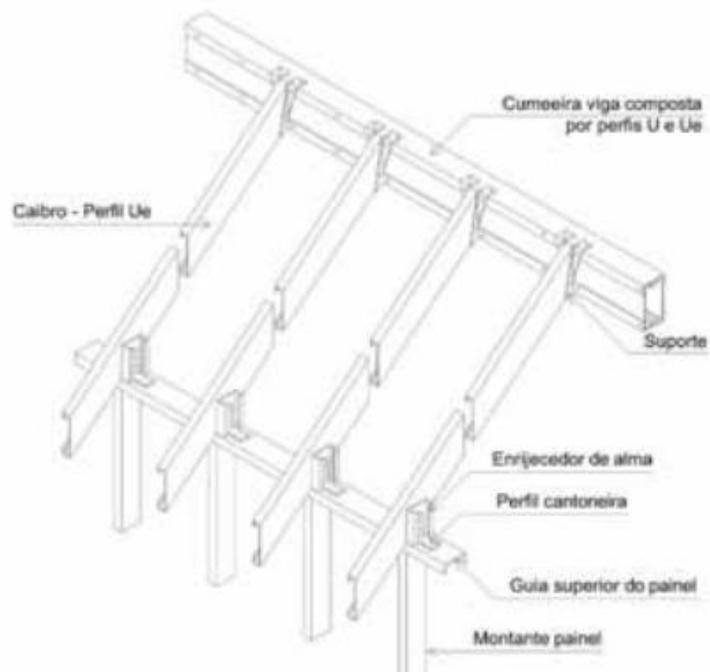
A conexão dos caibros com a cumeeira pode ser feita de duas formas distintas. Por meio de cantoneiras, conforme figura 17, ou por meio de peças de suporte, ilustrado na figura 18.

Figura 17 – Conexão dos caibros por meio de cantoneiras



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 65)

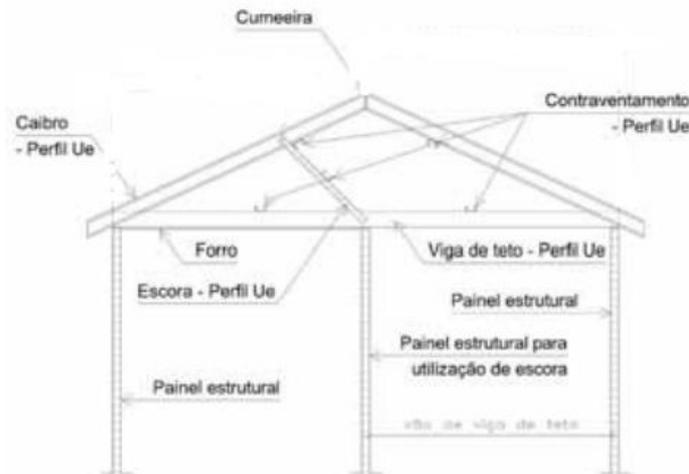
Figura 18 – Conexão dos caibros por meio de peças de suporte



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 65)

Devido ao fato de que, trabalhando isoladamente, os caibros são instáveis lateralmente, cargas de vento podem provocar deslocamentos e deformações na estrutura. Por este motivo, se faz necessária instalação de contraventamentos. Estes enrijecedores podem ser perfis U e Ue ou fitas galvanizadas posicionadas perpendicularmente aos caibros. A figura 19 dá um exemplo desta configuração.

Figura 19 – Cobertura reforçada por enrijecedores



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 67)

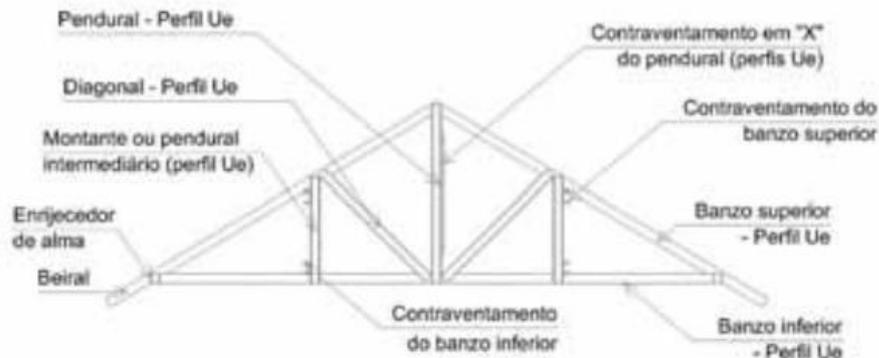
Apesar de coberturas de LSF aceitarem variados tipos de telhas, alguns tipos, como as telhas asfálticas (*shingle*), necessitam de um substrato de apoio, como placas OSB impermeabilizadas por mantas e reforços tipo cartola paralelos aos caibros. O uso de telhas de aço pode ser uma vantagem, pois o sistema de contraventamento dos caibros funciona como terças, servindo como base de fixação para as telhas.

- b) Estrutura de tesouras: Freitas e Crasto (2006, p. 70) mencionam que as tesouras podem ser montadas no canteiro ou pré-fabricadas, porém a última opção possui a vantagem de reduzir o tempo de trabalho no canteiro e aumentar a qualidade das peças.

Estruturas de LSF possuem as mesmas características das tesouras de madeira, podendo suportar os mesmos tipos de telhas. Como o *light steel frame* possui rápida instalação, regularidade dimensional, resistência e leveza, quando comparado a estruturas de madeira, esse tipo de cobertura está substituindo a última opção no mercado da construção civil brasileira recentemente (TERNI, et al., 2009, p. 79).

A configuração de tesouras de LSF é composta por perfis U e Ue, está sendo representada na figura 20 (FREITAS; CRASTO, 2006, p. 70).

Figura 20 – Estrutura de Tesoura de LSF



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 70)

As ligações dos componentes das tesouras, segundo Freitas e Crasto (2006, p.70), podem ser parafusadas em chapas Gusset, conforme figura 21, ou unindo-se os montantes e diagonais parafusando-se suas almas. Em ambos os métodos, o plano da alma das peças e dos montantes deverá coincidir.

Figura 21 – Ligação de perfis por chapa Gusset



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 70)

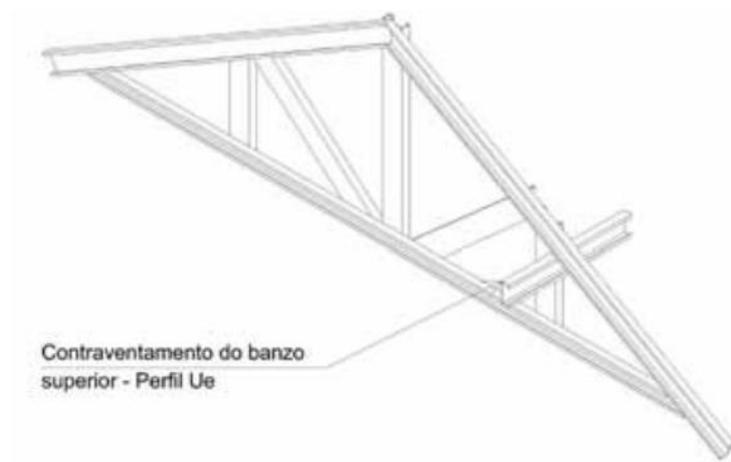
Para a execução do contraventamento é necessário garantir que as tesouras do telhado atuem juntas como uma unidade para resistir às solicitações de vento, pois quando

isoladas, as mesmas se tornam instáveis lateralmente, tendendo a girar em torno do eixo definido pela linha dos apoios.

Freitas e Crasto (2006, p. 74) definem que o contraventamento deve ser feito de três formas distintas:

- Contraventamento Lateral: perfis U e Ue fixados perpendicularmente às tesouras, reduzindo o comprimento de flambagem dos banzos e transferindo a carga de vento, conforme figura 22.

Figura 22 – Contraventamento Lateral em Tesouras



(fonte: FREITAS E CRASTO, 2006. P. 74)

- Contraventamento vertical ou em X: estrutura formada por perfis Ue cruzados dispostas em um plano perpendicular às tesouras. Tem a função de impedir a rotação e deslocamento devido às cargas de vento.
- Contraventamento por painéis: o substrato usado para fixação das telhas asfálticas (*shingle*) também serve como diafragma rígido, travando as tesouras e dispensando o contraventamento lateral.

É importante salientar, conforme Flach (2010) que a estrutura de *steel frame* deve ser protegida contra a corrosão, aplicando-se algum tipo de proteção, que pode ser galvanização, a pintura ou a combinação de ambos os processos.

3.4 TELHAS

As telhas são importante parte constituinte do telhado. Não fazendo parte de sua estrutura, porém tendo grande papel no desempenho da cobertura, garantindo que sua função primordial de proteger a edificação das intempéries seja cumprida. Segundo Peralta (2006, p. 33), dentre os elementos de um telhado, a telha é o componente que é mais responsável pelo desempenho térmico da cobertura. Por este motivo, a correta escolha do material da telha é de suma importância, Schelb (2016) cita que não há materiais ruins ou bons, mas o importante é conhecer as características de cada material para distinguir seu momento de aplicação.

Neste trabalho serão analisadas as opções de telhas mais economicamente viáveis do mercado, fazendo-se uma distinção entre suas características, aplicabilidades, vantagens e desvantagens.

3.4.1 TELHAS CERÂMICAS

Telhas cerâmicas, conforme NBR 15310 (ABNT, 2005, p. 6), são fabricadas com argila conformada, pelo processo de prensagem ou extrusão, e posteriormente queimadas, resultando em um produto final que atenda as normas mínimas.

Este tipo de telha pode ser uma boa opção para construções menores, como residências térreas e sobrados. Podendo ser encontradas em vários modelos no mercado, como do tipo colonial, paulista, plan, francesa, romana e portuguesa, que variam pelo peso, dimensão e consumo por metro quadrado (BUSIAN, F, 2011).

A NBR 15310 (ABNT, 2005, p. 7) também garante que as telhas cerâmicas, quando expostas à umidade, não podem apresentar vazamentos ou formação de gotas de água em sua parte inferior, garantindo sua estanqueidade.

As telhas cerâmicas possuem excelente resistência à flexão, conforme a tabela 6 abaixo, que representa as cargas máximas de flexão de múltiplos tipos de telhas comercializadas no mercado brasileiro.

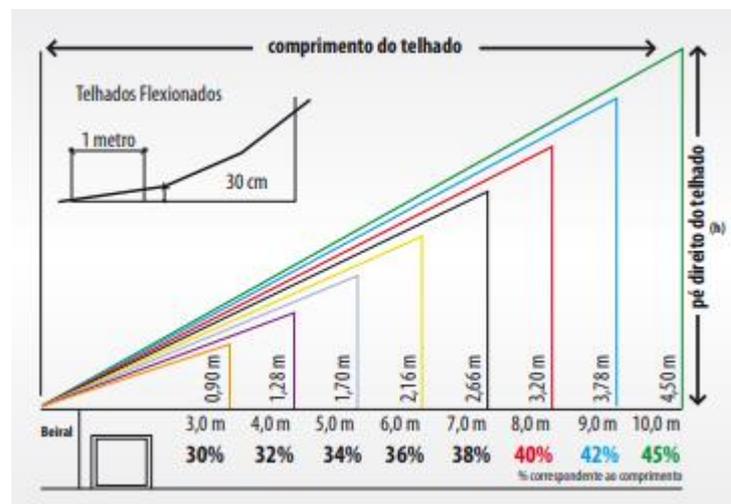
Tabela 6 – Cargas à flexão de telhas cerâmicas

Tipos de telhas	Exemplos	Cargas N (kgf)
Planas de encaixe	Telhas francesas	1 000 (100)
Compostas de encaixe	Telhas romanas	1 300 (130)
Simplex de sobreposição	Telhas capa e canal colonial Telhas plan Telhas paulista Telhas Piauí	1 000 (100)
Planas de sobreposição	Telhas alemã e outras	

(fonte: ABNT, 2005, p. 9)

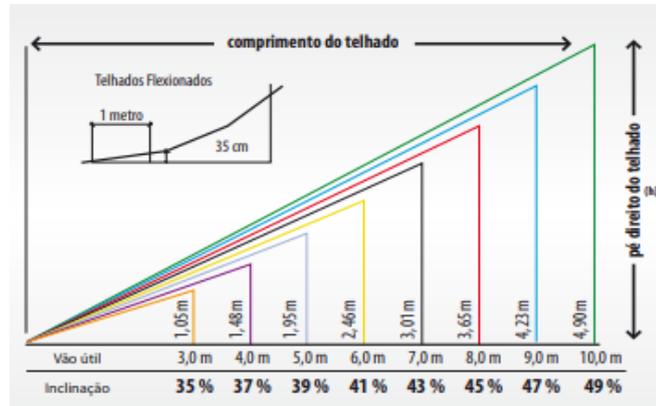
As inclinações necessárias para a execução de telhados com telhas cerâmicas é bastante alta quando comparada com outros materiais. Conforme Rossi (2015) a inclinação deste tipo de telhado varia de 30 a 35%. Catálogos de fabricantes também mantém essa inclinação mínima exigida, que é o ponto problemático, conforme tabela 7 e 8. Esta inclinação, conforme fabricante Top Telhas (2014) é necessária para garantir a estanqueidade do telhado e evitar manchas de bolor precoce das telhas.

Tabela 7 – Inclinação de telhados para telhas portuguesas



(fonte: TOP TELHAS, 2014)

Tabela 8 – Inclinação de telhados para telhas coloniais



(fonte: TOP TELHAS, 2014)

3.4.2 TELHAS DE FIBROCIMENTO

O fibrocimento é uma mistura com base de cimento e adições minerais, sem a presença de agregados. Tem em sua estrutura fibras minerais, sintéticas ou vegetais de reforço distribuídas discretamente pela sua matriz. A presença das fibras traz um aumento da resistência à tração, resistência ao impacto e maior capacidade de absorção de energia (ARTIGAS, L. V, 2013).

Este tipo de telha pode ser uma opção para edificações populares, pois possui um custo benefício favorável quando comparado com outras soluções no mercado, além de serem resistentes e leves (ROSSI, F, 2015). Segundo Eternit (2016a), a telha de fibrocimento é adequada para aplicações em residências, depósitos, estacionamentos e canteiros de obras. Entretanto, as telhas de fibrocimento não possuem a capacidade de atender às exigências mínimas de desempenho térmico quando aplicadas por si só (ARTIGAS, L. V, 2013).

A NBR 7581 (ABNT, 2014) apresenta as dimensões aceitáveis para as telhas do tipo, conforme tabela 9, 10 e 11.

Tabela 9 – Espessura de telhas de fibrocimento

Espessura	Unid.: mm	
	Tolerância	
5	-0,4	+0,4
6	-0,4	+0,5
8	-0,4	+0,7

(fonte: ABNT, 2014, p. 2)

Tabela 10 – Largura de telhas de fibrocimento

Unid.: mm	
Largura	Tolerância
920	± 10
1100	

(fonte: ABNT, 2014, p. 2)

Tabela 11 – Inclinação de telhados para telhas de fibrocimento

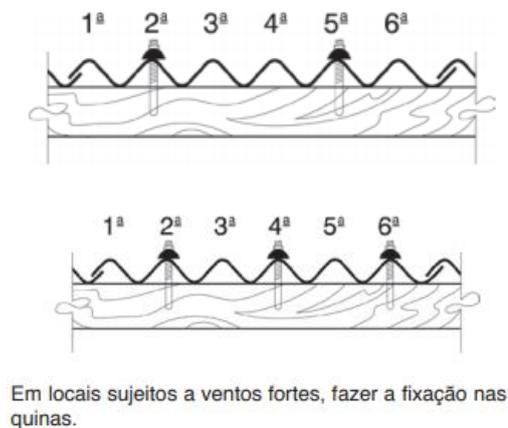
Unid.: mm	
Comprimento	Tolerância
910	± 10
1220	
1530	
1830	
2130	
2440	
2750	
3050	
3660	

(fonte: ABNT, 2014, p. 3)

A inclinação mínima de telhas de fibrocimento pode chegar à 10%, conforme Eternit (2016a, p. 22). Essa característica permite a execução de telhados com alturas menores, quando comparado ao uso de telhas cerâmicas, trazendo uma economia na estrutura e área a ser coberta.

É importante que o executor do telhado sempre obedeça às especificações do fabricante quanto à fixação das telhas na estrutura. Eternit (2016a, p. 24) estipula que as fixações das telhas tropicais, linha de telhas de fibrocimento, deve ser feita na segunda e quinta ondulação, ou na segunda, quarta e sexta, quando a telha está sujeita a ventos fortes, conforme figura 23.

Figura 23 – Fixação de telhas tropicais na estrutura da cobertura



(fonte: ETERNIT, 2016, P. 24)

Ponto importante ao executar telhados com telhas de fibrocimento é seguir a recomendação do fabricante Eternit (2016a, p. 2) de nunca pisar diretamente sobre as telhas, podendo causar quebras e rachaduras. O próprio fabricante já indica como deve ser feita a proteção das telhas para a execução de algum serviço sobre as mesmas, através da colocação de tábuas para distribuir o peso dos indivíduos sobre a estrutura da cobertura.

A NBR 7581 (ABNT, 2014) estipula cargas mínimas de ruptura admissíveis para as espessuras de telhas de fibrocimento, conforme tabela 12.

Tabela 12 – Cargas mínimas admissíveis à ruptura

Espeçura da telha (mm)	Carga de ruptura ^(A) (N/m)	Unid.: mm
5	4000	
6	5000	
8	6500	

^(A) Newton por metro de largura de telha.

(fonte: ABNT, 2014, p. 3)

Segundo Peralta (2006, p. 109), as telhas de fibrocimento não tem grande capacidade de vedação térmica quando comparado com outros tipos de telha, como cerâmica e metálica,

porém normalizações de desempenho térmico específico para estes tipos de telhas nas situações críticas ainda precisam ser realizados.

3.4.3 TELHAS METÁLICAS

Telhas metálicas são fabricadas a partir de chapas de aço galvanizado por um processo de conformação e sua seção é formada por uma sequência de ondas senoidais ou trapezoidais. As telhas metálicas podem ter seu revestimento de zinco ou alumínio zinco pelo processo de imersão a quente, sendo que a telha também pode ter seu revestimento pintado conforme NBR 14513 (ABNT, 2002). As telhas revestidas por zinco são denominadas galvanizadas, já as revestidas pela liga de alumínio zinco são chamadas de galvalumes (ETERNIT, 2016b). As telhas galvalumes são indicadas para regiões litorâneas e áreas industriais, onde o clima é mais hostil (TELHA FORTE, 2017). A comparação da perda de resistência para ambas as soluções pode ser verificada na figura 24.

Figura 24 – Perda de revestimento de telhas metálicas



(fonte: TELHA FORTE, 2017, p. 2)

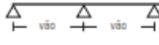
As telhas metálicas podem receber uma pintura, a qual é feita no revestimento das telhas e consiste no depósito de pó em camadas microméricas por um processo eletrostático, resultando em um produto final com maior resistência a intempéries e raios ultravioleta (ETERNIT, 2016b).

Conforme, as telhas metálicas onduladas podem receber cargas entre 321 a 11 kgf/m², sendo o tamanho do vão e espessura da telha os fatores determinantes para essa resistência, conforme tabela 13. As telhas metálicas trapezoidais possuem resistência menor que as senoidais, conforme tabela 14. É recomendado que se evitem vãos que resultem em resistências à cargas transversais inferiores a 60 kgf/m².

É importante ressaltar que o local de armazenamento das telhas metálicas precisa ser coberto, seco e ventilado, para se evitar a corrosão pela umidade (TELHAFORTE, 2017).

Em relação ao desempenho térmico das telhas metálicas, segundo Dias (2011), as telhas sem pintura não aparentam ser bons isolantes térmicos, tendo desempenho insatisfatório em todas as cidades analisadas pelo estudo. Por outro lado, as telhas pintadas apresentam bom desempenho térmico nas cidades estudadas, conforme tabela 15.

Tabela 13 – Sobrecargas admissíveis para telhas onduladas

Sobrecargas admissíveis (Kgf/m ²)										
Sobrecargas em função da flecha, número de apoios, vão e espessura da chapa		2 apoios 			3 apoios 			4 apoios 		
		Espessuras (mm)			Espessuras (mm)			Espessuras (mm)		
COBERTURAS Flecha L/120	Vão (m)	0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65
	1,10	153	181	240	163	192	255	204	241	321
	1,20	118	138	183	136	161	214	171	202	269
	1,30	91	108	143	116	136	181	145	172	228
	1,40	73	85	114	99	117	155	125	147	196
	1,50	58	69	91	85	101	134	108	127	170
	1,60	47	56	74	75	88	118	94	112	148
	1,70	38	46	61	66	77	103	83	98	130
	1,80	32	38	50	58	69	91	70	82	110
	1,90	26	31	42	52	62	81	59	70	92
	2,00	23	26	35	46	55	74	50	59	78
	2,10	19	23	29	42	49	66	42	50	67

(fonte: ETERNIT, 2016b, p. 6)

Tabela 14 – Sobrecargas admissíveis para telhas trapezoidais

Sobrecargas admissíveis (Kgf/m ²)										
Sobrecargas em função da flecha, número de apoios, vão e espessura da chapa		2 apoios			3 apoios			4 apoios		
		Espessuras (mm)			Espessuras (mm)			Espessuras (mm)		
Vão (m)		0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65
COBERTURAS Flecha L/120	1,40	126	147	196	126	147	196	158	185	246
	1,50	109	127	170	109	127	170	137	161	214
	1,60	95	112	149	95	112	149	120	141	187
	1,70	84	99	131	84	99	131	106	125	165
	1,80	75	87	117	75	87	117	94	111	147
	1,90	67	78	104	67	78	104	84	99	131
	2,00	60	70	93	60	70	93	76	88	118
	2,10	52	62	82	54	63	84	68	80	106
	2,20	45	53	71	48	57	76	62	73	96
	2,30	39	46	61	44	52	69	56	66	87
2,40	34	40	53	40	47	63	51	60	80	

(fonte: ETERNIT, 2016b, p. 7)

Tabela 15 – Temperaturas máximas para telhas de aço galvanizado

Temperaturas máximas do galpão com telha em aço galvanizado em diferentes cores nas diferentes zonas bioclimáticas, no dia típico de verão						
Cidades/telhas	T. externa	Pintura branca	Pintura amarela	Pintura verde	Pintura vermelha	Pintura cinza
Curitiba	24,8	25,8	26,1	28,1	28,3	26,6
Santa Maria	29,3	30,2	30,5	32,5	32,7	30,9
Belo Horizonte	27,6	28,6	28,9	30,9	31,1	29,4
Brasília	26,1	27,0	27,4	29,5	29,7	27,9
Niterói	29,1	30,1	30,4	32,3	32,5	30,9
Campo Grande	30,3	31,2	31,4	33,3	33,5	31,9
Porto Nacional	29,8	30,7	30,9	32,6	32,8	31,3
Manaus	28,4	29,4	29,6	31,4	31,6	30,0

– Temperaturas máximas do galpão com telha em aço galvanizado em diferentes cores, nas diferentes zonas bioclimáticas, no dia típico de inverno						
Cidades/telhas	T. externa	Pintura branca	Pintura amarela	Pintura verde	Pintura vermelha	Pintura cinza
Curitiba	18,6	19,5	19,6	21,2	21,3	19,9
Santa Maria	19,7	15,6	15,9	17,3	17,4	16,3
Belo Horizonte	24,6	25,3	25,6	27,4	27,6	26,0
Brasília	24,3	25,1	25,4	27,5	27,7	25,9
Niterói	23,4	24,5	24,8	26,7	26,9	25,2
Campo Grande	26,7	27,6	27,8	29,7	29,9	28,3
Porto Nacional	33,1	34,0	34,2	35,9	36,1	34,5
Manaus	30,0	30,9	31,0	32,4	32,5	31,3

(fonte: DIAS, A. Da S, 2011, p. 57)

Em comparação às telhas de fibrocimento, Peralta (2006, p. 79) mostra que as telhas de fibrocimento demonstraram ser melhores isolantes térmicos quando em comparação com as telhas metálicas, conforme tabela 16 abaixo.

Tabela 16 – Comparativo de desempenho de telhas

Variáveis/ DIA	Cerâmica	M.R	Aço	Fibro
T ext. máx (°C)	34,67	34,67	34,67	34,67
T ext. mín (°C)	21,16	21,16	21,16	21,16
T sup. máx (°C)	45,65	52,04	64,05	48,99
T sup. mín (°C)	20,09	19,84	18,69	20,05
T int. máx (°C)	33,1	34,93	35,38	34,08
T int. mín (°C)	21,38	21,99	21,76	21,33
T p. leste. máx (°C)	32,01	34,98	34,28	33,39
T p. leste mín (°C)	21,66	21,91	21,7	21,53
T p. oeste máx (°C)	33,54	34,99	35,08	33,93
T p. oeste mín (°C)	21,39	21,73	21,66	21,2

(fonte: PERALTA, 2006, p. 79)

3.4.4 TELHAS SANDUÍCHE

Também conhecidas como telhas termoacústicas, ou duplas, são compostas por duas telhas metálicas que recobrem seu interior revestido por material isolante. “[...] As telhas sanduíche totalmente produzidas dentro de indústrias têm seu isolamento composto por poliuretano, poli-isocianurato ou poliestireno expandido. Já as do tipo zipadas, moldadas na obra, têm em seu miolo polietileno tereftalato ou lã de rocha ou de vidro[...]” (ZAJAKOFF, F. 2016).

As telhas termoacústicas são usadas quando se exige grande isolamento térmico e acústico. Conforme tabela 17, os materiais que compõem este tipo de telha possuem condutibilidades térmicas muito baixas, dando ao produto final grandes qualidades isolantes (TELHA FORTE, 2017).

Tabela 17 – Condutibilidade térmica de materiais típicos de telhas



(fonte: TELHA FORTE, 2017, p. 4)

As telhas termoacústicas são usadas quando se exige grande isolamento térmico e acústico. A inclinação mínima do telhado pode variar de 3 a 5%, conforme Zajakoff (2016). Já Eternit (2016b) estabelece uma inclinação mínima de 5% para seus produtos.

Conforme Zajakoff (2016), as telhas sanduíche possuem grande vida útil, sendo atrelada ao tipo de galvanização da mesma. A única manutenção necessária é a limpeza eventual das telhas e a inspeção mínima anual, conforme especificação do fabricante.

Este tipo de telha possui resistência às sobrecargas transversais similar às telhas metálicas, conforme tabela 18 abaixo.

Tabela 17 – Capacidade à sobrecarga de telhas termoacústicas

SOBRECARGAS (Kg/m ²)											
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS (mm)											
Espessura (mm)	Nº de apoios	1.000		1.250		1.500		1.750		2.000	
		F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43		267	267	171	171	119	114	-	-	-	-
		267	267	171	171	119	119	-	-	-	-
		334	334	214	214	148	148	109	109	-	-
0,50		309	309	198	198	137	132	101	-	-	-
		309	309	198	198	137	137	101	101	-	-
		386	386	247	247	172	172	126	126	-	-
0,65		403	403	258	258	179	172	132	108	-	-
		403	403	258	258	179	179	130	132	101	101
		504	504	323	323	224	224	165	165	126	126
(F) Fechamento										(C) Cobertura	

SOBRECARGAS (Kg/m ²)											
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS (mm)											
Espessura (mm)	Nº de apoios	2.000		2.250		2.500		2.750			
		F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43		128	128	101	-	-	-	-	-	-	-
		128	128	101	-	-	-	-	-	-	-
		161	161	127	127	103	103	-	-	-	-
0,50		149	149	118	-	-	-	-	-	-	-
		149	149	118	-	-	-	-	-	-	-
		186	186	147	147	119	119	-	-	-	-
0,65		191	191	151	138	122	100	-	-	-	-
		191	191	151	151	122	122	101	101	-	-
		239	239	189	189	153	153	126	126	-	-
(F) Fechamento										(C) Cobertura	

(fonte: TELHA FORTE, 2017, p. 5)

Para o armazenamento das telhas, é necessário um local seco, coberto e ventilado, semelhante às telhas metálicas, para evitar danos às mesmas (TELHA FORTE, 2017). Segundo Andrade (2016), as telhas possuem fácil manuseio, transporte e armazenagem, pelo baixo peso das mesmas.

3.4.5 LÃ DE VIDRO

O estudo da lã de vidro se demonstra necessário já que ela é uma opção de isolamento térmico e acústico, segundo Isover (2017), para coberturas de telhamento de fibrocimento e metálico.

Segundo o fabricante, este material é um feltro constituído por lã de vidro aglomerante e resina vegetal e revestido em uma das faces com laminado branco ou aluminizado com fios de reforço, dispensando a utilização de materiais de acabamento interno.

Sua performance térmica e acústica podem ser encontradas nas tabelas abaixo.

Tabela 18 – Performance acústica e térmica da lã de vidro

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coef. Absorção sonora	0,30	0,65	1,11	0,77	0,38	0,26

Referência	Espessura (mm)	k (W/m°C)	RT (m ² °C/W)
FFA/FFB 1.4	63,5	0,045	1,40
FFA/FFB 1.6	63,5	0,039	1,60
FFA/FFB 1.8	63,5	0,035	1,80
FFA/FFB 2.6*	100,0	0,039	2,60

(fonte: ISOVER, 2017, p. 2)

Conforme fabricante, Isover (2017), este material pode ser usado em substituição ao uso de telhas sanduíche, quando acompanhado de cobertura de fibrocimento ou metálico.

3.5 IMPERMEABILIZANTES

Impermeabilizar é, segundo Porcíncula (2013), realizar a proteção da edificação contra a passagem de líquidos e vapores indesejáveis, mantendo assim sua condição de habitabilidade. O produto resultante da impermeabilização é um conjunto de componentes e elementos construtivos que visam proteger a edificação contra a ação de fluídos.

É importante levar em conta que os elementos de uma estrutura possuem diferentes características de movimentação e formas de interligação entre os próprios elementos. Estas interfaces criadas devem ser estanques. Uma falha de impermeabilização pode comprometer diretamente a durabilidade e condições de uso da estrutura. (TECHNÉ, 2010).

Segundo Hussein (2013) os impermeabilizantes podem ser divididos em dois tipos:

- **Rígidos:** são apresentados como aditivos químicos para argamassas industrializadas e como misturas na forma de pintura. É mais indicada para aplicação em partes da edificação mais estáveis, como fundações, contenções e piscinas enterradas. Alguns impermeabilizantes que são classificados como rígidos são argamassas impermeáveis, cristalizantes, resina epóxi e hidrofugantes. Como este tipo de impermeabilizante não se aplicam às coberturas, esse trabalho não se entenderá no estudo do mesmo.
- **Flexíveis:** podem ser apresentados como mantas aderidas à estrutura ou na forma de pintura (membranas). São indicadas para lajes de cobertura, banheiros, cozinhas, terraços e reservatórios. Os impermeabilizantes que se aplicam neste grupo são as argamassas poliméricas, manta asfáltica e membranas moldadas in. Será dado um enfoque aos tipos de impermeabilização que se aplicam à coberturas.

3.5.1 MANTA ASFÁLTICA

A manta asfáltica é produzida a partir da modificação física de asfaltos com polímeros elastoméricos. É um produto flexível pré-fabricado, formado por elemento estruturante central e composto por filamentos de poliéster ou fibra de vidro, que resultam em um produto de grande resistência mecânica, recoberto em ambas as faces por composto asfáltico (FERREIRA, R. 2012).

Conforme a NBR 9952 (ABNT, 1998) as mantas asfálticas podem ser divididas em quatro tipos apresentados na tabela 19, que determina especificações como espessura, resistências, absorção de água, flexibilidade, entre outros.

Tabela 19 – Características dos tipos de mantas asfálticas

Item	Parâmetros		Unidade	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Método de ensaio
1	Espessura (mínimo)		mm	3	3	3	3	6.1
2	Resistência à tração (sentido longitudinal e transversal)	Carga máxima (mínimo)	N	140	180	400	550	6.2
		Alongamento (mínimo)		20%	2%	30%	35%	
3	Absorção d'água	Varição em massa (máximo)		3%	3%	3%	3%	6.3
4	Flexibilidade a baixa temperatura ¹⁾	Asfalto oxidado	°C	≤ 0	≤ 0	≤ 0	≤ 0	6.4
		Asfalto plastomérico		≤ -5	≤ -5	≤ -5	≤ -5	
		Asfalto elastomérico		≤ -5	≤ -5	≤ -5	≤ -5	
5	Resistência ao impacto ²⁾ à temperatura de 0°C (mínimo)		J	2,45	2,45	4,90	4,90	6.5
6	Puncionamento estático ³⁾ (mínimo)		kg	25	25	25	25	6.6
7	Escorrimento (mínimo)	Asfalto oxidado	°C	90	90	90	90	6.7
		Asfalto plastomérico		105	105	105	105	
		Asfalto elastomérico		95	95	95	95	
8	Estabilidade dimensional (máximo)			1%	1%	1%	1%	6.8
9	Envelhecimento acelerado	Mantas expostas ³⁾		Os corpos-de-prova, após ensaio, não devem apresentar bolhas, escorrimento, gretamento, separação dos constituintes, deslocamento ou delaminação				ASTM G 53
		Mantas protegidas ou autoprotégidas ⁴⁾						6.9
10	Flexibilidade após envelhecimento acelerado	Asfalto oxidado	°C	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	6.4
		Asfalto plastomérico		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	
		Asfalto elastomérico		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	

(fonte: ABNT, 1998, p. 4)

Segundo Hussein (2013), os tipos de mantas asfálticas também variam conforme sua aplicação e característica:

- Tipo I: mantas de desempenho básico, de resistência mecânica e elasticidade baixa. Pouco usado em obras brasileiras, é mais indicado para pequenas lajes não expostas ao sol, banheiro e cozinhas.
- Tipo II: possui resistência mecânica adequada a situações moderadas. Pode ser aplicado como mantas duplas. É mais indicado para lajes sob telhados, banheiros, cozinhas e varandas.
- Tipo III: material de elevada resistência mecânica e elasticidade. Aplicado a estruturas sujeitas a movimentações típicas de edifícios residenciais e comerciais. São indicados para lajes maciças, *steel deck*, terraços, piscinas e camadas de sacrifício em mantas duplas.
- Tipo IV: tipo de manta com melhor desempenho e maior vida útil. São tipicamente usados para estruturas com grandes deformações e dilatações. São aplicados em lajes de estacionamento, tanques e espelhos d'água, túneis, viadutos e rampas.

Também segundo Hussein (2013), as mantas asfálticas podem ter aditivos elastoméricos, que quando misturados ao asfalto, tornam a manta mais elástica. É possível adicionar blastômeros ao asfalto, tornando a manta mais resistente mecânica, térmica e quimicamente.

O revestimento da manta asfáltica também altera as características do produto final, conforme tabela 20 abaixo.

Tabela 20 – Características dos revestimentos de mantas asfálticas

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Polietileno	As mantas com acabamento em polietileno são desenvolvidas para aplicação com maçarico.
Areia	As mantas com acabamento em areia são desenvolvidas para aplicação com asfalto quente ou maçarico.
Alumínio	Desenvolvido para impermeabilização de coberturas e lajes sem proteção mecânica e sem trânsito de pessoas ou veículos, o revestimento em alumínio na face exposta é resistente aos raios solares e proporciona relativo conforto térmico à edificação.
Geotêxtil	Desenvolvido para impermeabilizar lajes sem proteção mecânica e sem trânsito de pessoas ou veículos. O revestimento com material geotêxtil na face exposta é preparado para receber pinturas refletivas.
Ardoziado	Desenvolvido para impermeabilizar lajes sem proteção mecânica e sem trânsito de pessoas ou veículos. O revestimento com ardósia natural e grânulos minerais na face exposta dá acabamento final à superfície e protege a manta contra a ação dos fenômenos climáticos.
Antirraiz	Para uso em jardineiras, o produto recebe tratamento com produtos que inibem o crescimento de raízes (herbicidas), para que elas não danifiquem a impermeabilização.

(fonte: HUSSEIN, J. S. M, 2013, p. 22)

Para a aplicação de mantas asfálticas em coberturas de laje, JOFFILY (2013) afirma que existem mantas asfálticas que dispensam o uso de proteção mecânica, porém não possibilitam o tráfego de pessoas ou veículos sobre a mesma.

A proteção mecânica, segundo WERTHEIMER (2006), deve ter espessura média de 1,5 cm e traço 1:6 de cimento e areia. Esta proteção mecânica possui a função de proteger a manta contra de agressões mecânicas que possam danificar o produto. Já QUARTZOLIT (2016) menciona que na aplicação do seu produto, para a proteção mecânica horizontal é necessária uma camada de 3 cm com traço de 1:4 e para a camada vertical é necessária a adição de uma emulsão adesiva na mistura.

É necessária, antes da aplicação do material, a regularização da mesma, ajustando os caimentos de 1% em direção aos pontos de escoamento de água e a criação de um rebaixo de 1 cm da área dos ralos. Também é necessário o arredondamento dos encontros de laje a parede com um raio entre 5 e 8 cm. Antes de se aplicar a manta asfáltica, é necessária a aplicação de uma demão de primer e esperar o material secar por 6 horas (QUARTZOLIT, 2016).

Também é indicado que a manta asfáltica seja acompanhada da aplicação de uma camada de isolamento térmico para atender às normas de desempenho térmico mínimo. O mesmo ressalta que no caso do isolamento térmico ser utilizado para aplicações externas, como em lajes de cobertura, este resulta em maior conforto térmico do usuário, pois retarda o fluxo de calor no sistema (JOFFILY, 2013).

3.5.2 MEMBRANAS MOLDADAS *IN LOCO*

Resultado da aplicação de produtos impermeabilizantes, em processo a frio ou a quente, o qual, quando seco, forma uma membrana flexível e sem emendas. Este tipo de produto varia conforme a flexibilidade, resistência aos raios solares e procedimentos de aplicação, além de outros aspectos. O uso deste tipo de material é indicado para aplicação em pequenos espaços, onde a aplicação de mantas é dificultada, devido à facilidade de aplicação de membranas (FERREIRA, R. 2012).

As membranas moldadas *in loco*, conforme Ferreira (2012) são comercializadas em várias composições. Serão estas elencadas abaixo:

- a) Asfalto moldado a quente: se trata de um sistema tradicionalmente usado na construção civil brasileira. Consiste na moldagem de uma membrana impermeabilizante por meio de sucessivas demãos de asfalto derretido. Estas demãos são intercaladas por telas ou mantas estruturantes, responsáveis por dar resistência mecânica à tração para o produto final.

Este tipo de material é usado, idealmente, para aplicação em superfícies de pequenas dimensões ou em lajes de médio tamanho e com muitos recortes, o que dificultaria a aplicação de mantas asfálticas.

- b) Soluções e emulsões asfálticas: produto composto por misturas de asfalto, podendo ser modificado por polímeros em água ou solvente. São aplicados a frio, como primers, ou seja, pintura de ligação, ou como impermeabilização de áreas molháveis internas, estruturadas por telas. É normalmente aplicado em banheiros, cozinhas e outras áreas molháveis. Sua aplicação é similar às outras membranas, porém seu tempo de cura é maior em comparação com outros produtos.

- c) Membranas de Poliuretano: se trata de um impermeabilizante bi componente aplicado a frio. Possui grande estabilidade química e excelente aderência à qualquer superfície. Além de ter grande elasticidade e ser resistente à altas temperaturas. São indicados para áreas sujeitas a movimentações, vibrações, insolações, dilatações e contrações devido às variações térmicas.

Sua aplicação é semelhante à outras membranas, sendo aplicada por uma pintura manual no local, tendo como ponto crítico a preparação do substrato.

Produto é indicado também para lajes, áreas molháveis, tanques de efluentes industriais e esgotos e reservatórios de água potável.

- d) Membrana de Poliureia: material é resultante da reação química entre o isocianato e um componente de resina amino terminada, a poliamida. “[...] Na prática, forma-se uma camada de características plásticas, que recobre e adere às superfícies onde é aplicada. Depois que assume o formato de membrana, o material passa a apresentar alta rejeição à abrasão; grande resistência química a diferentes agentes; alongamento de ruptura que pode chegar a 600%; e barreira contra o puncionamento (furo). [...]” (SIQUEIRA, F. 2017).

Sua cura é muito rápida, podendo ser feita em minutos, portanto esse material é muito aplicado quando há necessidade de rápida liberação da área impermeabilizada.

É recomendado para ambientes agressivos que receberão ataques químicos. Não é recomendado para ambientes com muita chuva e fortes ventos. Além disso, é necessário grande controle de qualidade da obra (SIQUEIRA, F. 2017).

- e) Membrana acrílica: é formada por uma membrana acrílica, que é usualmente dispersa em água. Essa membrana é executada por várias camadas intercaladas de tela estruturante. É bastante resistente aos raios solares e deve ser aplicada em superfícies expostas não transitáveis. É importante salientar que essa impermeabilização funciona em inclinações mínimas de 2%, pois a água pode danificar o sistema.

É normalmente aplicada em *sheds*, coberturas inclinadas, abóbodas e telhas pré-moldadas.

- f) Resina termoplásticas: se tratam de impermeabilizantes flexíveis, bi componentes, composto por uma resina acrílica e um cimento aditivado. A mistura forma uma pasta que é aplicada com broxa em várias demãos, podendo ser estruturada por tela de poliéster em locais críticos. Este tipo de impermeabilização não resiste à pressão negativa da água. É indicado para piscinas, reservatórios de água potável e pisos frios.

3.5.3 ARGAMASSAS POLIMÉRICAS

Se tratam de produtos industrializados bi componentes, sendo uma parte o pó, composta por cimento, areia e agregados minerais, e outra líquida, composta por polímeros que conferem flexibilidade ao produto final (CICHINELLI, G, 2012).

Conforme Denver (2018b), estas argamassas podem ser divididas em dois grupos:

- Semi flexíveis: detém a capacidade de penetrar na porosidade do material e promover uma cristalização superficial, apresentando também capacidade de resistir às pressões negativas. É normalmente aplicada em estruturas com pequeno ou nenhum grau de movimentação, como reservatórios de concreto armado, muros de arrimo. É também conhecido no mercado como cimento polimérico.

Propriedades da argamassa semi flexível usual no mercado brasileiro, podem ser verificadas na tabela 21 abaixo. Outras opções de produto no mercado possuem características similares.

Tabela 21 – Propriedades argamassa polimérica semi flexível

ENSAIO		REQUISITO	RESULTADO DENVERTEC 100
Composição Básica	Componente A	Polímeros acrílicos e aditivos	
	Componente B	Agregados, cimento e aditivos	
Cor		Cinza	
Massa específica - g/cm ³	Componente A	1,006	
	Componente B	1,200	
Tempo de uso da mistura (minutos)		30 a 40	
Intervalo entre demãos (h)		4 a 6	
Tempo de liberação da área		> 3 dias	
Tempo de cura (Total)		28 dias	
Variação de consistência, inicial e após 60' em KU		< 35%	20%
Aderência aos 7 dias (Mpa)		> 0,50	1,40
Estanqueidade pressão positiva (MPa)		> 0,25	0,40
Estanqueidade pressão negativa (MPa)		> 0,10	0,20
Potabilidade (NBR 12170)		Não altera	

(fonte: DENVER, 2018a)

- Flexíveis: se trata de um impermeabilizante flexível e elástico, bi componente, à base de polímeros acrílicos, cimentos, aditivos minerais e fibras sintéticas de polipropileno, as quais dão ao material final maior flexibilidade quando comparado às argamassas poliméricas comuns. É recomendada a utilização de telas de poliéster juntamente com o produto, em locais críticos. São destinadas a estruturas que podem apresentar pequenas movimentações e podem resistir à elevadas pressões hidrostáticas (DENVER, 2018b).

Propriedades típicas de argamassas poliméricas flexíveis podem ser verificadas na tabela 22.

Tabela 22 – Propriedades da argamassa polimérica flexível

ENSAIO		REQUISITO	RESULTADO DENVERTEC ELASTIC FIBRAS
Composição básica	Componente A	Polímeros acrílicos e aditivos	
	Componente B	Agregados, cimento e aditivos	
Cor		Cinza	
Massa específica - g/cm ³	Componente A	1,050	
	Componente B	1,105	
Tempo de uso da mistura (h)		1	
Intervalo entre demãos (h)		3 a 5	
Tempo de liberação da área		5 dias	
Tempo de cura (Total)		28 dias	
Aderência aos 7 dias (MPa)		Min. 0,3	0,3
Estanqueidade pressão positiva - Mpa (NBR 10787)		Min. 0,4	0,4
Absorção de água (ASTM D570)		Máx. 10%	8,0%
Potabilidade (NBR 12170)		Não altera	

(fonte: DENVER, 2018b)

3.5.4 SELANTE DE POLIURETANO

Este produto é um mástique a base de poliuretano alifático, modificado com silano, monocomponente isento de solventes, de consistência tixotrópica. O fabricante recomenda seu uso em juntas horizontais e verticais, sendo usado na interface entre alvenaria, metal, madeira e PVC.

Este produto cria uma barreira para a entrada de água em locais onde se faz necessária a flexão. O produto também é altamente resistente às intempéries. Conforme fabricante, a vida útil do produto é de 20 anos.

Para sua aplicação, o substrato deverá estar são, sólido, livre de contaminantes, desmoldantes, materiais pulverulentos e sujeiras em geral (Bautech, 2018).

4 O SISTEMA CONSTRUTIVO DE COBERTURAS APLICADO À OBRA OBJETO DE ESTUDO

Para posterior análise de outras opções de cobertura, em comparação com a atualmente usada, é importante estabelecer os parâmetros iniciais do sistema, ou seja, pontos que não serão variáveis na análise dos diferentes tipos de cobertura. Estes componentes são propriedades do sistema construtivo utilizado nas obras da companhia estudada, e tais elementos serão inerentes à qualquer opção de cobertura a ser escolhida ao final deste trabalho.

4.1 ESTRUTURA DE CONCRETO

A construtora adota, para todas as suas obras, o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*, devido à sua alta produtividade e baixa necessidade de mão de obra, características importantes para o padrão comercial de construção das obras estudadas.

Conforme o projeto estrutural das torres, estas são compostas por 5 pavimentos, sendo que o perímetro da cobertura da edificação é isolada por uma platibanda, conforme figura 25 abaixo.

Figura 25 – Platibanda sem telhado



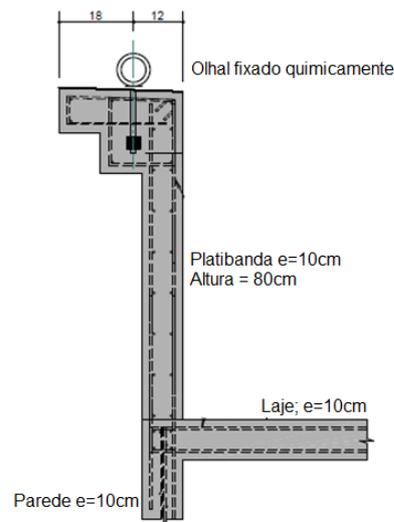
(fonte: foto do autor)

A laje de concreto armado que suporta o sistema de telhado da edificação tem, conforme projeto estrutural, 10 cm de espessura, ancorada à estrutura através de esperas. Essa laje é inerente ao sistema construtivo e é executada com formas de alumínio utilizadas pela construtora, portanto a alteração da espessura da laje não é uma variável que será considerada.

A cobertura possui, em sua periferia, uma platibanda que é concretada posteriormente à estrutura da última laje. Essa estrutura faz parte do sistema construtivo da empresa, e não é executada ao mesmo tempo que a cobertura, entretanto a escolha do sistema de cobertura influencia nas características da mesma. Essa platibanda tem a função de direcionar a água para as calhas, protegendo a fachada de manchas de sujeira que são transportadas pela água da chuva. A platibanda também tem a função de garantir a segurança dos funcionários que estão se deslocando na cobertura, e serve como ponto de ancoragem de olhais fixados quimicamente, os quais tem a função de ancorar eventuais EPCs (Equipamentos de proteção coletiva) como andaimes suspensos, e EPIs (equipamentos de proteção individual) como talabartes. Essa estrutura também tem a função estética, como já mencionado no item 3.2, de esconder o telhado quando visto de um ângulo inferior.

O detalhamento da platibanda pode ser verificado na figura 26 abaixo, como também o posicionamento do olhal. Este olhal é fixado posteriormente à concretagem da platibanda por um processo químico e é feito um teste de carga individual para cada olhal.

Figura 26 – Detalhamento da platibanda da cobertura com olhal fixado



(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.2 ESTRUTURA DO TELHADO

A estrutura do telhado possui a função de resistir aos esforços resultantes do seu peso próprio, do peso do telhamento, tanto como do trânsito de pessoas na cobertura e das solicitações de vento.

Conforme projeto disponibilizado pela construtora, essa estrutura deve ser metálica, composta por perfis do tipo *steel frame* ou metálico convencional, com material de aço galvanizado e tratamento anticorrosão. O revestimento estabelecido é feito com zinco, e tem sua massa mínima em todas as superfícies de 275 g/m².

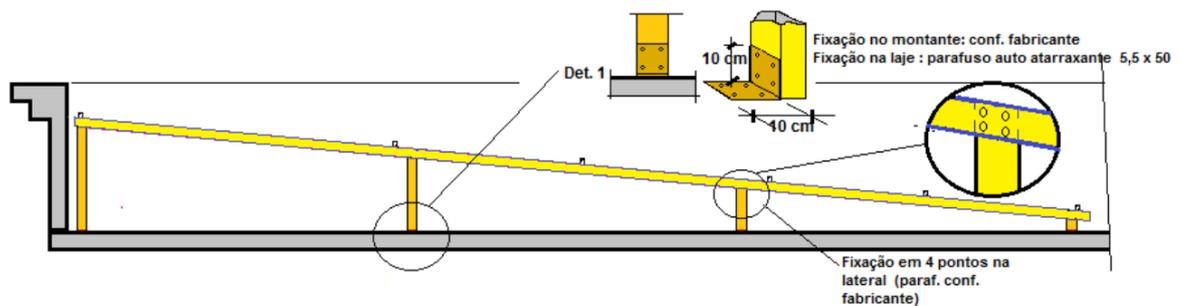
Como a construtora permite o uso tanto de estrutura metálica convencional, como de perfis em *steel frame*, cabe ao fornecedor a escolha do material a ser usado. No caso das obras estudadas, foi verificado que o fornecedor executa uma estrutura metálica convencional, com peças de aço galvanizado de espessura conforme tabela abaixo. Essa prática é comum em todas as obras da construtora, portanto será considerado que todas as obras executam a cobertura com estrutura metálica convencional.

Tabela 23 – Espessura dos tubos galvanizados utilizados na estrutura

Peças	Espessura do Tubo	Uso
Tesouras	>ou= a 3,3 mm	Máximo a cada 2,10 m
Diagonais (Asna ou escora)	>ou= a 2,6 mm (em “U” ou tubular)	Conf. altura da Tesoura
Terças ou Ripas	>ou =a 2,6 mm	Conf. tamanho da telha
Pendural	>ou =a 4,0 mm	1 apoio a cada 2,10

(fonte: arquivo técnico da construtora)

Apesar da disponibilidade do projeto arquitetônico da cobertura por parte da construtora, o fornecedor contratado para executar o telhado deverá disponibilizar a ART (anotação de responsabilidade técnica) de dimensionamento da estrutura. Entretanto, a mesma precisa seguir as especificações técnicas da companhia, a qual prevê o detalhamento abaixo.

Figura 27– Corte esquemático para telhados em *steel frame* ou metálica convencional

(fonte: arquivo técnico da construtora)

Além disso, a especificação técnica também prevê o contraventamento, que deve ser executado em vãos intercalados, conforme imagem abaixo.

Figura 28– Contraventamento da estrutura da cobertura



(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.3 TELHAS E SUA FIXAÇÃO

O telhamento, responsável por proteger a cobertura das intempéries e principal responsável pelo isolamento térmico do sistema, é, conforme projeto e especificação interna da construtora, feito com telhas de fibrocimento de espessura mínima de 6mm, possibilitando também o uso da telhas de 8 mm, porém não tendo uso muito frequente.

Esse tipo de telha, conforme a norma específica disposta no item 3.4.2, possui a carga de ruptura de 5.000 N/m de largura da telha. Conforme especificação técnica, foram estipulados caimentos mínimos e distância dos vãos para cada tipo de telha utilizada, como está disposto na tabela 24 abaixo. Sendo esta inclinação em acordo com as informações repassadas pelo fornecedor, como podemos verificar no item 3.4.2. Também são estipulados recobrimentos mínimos e máximos conforme informações do fornecedor do material.

Tabela 24 – Dados das telhas de fibrocimento

Ondulada 6 mm e 8mm Inclinação e recobrimento				
Telhas	Inclinação da Cobertura	Recobrimento Lateral Mínimo	Recobrimento Longitudinal Mínimo	Recobrimento Longitudinal Máximo
6 e 8 mm	Entre 5° (9%) e 10° (17,6%)	1 ¼ de onda	25 cm	40 cm
6 e 8 mm	Acima de 10° (17,6%)	¼ de onda	20 cm	40 cm

(fonte: arquivo técnico da construtora)

O vão livre máximo para a telha de 6 mm de espessura é, conforme especificação técnica, 1,69m e para a espessura de 8mm é 1,99m. O número de apoios estipulado para cada tipo de telha deve ser respeitado pelo projetista no momento do dimensionamento da estrutura e na escolha da montagem das telhas para o mesmo, conforme tabela 25 abaixo.

Tabela 25 – Número de apoios por telha de fibrocimento 6mm e 8mm

Ondulada 6 mm													
Largura(m)	0,92						1,10						
Comprimento	1,22	1,53	1,83	2,13	2,44	3,05	1,22	1,53	1,83	2,13	2,44	3,05	3,66
Peso (kg)	13,8	17,3	20,6	24,0	27,5	34,3	16,3	20,4	24,4	28,4	32,5	40,7	48,8
Apoios por telha	2	2	2	3*	3*	3*	2	2	2	3*	3*	3*	3*

Ondulada 8 mm													
Largura(m)	0,92						1,10						
Comprimento	1,22	1,53	1,83	2,13	2,44	3,05	1,22	1,53	1,83	2,13	2,44	3,05	3,66
Peso (kg)	18,4	23,0	27,5	32,0	36,7	46,7	21,7	27,2	32,5	37,9	43,4	54,0	65,0
Apoios por telha	2	2	2	3*	3*	3*	2	2	2	3*	3*	3*	3*

*Estas telhas necessitam de Fixação também nos apoios intermediários.

(fonte: arquivo técnico da construtora)

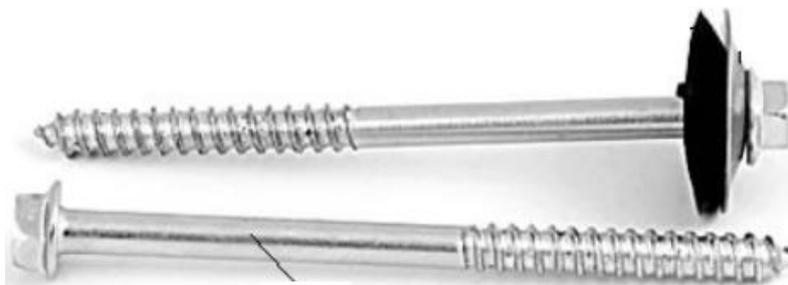
Figura 29 – Telhas de fibrocimento depositadas no canteiro de obras



(fonte: foto do autor)

A fixação das telhas é feita usando um parafuso galvanizado a fogo ou bi cromado de diâmetro 6 mm x 100 mm de comprimento. Sendo que este parafuso precisa possuir uma arruela elástica de vedação para evitar a entrada de água pelos furos das telhas. O material pode ser verificado na figura 30 abaixo. Este deve ser fixado sempre na segunda e quinta ondulação da telha de fibrocimento.

Figura 30 – Parafuso de fixação das telhas



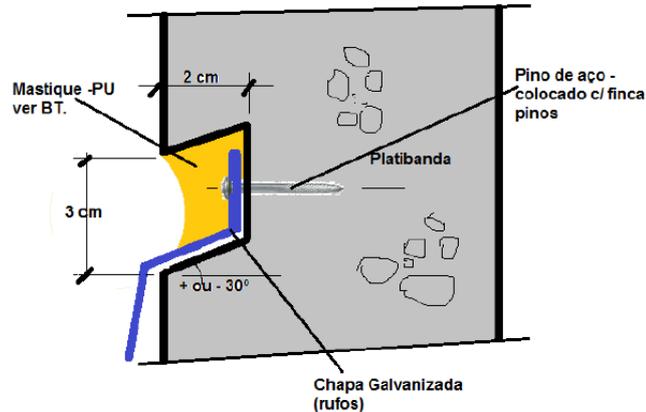
(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.4 CALHAS, RUFOS E EXTRAVASORES

O rufo, que tem como função proteger as paredes expostas acima do telhado. Evitando infiltrações entre a platibanda e o telhado e problemas de percolação da platibanda, conforme item 3.2.

Conforme especificação técnica da construtora, a colocação do rufo deve ser feita como o detalhamento da figura 31 abaixo, onde o rufo é fixado por um pino de aço e vedado com poliuretano. Esta vedação é importante para garantir a estanqueidade do sistema e evitar infiltrações entre a parede e o rufo.

Figura 31– Detalhamento da fixação do rufo na platibanda



(fonte: arquivo técnico da construtora)

Similarmente ao rufo, a calha também possui função de proteger as paredes do telhado, porém esta tem a função primordial de ser o elemento que permite o escoamento das águas no sistema, já que a mesma é conectada à extravasores que transportam a água das chuvas até o sistema pluvial do condomínio. O detalhamento das calhas pode ser visto na figura 32, onde em uma das pontas, similar ao rufo, é fixada por um pino de aço vedado com poliuretano. Na outra extremidade é fixada por um pino entre a estrutura e o telhamento.

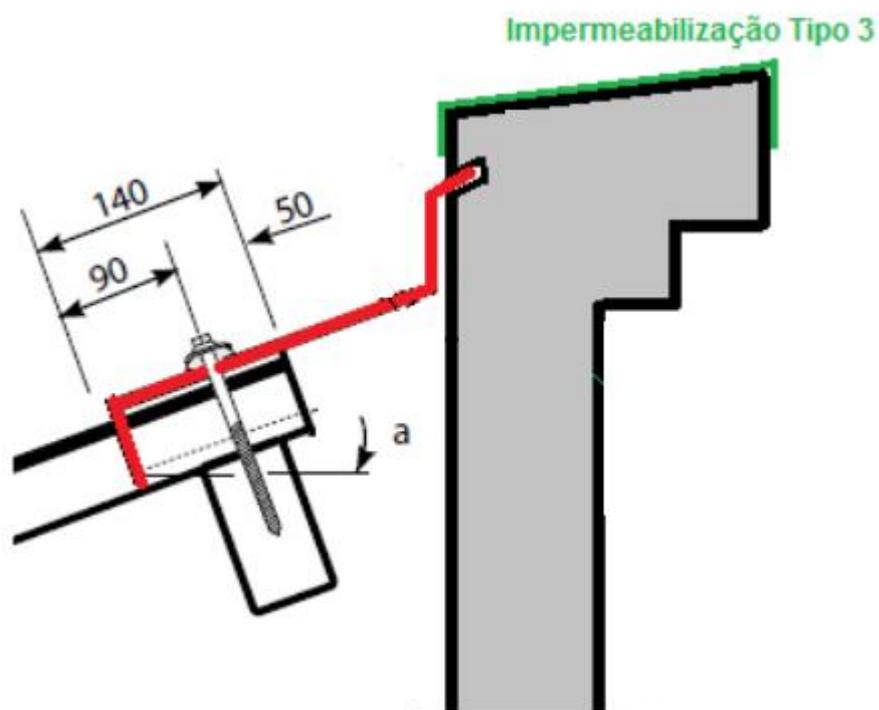
4.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DA PLATIBANDA

A platibanda, conforme item 3.2 é, neste caso, um muro que emoldura a parte superior da edificação, tendo como principal objetivo fazer o fechamento do telhado.

Conforme especificação técnica, a execução da impermeabilização da platibanda deve ser realizada pela aplicação de argamassa semiflexível, também classificada como tipo 3. A aplicação desta argamassa se dá na crista da platibanda e faz o contorno da mesma, conforme detalhamento da figura 34 abaixo.

A execução da impermeabilização tem função de evitar infiltração de água pelo concreto da estrutura para dentro do sistema de cobertura, resultando em futuras manifestações patológicas.

Figura 34 – Detalhamento da impermeabilização da platibanda



(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.6 EXECUÇÃO DA COBERTURA

A montagem do telhado executado pela construtora, conforme estudos feitos de produtividade, prevê o uso de 2 operadores que executarão o serviço em 10 dias úteis. É considerado este tempo para a execução do telhado de uma torre geminada, com área de laje total de 405,43 m², segundo projeto específico. A execução da impermeabilização da platibanda é executada por 1 operador no período de 1 dia. Já a execução da estrutura de concreto da cobertura é feita em 2 dias e considera toda a equipe de concretagem, que é formada por 23 funcionários.

Como a estrutura de concreto da laje de cobertura e platibanda não é uma variável a ser estudada no trabalho, não analisaremos o processo de concretagem da mesma.

4.6.1 EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA PLATIBANDA

Para a execução da impermeabilização da platibanda, podem ser seguidos os seguintes passos:

- 1) Remover segregações de concreto, massa ou qualquer outro tipo de objeto estranho da superfície da platibanda. A superfície deve estar plana, homogênea e regular. Certificar-se que a superfície está completamente limpa, e, caso necessário, passar uma broxa na mesma para deixar limpo.
- 2) Preparar o impermeabilizante conforme instruções de fabricante. Utilizar misturador mecânico tipo helicoidal para garantir a homogeneidade da mistura.
- 3) Aplicar, com uma trincha, o material sobre a superfície homogeneamente, conforme figura 35.
- 4) Após 24 horas, verificar se a superfície está isenta de manchas e imperfeições, caso contrário, reforçar a impermeabilização no local defeituoso.

Figura 35 – Execução da impermeabilização da platibanda



(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.6.2 EXECUÇÃO DO TELHADO

A execução da estrutura do telhado, o telhamento e colocação de rufos e calhas pode ser dividido nos seguintes passos:

- 1) Limpar a laje e remover qualquer acúmulo de água ou sujeira que se encontra na mesma. Adicionalmente, alocar todos os materiais necessários para a execução do serviço na cobertura, conforme figura 36. O depósito dos materiais deve ser feito do lado oposto ao que será executado inicialmente.

Figura 36 – Alocação dos materiais para execução do telhado



(fonte: arquivo técnico da construtora)

- 2) Executar a montagem da estrutura do telhado. Fazer a verificação de pontos de corrosão nas peças metálicas. Caso identificadas falhas, fazer o tratamento com lixa de ferro, fundo convertedor e zarcão.
- 3) Instalação das calhas do telhado, atentando-se ao caimento das mesmas e a fixação com pino e vedação com poliuretano. Neste passo também é realizada a abertura dos ralos das calhas, conforme figura 37. Também deve ser realizado o teste de estanqueidade do serviço executado.

Figura 37 – Detalhamento da fixação da saída de pluvial do telhado



(fonte: arquivo técnico da construtora)

- 4) Montagem das telhas, fixando-as na estrutura metálica com o conjunto do parafuso, arruela de borracha e arruela de metal. Também é importante posicionar as tubulações de ventilação, fazer o recorte correto da mesma e a vedação com poliuretano, conforme detalhamento já especificado na figura 37.
- 5) Execução dos rufos dos telhados, encaixando os mesmos nos rasgos abertos da platibanda, fazendo a fixação com pino e vedação com poliuretano. Nas emendas entre rufo e platibanda também deve ser aplicado o poliuretano, conforme figura 38.

Figura 38– Vedação do encontro entre rufo e platibanda



(fonte: arquivo técnico da construtora)

- 6) Desmobilizar todos os equipamentos e restos de material provenientes da execução da cobertura. O aspecto final do serviço deve ser conforme figura 39 abaixo.

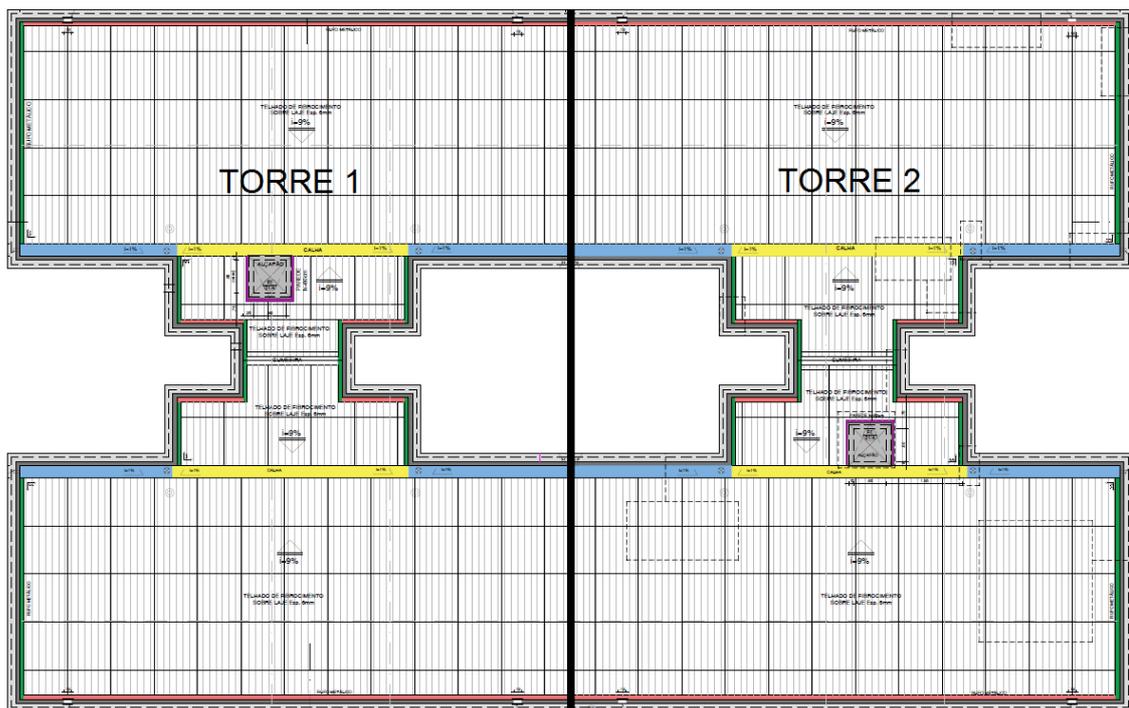
Figura 39 – Aspecto final da cobertura



(fonte: arquivo técnico da construtora)

Normalmente, para fins de economia de espaço, as edificações são executadas em pares, as chamadas torres geminadas, que irão resultar em uma cobertura que possui um vão interno. Para melhor visualização da cobertura, pode-se verificar a figura 40 abaixo, que representa o projeto arquitetônico de uma cobertura de torre geminada.

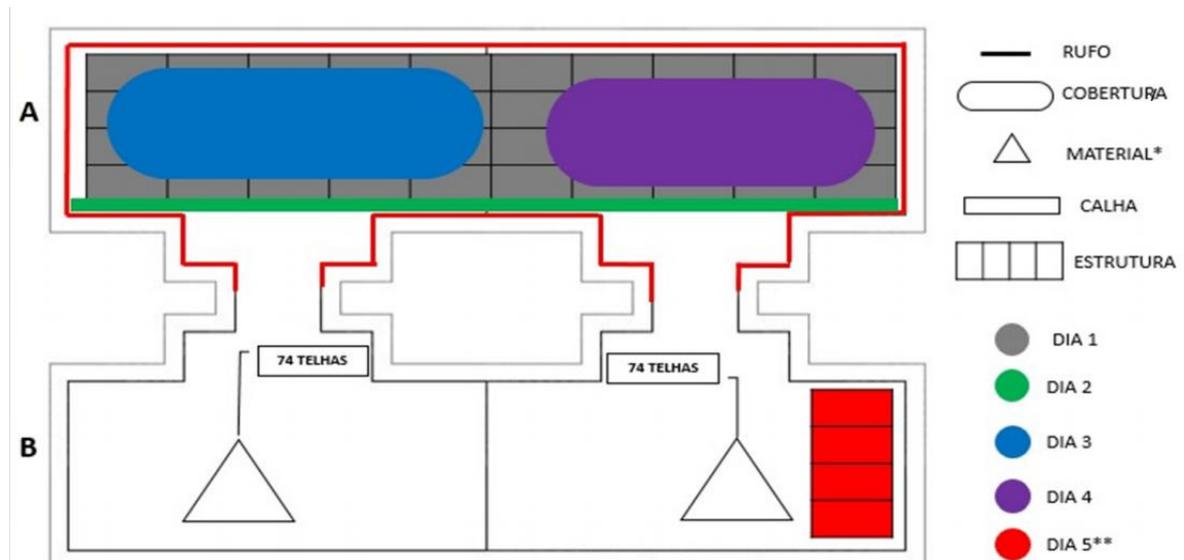
Figura 40 – Projeto arquitetônico da cobertura de torre geminada



(fonte: arquivo técnico da construtora)

O cronograma de execução de cada lado do telhado pode ser resumido em 5 dias, conforme figura 41 abaixo. No primeiro dia é executada a estrutura metálica do telhado. No segundo dia são instaladas as calhas, executada a vedação e teste de estanqueidade do sistema. No terceiro e quarto dia é feito o telhamento e no quinto dia a instalação dos rufos, vedação e teste de estanqueidade do mesmo.

Figura 41– Cronograma para execução do telhado



(fonte: arquivo técnico da construtora)

4.7 CUSTOS DA COBERTURA

O custo de execução da cobertura, incluindo material e mão de obra, é o principal parâmetro a ser avaliado ao se comparar diferentes soluções para o sistema. No mercado da construção habitacional, a incessante busca pelo menor custo é um dos principais pilares de uma empresa de sucesso. Por este motivo, neste item será levantado o custo da cobertura executada atualmente nas obras da construtora estudada. Não serão levados em conta os custos dos componentes que não são variáveis no estudo, como a execução da laje da cobertura e da platibanda.

4.7.1 CUSTOS DA MÃO DE OBRA

Para o estudo do custo da mão de obra necessária para a execução do telhado, foi considerado que é necessário 2 funcionários, por um período de 10 dias, para completar o serviço. Considerando uma jornada de 9 horas diárias, esse total seria de 180 horas trabalhadas. O CUB (Custo unitário básico) de outubro/2018 considera a hora de carpinteiro, em média,

sendo R\$ 7,34. Este cálculo chega em um total de R\$ 1.321,20 para a mão de obra de uma cobertura geminada conforme figura 40 acima.

4.7.2 CUSTOS DAS TELHAS

Conforme projeto específico, serão usadas 318 telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura, sendo sua dimensão de 110mm x 122mm. Considerando 5% de perdas, serão usadas 334 telhas para a execução da cobertura. Essas telhas cobrem uma área total de 448 m².

O CUB considera o custo do metro quadrado de telha de fibrocimento de 6mm de espessura sendo R\$ 21,84. Totalizando um valor de R\$ 9.786,37.

4.7.3 CUSTO DA ESTRUTURA METÁLICA

Conforme tabela 23, a espessura das peças utilizadas varia conforme a função estrutural da mesma. Entretanto, como o fornecedor estipula as espessuras conforme projeto estrutural, e o mesmo possui a responsabilidade técnica, as espessuras das peças encontradas *in loco* diferem da tabela da especificação técnica. A figura 42 abaixo evidencia que os perfis utilizados para a estrutura são de dimensão 50x30mm sendo sua espessura de 1,55mm.

Figura 42 – Perfil metálica usado na estrutura das coberturas



(fonte: foto do autor)

Cálculo da metragem de tubos utilizada na estrutura:

- 1) Ripas: Considerando o projeto arquitetônico do telhado, cada encontro de telha precisa estar apoiado por uma ripa, sendo necessário 10 linhas de ripas para apoiar todo o telhamento. Oito ripas possuem comprimento total do telhado, ou seja, 26,82 m, já duas ripas possuem o comprimento da parte interna do telhado, ou seja, 5,4 m. Como a parte interna do telhado se repete duas vezes, o comprimento total de cada uma das ripas internas é 10,8 m. No total, serão usados 236,32 metros de tubos para as ripas.
- 2) Caibros: Conforme o projeto arquitetônico, cada encontro de telha também será apoiado por um caibro. Totalizando vinte e cinco linhas de caibros para cada parte externa do telhado, cada linha com 5,6 metros e quatro linhas de 2,5 metros para cada parte interna do telhado. Somando-se todos os caibros usados, serão necessários 305 metros de tubos.
- 3) Pontaletes: Neste caso, para o cálculo do comprimento total usado de pontaletes, foi usado o detalhamento da figura 32, que é mostrado quatro pontaletes suportando a estrutura. Estes pontaletes, conforme projeto, possuem as alturas de 60 cm, 45 cm, 30 cm e 15 cm. Totalizando 1,5 metros por perfil. Cada torre possui 25 perfis, totalizando 50 na cobertura geminada. O comprimento total utilizado deste tubo é 75 metros.

O preço médio, no mercado atual, do perfil utilizado é R\$ 15,81/m. Considerando os valores acima e as metragens totais, o valor da estrutura metálica para este sistema é de R\$ 9.744,02.

4.7.4 CUSTOS ADICIONAIS

Foi usado o projeto arquitetônico para calcular a área total de calhas e rufos. Totalizando 16,1 m² de calhas e 13,53 m² de rufos. Considerando o valor de R\$ 53,10/m² da chapa de aço galvanizado de espessura 0,9mm, conforme verificado *in loco*, o valor total das calhas e rufos é de R\$ 1.573,46.

Também foi considerado o uso de 20 bisnagas de 400g de poliuretano para a vedação dos rufos e calhas conforme especificação técnica. O quantitativo de bisnagas foi determinado conforme histórico de execução das últimas obras. O consumo de poliuretano não é controlado e depende apenas da experiência dos funcionários que está executando o serviço. O valor da bisnaga, em média, é R\$ 20,09, totalizando R\$ 401,80.

Foi considerado que em cada telha é utilizado 6 parafusos e arruelas para o seu encaixe, totalizando 1.908 parafusos, por um valor de R\$ 0,61/unidade, conforme pesquisa de mercado. Totalizando R\$ 1.167,69.

4.7.5 CUSTO TOTAL

O custo total do telhado, considerando os componentes acima, pode ser verificado na tabela 26 abaixo. Este custo de R\$ 23.994,53 será comparado com o custo de outros sistemas, o que será decisivo para a definição de qual solução é mais adequada para essa situação específica.

Os valores da mão de obra e materiais para a realização deste estudo foram retirados do CUB ou por pesquisa de mercado realizada na data da execução do trabalho.

Tabela 26– Custo total do telhado de fibrocimento com estrutura metálica

Material	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
MO CARPINTEIRO	R\$ 7,34/hora	180 horas	R\$ 1.321,20
TELHA FIBROCIMENTO ONDULADA 6MM	R\$ 21,84/m ²	448,09 m ²	R\$ 9.786,36
CALHAS	R\$ 53,10/m ²	16,104 m ²	R\$ 855,12
RUFOS	R\$ 53,10/m ²	13,528 m ²	R\$ 718,34
TUBO 50x30 e= 1,2mm (RIPAS E CAIBROS)	R\$ 15,81/m	541,32 m	R\$ 8.558,27
TUBO 50x30 e= 1,2mm (PONTALETES)	R\$ 15,81/m	75 m	R\$ 1.185,75
POLIURETANO	R\$ 20,09/unid	20 unidades	R\$ 401,80
PINO + ARRUELA	R\$ 0,61/unid	1908 unidades	R\$ 1.167,70
TOTAL			R\$ 23.994,53

(fonte: elaborada pelo autor)

5 NÃO CONFORMIDADES DO SISTEMA CONSTRUTIVO ATUAL

Segundo a política interna da empresa estudada, anteriormente à entrega da obra finalizada aos proprietários, é feito um levantamento de todas as não conformidades das áreas comuns do empreendimento. Esse levantamento inclui as áreas de lazer, anexos condominiais, infraestrutura, halls das torres e coberturas.

O intuito deste trabalho é selecionar um relatório fotográfico realizado pelo setor responsável que represente os principais problemas encontrados nas coberturas das edificações. O objetivo é analisar todos os apontamentos referentes ao objeto de estudo e indicar as não conformidades que causam maior impacto e sugerir alternativas para solucionar ou dirimir as mesmas.

5.1 DADOS DO RELATÓRIO

O relatório escolhido foi de uma obra localizada no bairro Sarandi, em Porto Alegre, constituído por 16 torres de 20 unidades cada, totalizando 320 apartamentos. O condomínio também conta com uma churrasqueira gourmet, salão de festas e playground, entretanto a análise só será feita sobre as não conformidades encontradas nas coberturas das torres, com o intuito de uniformizar as soluções propostas e expandir os resultados para as próximas obras a serem executadas. A vistoria ocorreu nos dias 4, 5, 7 e 8 de julho de 2017, tendo assim relevância nas atuais não conformidades encontradas nos empreendimentos da construtora, pois a vistoria é feita imediatamente após a conclusão da obra, na qual as coberturas foram executadas, todas no primeiro semestre de 2017.

Para melhorar a visualização dos tipos de não conformidades encontradas no relatório estudado, estas foram classificadas em 6 tipos:

- Problemas de vedação ou impermeabilização: estas pontuações foram realizadas, pois foram encontradas não conformidades na execução da impermeabilização ou vedação dos componentes da cobertura. Podem ser encontrados nos relatórios casos onde a camada de impermeabilização está descolando da superfície da platibanda ou a vedação não foi completamente realizada.
- Problemas de caimento: múltiplos componentes da cobertura necessitam ter um caimento adequado para garantir o escoamento propício da água da chuva. Foram

documentados todos os pontos onde esse caimento não era suficiente ou estava invertido.

- Problemas de quebras ou danos em geral: após a execução da cobertura a mesma pode sofrer danos causados pelo trânsito de pessoas ou objetos sobre a mesma. Rachaduras e fissuras em telhas e rufos e calhas amassadas são os principais problemas encontrados.
- Problemas de especificação técnica: algumas indicações do fabricante ou dos documentos internos da construtora especificam medidas e cuidados a serem tomados na execução da cobertura. Foram apontados não conformidades que não atendem às especificações vigentes.
- Problemas de execução em geral: foram classificados nessa categoria não conformidades que não são se encaixam nas categorias supracitadas. Em geral são encontradas falhas que passaram despercebidas no momento da execução, como telhas desencaixadas, parafusos soltos e vedações faltantes.

Se fez uso, adicionalmente, da classificação do local de origem da pontuação. Pode-se verificar sete componentes da cobertura que foram identificadas com problemas na entrega do condomínio. Sendo estes componentes as telhas, parafusos, rufos, calhas, ventilações, buzinetes, e platibanda.

Tabela 27 – Levantamento do relatório fotográfico

LOCAL	DESCRIÇÃO	NÚMERO DE OCORRÊNC
BUZINOTE/VENTILAÇÕES	VEDAÇÃO/IMPERMEABILIZAÇÃO	6
CALHAS	CAIMENTO	9
CALHAS	VEDAÇÃO/IMPERMEABILIZAÇÃO	2
PARAFUSO	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	2
PARAFUSO	EXECUÇÃO	2
PLATIBANDA	CAIMENTO	4
PLATIBANDA	VEDAÇÃO/IMPERMEABILIZAÇÃO	6
RUFO	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	1
RUFO	EXECUÇÃO	8
RUFO	QUEBRAS/DANOS	15
RUFO	VEDAÇÃO/IMPERMEABILIZAÇÃO	13
TELHAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	3
TELHAS	EXECUÇÃO	15
TELHAS	QUEBRAS/DANOS	23

(fonte: elaborada pelo autor)

Conforme a tabela 27 acima, foi feito um levantamento de todas as pontuações encontradas no relatório fotográfico realizado pela construtora.

Será feita uma explicação de cada pontuação encontrada, e, caso necessário, um exemplo do relatório fotográfico será divulgado juntamente.

- Vedação dos buzinotes e ventilações: Saídas de buzinotes, ventilações e ladrões devem ser estruturadas com rebite e vedadas com poliuretano, conforme especificação técnica interna da empresa.

Figura 43 – Vedação dos buzinotes mal executada



(fonte: foto do autor)

- Caimento das calhas: as calhas, conforme especificação técnica e recomendação do fabricante, devem ter inclinação de 2%.
- Vedação das calhas: todas as calhas devem ser vedadas com poliuretano. No caso dos apontamentos, foi identificado que a vedação deste componente está ressecando, apesar da aplicação ter sido realizada poucos meses anteriormente à vistoria. A vida útil do produto é de 20 anos, conforme explicitado no item 3.5.4.

Figura 44 – Vedação das calhas mal executada



(fonte: foto do autor)

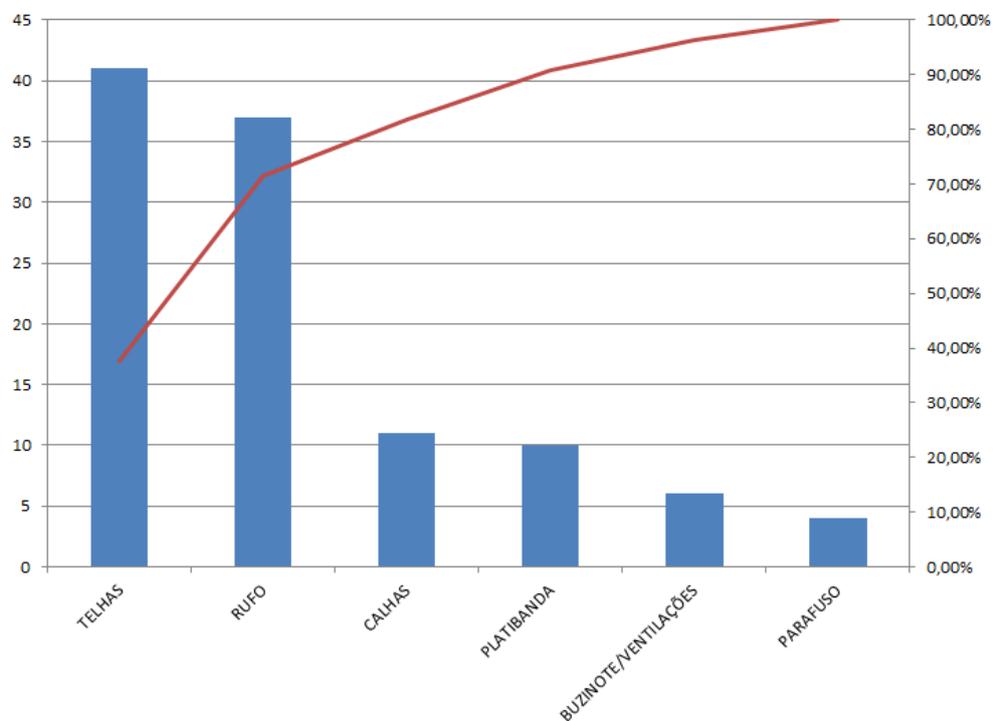
- Especificação técnica dos parafusos: segundo indicação do fabricante e normas internas da companhia, o parafuso usado para fixação do telhamento precisa ter 10cm de comprimento. Foi identificado que o parafuso que está sendo utilizado pelo empreiteiro possui 9 cm, não atendendo à especificação vigente.
- Execução da fixação dos parafusos: Foi identificado um erro generalizado da fixação dos parafusos. Vários parafusos de todos os telhados se encontram soltos. Foi necessária uma revisão final da fixação para garantir que todos estivessem em conformidade com a norma.
- Caimento da platibanda: Segundo especificação técnica, a platibanda da cobertura precisa ter caimento de 2%.
- Impermeabilização da platibanda: É feita a impermeabilização da platibanda com argamassa polimérica semiflexível, conforme especificação técnica. Foi identificado que a camada de impermeabilização está descolando da superfície da platibanda.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Com o intuito de compreender quais tipos de não conformidade tem maior impacto na entrega dos empreendimentos, foi feito um estudo com gráficos de Pareto analisando o tipo e local das pontuações.

Inicialmente foram analisados os dados do componente da cobertura onde foi encontrada a não conformidade, conforme tabela 28 abaixo.

Tabela 28 – Gráfico de Pareto – Local da Não Conformidade



(fonte: elaborada pelo autor)

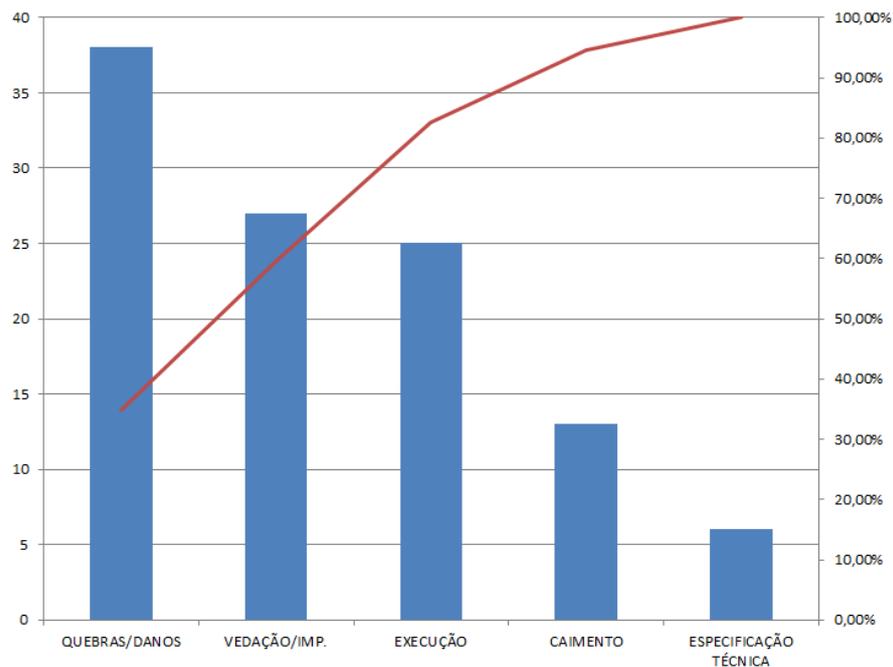
Como pode-se observar, os locais que mais apresentaram não conformidades foram as telhas e rufos, contabilizando 71% dos problemas apontados. Portanto, é de interesse do estudo apontar soluções para os problemas encontrados nestes locais. Esse resultado é bastante razoável, visto que esses componentes formam grande parte da área da cobertura, sendo o telhamento a principal parte constituinte da mesma.

Adicionalmente, é importante salientar que componentes como as calhas e buzinotes podem demonstrar não conformidades similares aos rufos, portanto é interessante, no momento da solução dos problemas relacionados aos rufos, também considerar estes componentes.

A platibanda, componente que é executado anterior ao restante da cobertura, contabiliza por 10 não conformidades, mas pode ser interessante ser feita uma análise destes apontamentos, já que infiltrações nestes locais podem causar danos à fachada da edificação.

Posteriormente foi analisado o tipo de não conformidade encontrado no relatório. Conforme o tabela 29 abaixo, quebras ou danos nos componentes contabilizam por 35% das não conformidades encontradas, portanto deve-se buscar soluções eficazes para dirimir estes apontamentos.

Tabela 29 – Gráfico de Pareto –Tipo de Não Conformidade



(fonte: elaborada pelo autor)

Juntamente com as quebras ou danos, problemas de execução e vedação contabilizam um acumulado de 83% das pontuações, sendo, portanto, de interesse deste estudo focalizar nestes pontos.

Problemas de caimento também não podem ser ignorados, pois podem acarretar em pontos de concentração de águas na cobertura ou infiltrações e danos na fachada.

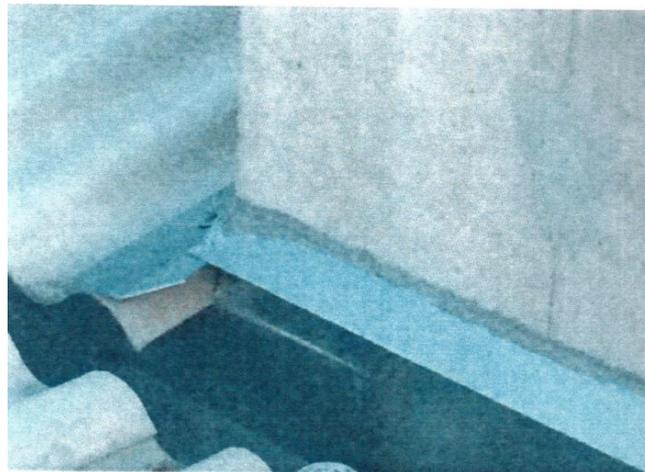
5.3 EXECUÇÃO OU ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Não conformidades de execução e especificação técnica serão tratados juntamente neste item, já que sua causa raiz é similar, conforme será verificado. Entretanto, se faz necessária a distinção, pois os problemas de especificação técnica são derivados de definições específicas da companhia, já problemas de execução são não conformidades que estão em desacordo com o projeto da cobertura.

Problemas de execução ou especificação técnica dos componentes da cobertura são encontrados nas telhas, rufos e parafusos, conforme o relatório reportado. Esse fato demonstra que tal tipo de não conformidade não pode ser tratado como um problema isolado, mas sim como falta de instrução e verificação da qualidade do serviço por parte da engenharia da obra.

Por exemplo, problemas como na figura 45 abaixo, onde o encontro entre rufo, telha e platibanda possui uma abertura que possibilita a entrada de água, podem ser solucionados no momento da execução da cobertura, contanto que seja feita uma verificação criteriosa.

Figura 45 – Abertura entre encontro de telha, rufo e platibanda



(fonte: foto do autor)

Outro ponto que segue o padrão é na figura 46 que demonstra telhas não encaixadas, que claramente são geradas por falta de atenção ou instrução do funcionário que executou o serviço.

Figura 46 – Telhas desencaixadas e quebradas



(fonte: foto do autor)

É recomendado, para a diminuição deste tipo de não conformidade, que seja feito um treinamento com os funcionários responsáveis pela execução do sistema de cobertura e que se mostre o relatório fotográfico realizado nas obras anteriores, demonstrando os pontos que necessitam maior enfoque por parte dos executores.

Neste estudo, problemas de execução foram classificados como todas as pontuações que não se aplicam nas demais categorias, todavia, todos os problemas encontrados no relatório são, em sua origem, problemas de execução.

5.4 VEDAÇÃO OU IMPERMEABILIZAÇÃO

Problemas de não conformidade na impermeabilização ou vedação dos pontos críticos do sistema de coberturas ocorrem, conforme relatório, nos buzinotes, calhas, rufos, ventilações e platibanda. Ou seja, todos os locais onde é aplicado um tipo de vedação, com a função de impedir a entrada de água, demonstraram algum defeito.

Para o sistema utilizado pela construtora, existem dois materiais usados para impermeabilização dos seus componentes.

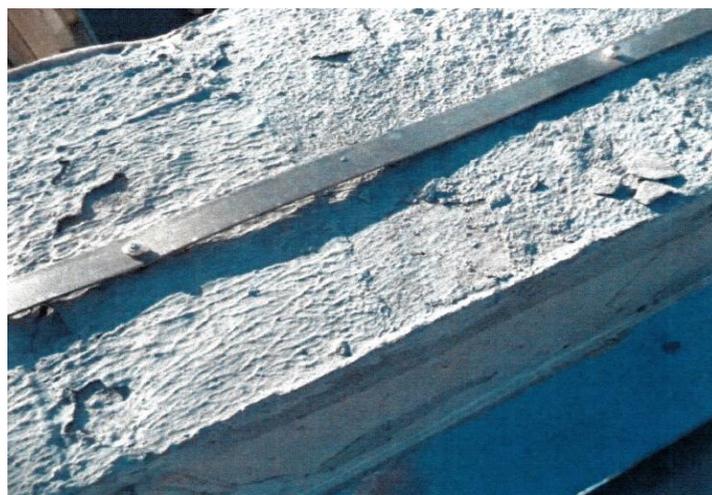
Para as platibandas, o termo utilizado pela especificação técnica interna da companhia é a impermeabilização tipo 3, conforme item 4.5, que também pode ser aplicado em calçadas em torno das edificações, poços de elevadores, muros e muretas de contenção.

Essa impermeabilização tipo 3 se trata de uma argamassa semiflexível. Este produto penetra na porosidade da superfície e promove a cristalização da mesma. É aplicado em estruturas com pequeno ou nenhum grau de movimentação, entretanto, como a platibanda possui grande variação térmica, a mesma apresenta dilatação, a qual pode acarretar em problemas de fissuração na impermeabilização, conforme item 3.2.

Para evitar este problema, é necessária a aplicação de argamassa polimérica flexível. Essa mudança acarreta em aumento de custo do material, porém evita futuras manifestações patológicas, com a utilização do produto adequado segundo especificação da norma NBR 9575 (2010).

Outro problema bastante encontrado, é o descolamento da camada de impermeabilização ou formação de bolhas, conforme figura 47 abaixo.

Figura 47 – Descolamento da camada de impermeabilização



(fonte: foto do autor)

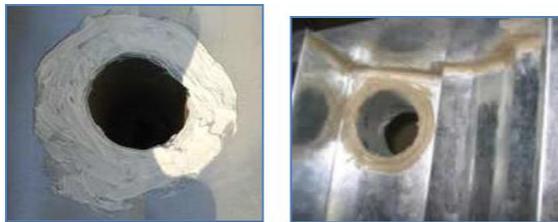
Conforme o fabricante, o produto, quando aplicado corretamente, deve resistir às solicitações promovidas. Entretanto, a formação de bolhas e desuniformidades na superfície indica que o mesmo não está sendo preparado corretamente. O fabricante disponibiliza um produto bi componente, que é misturado no momento da aplicação, porém muitas vezes o funcionário não usa a dosagem correta dos materiais ou não faz a mistura correta, promovendo problemas futuros.

Além disso, a superfície de aplicação deve estar limpa, para garantir a aderência do material. Essa limpeza, conforme figura 51, não é executada.

Como anteriormente mencionado, a vedação feita nos rufos, calhas, ventilações e buzinetes difere da platibanda, pois utiliza um material diferente e sua aplicação também não é similar.

A construtora estipula que, conforme figura 48, os pontos críticos da cobertura devem ser vedados com selante de poliuretano.

Figura 48 – Vedação de ventilações

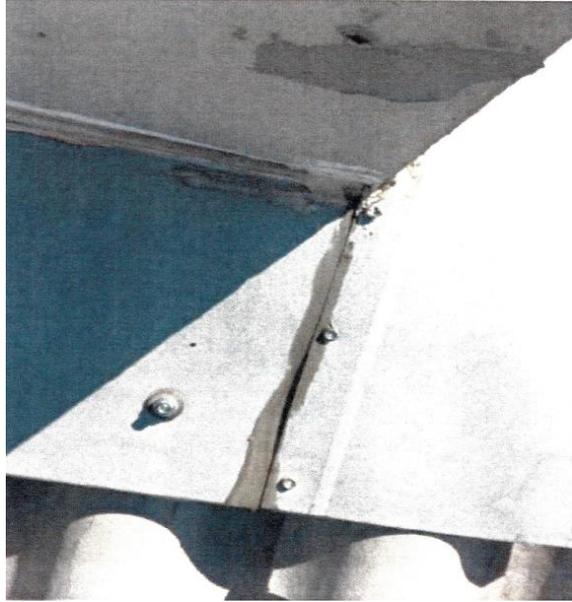


(fonte: arquivo técnico da construtora)

Conforme item 3.5.4, o fabricante indica este produto para uso em juntas horizontais e verticais como, por exemplo, pré-moldados, juntas de dilatação, juntas de construção e alívio.

Problemas como na figura 49 demonstram que o funcionário não aplicou o produto suficiente, concluindo que o problema não está no processo, mas sim na verificação da qualidade posterior à execução e treinamento do funcionário.

Figura 49 – Aplicação de poliuretano insuficiente



(fonte: foto do autor)

Já no caso da figura 50, a vedação está descascando, indicando que a superfície não foi devidamente limpa antes da aplicação do produto.

Figura 50 – Produto de vedação descolando da superfície



(fonte: foto do autor)

Segundo item 3.5.4, a limpeza rigorosa da área é obrigatória, se possível com aspiração mecânica.

Entretanto, foi identificado in loco, conforme figura 51 abaixo, que essa limpeza não faz parte do cotidiano dos funcionários que executam a cobertura, sendo indicada uma mudança no procedimento dos mesmos por parte da obra.

Figura 51 – Platibanda com sujeira



(fonte: foto do autor)

5.5 QUEBRAS E DANOS

Este tipo de não conformidade foi encontrada em telhas e rufos, pois se trata dos locais da cobertura onde há trânsito de pessoas e objetos.

A razão pela qual esse tipo de problema acontece, conforme figura 52, é o fato de que o trânsito de indivíduos não é feito de forma correta no momento da execução da cobertura e posteriormente à finalização da mesma.

Figura 52 – Telhas fissuradas



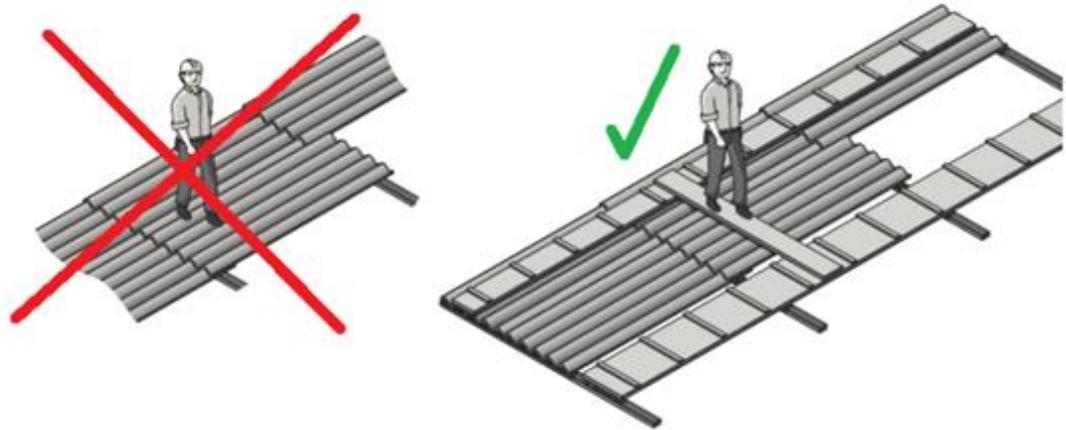
(fonte: foto do autor)

Foi verificado in loco que os funcionários que estão trabalhando na cobertura já com telhamento não utilizam as tábuas de madeira com o propósito de distribuir as tensões para uma área maior do telhamento.

As telhas de fibrocimento não resistem à grandes cargas verticais, conforme tabela 12, portanto é necessária a utilização de materiais que distribuam as cargas e diminuam a pressão sobre a telha.

O próprio fabricante do telhamento indica o uso destas tábuas e também pode ser verificado que na especificação técnica da companhia que este uso é indicado, conforme figura 53.

Figura 53 – Uso de tábuas de madeira para distribuir o peso sobre as telhas



(fonte: arquivo técnico da construtora)

Portanto, a solução deste tipo de problema é a exigência por parte da obra do uso de tábuas de madeira para a execução e manutenção das coberturas.

Também é indicado evitar retrabalhos e acessos desnecessários ao telhado após sua finalização.

5.6 CAIMENTO

Apesar de representar apenas 12% dos apontamentos do relatório, caimentos invertidos ou inexistentes encontrados nas platibandas e calhas podem representar um ponto crítico causador de manifestações patológicas na edificação.

Em ocasiões onde o caimento da calha está invertido, conforme figura 54, pode-se ocasionar um acúmulo de água parada no local e aglomeração de materiais orgânicos, criando um ponto crítico de transbordamento, com isso criando possíveis infiltrações na cobertura.

Figura 54 – Platibanda com caimento invertido

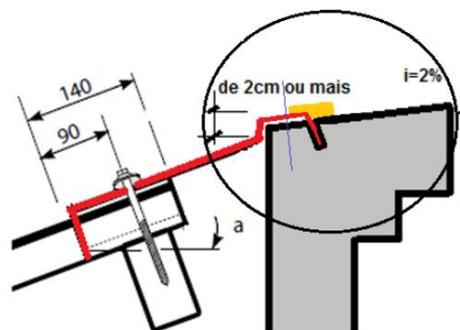


(fonte: foto do autor)

Pode-se verificar na figura 54 que o fato do caimento estar invertido já está criando um ponto de acúmulo de material, mesmo que a cobertura tenha sido executada recentemente.

Por outro lado, o caimento da platibanda, conforme especificação técnica estipulada na figura 55, deve ser de 2%. Esse caimento garante que a água não escorra para o lado da fachada, causando problemas de manchas e infiltrações da mesma. O sistema é projetado para que a água vá da platibanda até a calha e por fim os buzinos nos pontos de menor nível da calha.

Figura 55 – Detalhamento da platibanda e seu caimento



(fonte: arquivo técnico da construtora)

Problemas de caimento possuem a mesma causa dos apontamento de execução já mencionados no item 5.3.

O reforço do treinamento dos funcionários e melhoria da verificação do serviço é a única solução para diminuir este tipo de não conformidade.

Também é importante salientar que as cotas das calhas não são descritas nas especificações técnicas da empresa, deixando o fornecedor que executa o telhado com a responsabilidade de definir estas cotas. Seria importante, para dirimir estes problemas, que a empresa definisse as cotas dos pontos iniciais e finais de todas as calhas e rufos do telhado.

6 COMPARATIVO ENTRE SISTEMA ATUAL E SISTEMAS ALTERNATIVOS DE COBERTURA

Neste capítulo será feita uma comparação entre o sistema de coberturas atualmente utilizado pela construtora, exposto no item 4, e os sistemas alternativos estudados no item 3.

Os parâmetros a serem analisados são:

- Disponibilidade no mercado da construção civil brasileira: como as obras da construtora em questão se localizam no Brasil, não faz sentido estudar uma solução que não é amplamente disponível no mercado local. Além disso, as soluções estudadas precisam ter grande difusão no território nacional, pois, como existem obras da companhia em todas as regiões, é essencial que a compra de materiais e contratação de mão de obra seja de fácil acesso para o setor de suprimentos.
- Desempenho: é essencial que os sistemas analisados possuam capacidade de resistir às solicitações e apresentem desempenho mínimo exigido por norma.
- Tempo de execução: outro fator muito importante neste setor da construção é o tempo de montagem do sistema. As obras da construtora possuem um ritmo muito acelerado, pois o tempo de execução dos empreendimentos normalmente dura menos de um ano. Portanto é essencial que o tempo de execução da cobertura não aumente a duração total da obra.
- Custo: fator principal para a escolha da melhor solução, a busca pelo menor custo de execução das obras é um dos principais pilares da construção habitacional. Será feito um estudo de custo para cada solução e realizada uma comparação entre os sistemas propostos.

Inicialmente será feita uma análise da viabilidade de cada sistema estudado no item 3 para as obras da construtora, e, posteriormente, será feita um comparativo final das respectivas soluções propostas.

Com o objetivo de realizar uma análise clara, a cobertura será separada em dois componentes, a estrutura e o telhamento. Estes componentes serão analisados separadamente e, na conclusão, se chegará em um consenso de qual sistema é o mais adequado.

6.1 ESTRUTURAS

A estrutura do telhado, responsável por resistir aos esforços resultantes do seu peso próprio, do peso do telhamento, tanto como do trânsito de pessoas e das solicitações de vento, é parte essencial do sistema de cobertura. Podemos ter estruturas que não necessitam de telhamento, como a laje impermeabilizada e concreto pré moldado tipo “*shed*”, e existem estruturas que necessitam de telhas, como estruturas de madeira, metálica ou *steel frame*.

Importante salientar que como a estrutura metálica e de *steel frame* são muito similares em sua execução e nos materiais usados, conforme mencionado no item 3.3.5, esta última não será considerada nesta parte do trabalho.

6.1.1 ESTRUTURA DE MADEIRA

Foi exposto no item 3.3 que as estruturas de madeira, similarmente às estruturas de aço e *steel frame* podem ter várias formas e soluções específicas conforme a geometria da cobertura. Como, conforme já mencionado, a cobertura estudada possui uma laje de concreto de 10 cm de espessura, a solução de madeira mais recomendada é a estrutura pontaletada, que será a estudada neste item.

6.1.1.1 DISPONIBILIDADE NO MERCADO

Conforme mencionado no item 3.3.1, metade da madeira utilizada na construção civil em 2001 foi destinada à fabricação de coberturas. Portanto, mesmo que o uso desse sistema esteja diminuindo, o mercado brasileiro ainda possui ampla disponibilidade de material e mão de obra para a execução dessa estrutura, não sendo este um fator eliminatório para sua escolha.

6.1.1.2 DESEMPENHO

Apesar da madeira ter resistência à compressão menor que o aço, a estrutura de madeira, quando dimensionada corretamente, pode resistir às solicitações apresentadas de forma perfeita, não sendo impeditivo para a escolha deste telhado.

6.1.1.3 TEMPO DE EXECUÇÃO

Similarmente à estrutura metálica, a madeira pode ser preparada anteriormente à chegada do canteiro de obra, agilizando o tempo de execução, desta forma não aumentando o prazo em comparação com a estrutura atualmente utilizada. Entretanto, este tipo de cobertura pode ser muito artesanal, sendo sua qualidade dependente da mão de obra específica. Portanto, se não for feita por profissionais com experiência e treinados, podem ocorrer atrasos. Normalmente a estrutura de madeira, no mercado brasileiro, é executada *in loco* de maneira extremamente arcaica, não utilizando técnicas de pré fabricação para diminuir seu tempo de execução em obra. O material possibilita a pré fabricação conforme a estrutura metálica, mas os fornecedores de mão de obra normalmente executam a preparação das peças no local de montagem.

6.1.1.4 CUSTO

Não é de interesse do trabalho definir quais dimensões dos perfis de madeira que deveriam ser usados para a estrutura do telhado, portanto, para uma comparação de preços, serão definidos perfis usuais na execução de telhados convencionais de madeira, sendo mantidos as mesmas metragens de caibros, ripas e pontaletes encontradas na tabela 26.

Para a execução dos caibros e ripas, pode-se considerar um perfil de eucalipto ou pinus com dimensões de 4x4 cm. Para esta comparação, será utilizado o valor de R\$ 15,00/m, conforme pesquisa de mercado.

Na execução dos pontaletes, pode-se considerar um perfil mais robusto, de 5x5 cm, devido à maior solicitação de compressão do elemento. Será considerado o preço de R\$ 20,00/m para o estudo, segundo as pesquisa de mercado realizadas.

Neste caso, o valor total da estrutura seria de R\$ 9.619,80 para a estrutura do telhado de uma torre.

6.1.2 ESTRUTURA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

No item 3.3.2, foram expostas possíveis soluções de coberturas executadas em concreto pré moldado. Conforme mencionado, podem-se considerar coberturas em estrutura em casca ou folha poliédrica e estruturas descontínuas de concreto.

As estruturas em casca ou folha não são viáveis como solução para o tipo de empreendimento estudado, pois este tipo de cobertura é melhor utilizado em grandes vãos de obras industriais ou comerciais. Além disso, o alto custo e tempo de execução deste sistema não seria benéfico para a companhia estudada.

A solução de estrutura descontínua de concreto também não é uma opção viável para o futuro estudo, pois estruturas tipo “*shed*” são recomendadas para a execução de grandes galpões. Já a execução de uma estrutura de concreto pré moldado convencional para a execução do telhado não seria de grande utilidade, já que a cobertura já possui uma laje moldada *in loco* que oferece suporte para a estrutura do telhado. Portanto o uso de concreto para esta estrutura resultaria em um super dimensionamento da mesma, acarretando em gastos desnecessários e tempo elevado de execução.

6.1.3 ESTRUTURA DE LAJE IMPERMEABILIZADA

A opção de laje de concreto impermeabilizada, conforme item 3.3.3, se demonstra uma opção viável nas edificações utilizadas, já que a própria laje de concreto, elemento suporte para a manta asfáltica, é sempre executada na cobertura conforme método de construção utilizado nas obras.

A laje impermeabilizada também possui uma vantagem que todos os outros sistemas de cobertura não possuem, que é a possibilidade de utilizar a cobertura, se dimensionada corretamente, como área de uso comum, permitindo o tráfego de pessoas, devido à sua baixa inclinação, resistência à compressão dos materiais utilizados e fator de proteção devido à presença da platibanda na periferia.

Apesar de análises, conforme item 3.5.1, indicando que a manta asfáltica necessita de um material de isolamento térmico para atender às normas de desempenho mínimo, a construtora está verificando o desempenho térmico de suas edificações para atender o desempenho estipulado pela norma (ABNT, 2013), e isso incluí a realização de testes para descartar o uso de isolantes térmicos auxiliares em seus sistemas. No decorrer deste trabalho, será considerado que o sistema de laje de concreto, manta asfáltica e proteção mecânica pode atender às exigências mínimas de desempenho em casos específicos. A necessidade da lâ de vidro será verificada paralelamente, ao fim do estudo.

A execução da laje impermeabilizada resume-se a cinco serviços distintos:

- Execução da limpeza da superfície e regularização da mesma, tomando cuidado com o caimento dos pontos de escoamento e encontros entre parede e laje, conforme item 3.5.1.
- Aplicação de uma demão de primer para garantir aderência do material na superfície.
- Execução da impermeabilização de toda a área da laje, com execução de manta asfáltica tipo III, conforme item 3.5.1.
- Teste de estanqueidade da impermeabilização.
- Execução da proteção mecânica conforme mencionado no item 3.5.1, mantendo espessura de 3 cm. Para a execução desta camada, será considerado o uso de argamassa pronta, devido a sua praticidade e velocidade de execução em comparação com a mistura de cimento e areia executada em obra.

6.1.3.1 DISPONIBILIDADE NO MERCADO

A execução da manta asfáltica demonstra-se uma opção extremamente popular no mercado da construção civil atual, sendo usada em múltiplas situações, conforme item 3.5.1, mencionando o seu uso em lajes, banheiros, cozinhas, varandas, coberturas, terraços e estacionamentos, entre outros, demonstrando-se uma opção com grande disponibilidade no mercado.

A mão de obra para execução desse tipo de serviço é bastante difundida no mercado, e também o treinamento de novos funcionários seria simples e rápido, caso a construtora decida por contratar mão de obra própria para executar o serviço.

6.1.3.2 TEMPO DE EXECUÇÃO

Para determinar o tempo de execução do sistema, será definido o tempo de cada etapa do processo estipulado no item 6.1.3.

- Preparação da superfície: considerando um perímetro de platibanda de aproximadamente 150 metros a ser arredondado, 8 ralos de saída de água para o sistema pluvial e 8 ladrões na periferia da platibanda, é razoável que 2 funcionários executem o serviço em dois dias. Admite-se que o caimento necessário da laje pode ser executado juntamente com a concretagem da laje de cobertura, na etapa de regularização da laje, não afetando no tempo de execução do sistema.

- Aplicação do primer: Para uma área de 405,43 m², dois funcionários podem executar o serviço em metade de um dia de trabalho. Entretanto, como o produto possui um tempo de secagem de 8 horas, será necessário um dia inteiro para a execução desta etapa.
- Aplicação da Impermeabilização e teste de estanqueidade: Pode ser considerado que cada metade do telhado é executada em um dia, entretanto, como é necessário um teste de estanqueidade de 72 horas, o tempo total de execução dessa etapa é de 5 dias.
- Execução da proteção mecânica: Considerando uma produção diária de 75 m²/dia para os funcionários, em média este serviço levará 3 dias para ser concluído.

No total, todo o serviço da cobertura de laje impermeabilizada levaria, em média, 11 dias para ser executado.

6.1.3.3 CUSTO DE EXECUÇÃO

Conforme o item 4.6, no estudo do custo da laje impermeabilizada, o custo de cada material e mão de obra será analisado separadamente para posterior compilação de dados e comparação.

6.1.3.3.1 MÃO DE OBRA

Conforme item 6.1.3.2, o tempo de execução da cobertura, usando a mão de obra de dois funcionários, totaliza 11 dias, portanto devem ser consideradas 22 diárias, cada contendo 9 horas de trabalho. Foi considerado o custo médio, conforme o CUB, para dois pedreiros, que resulta em um custo de R\$ 7,15/hora. Totalizando um valor de R\$ 1.415,70.

6.1.3.3.2 CUSTO MATERIAIS

- Manta Asfáltica: considerando o consumo de 1,15 m² de produto para cada m² de superfície, conforme especificação do fabricante, a quantidade de produto total usada para executar toda a área de 405,45 m² da cobertura pode ser aproximada para 466,24 m² de produto. Considerando o custo de R\$ 15,00/m² conforme pesquisa de mercado, e o custo adicional de R\$ 3,00/m² para o uso do maçarico e gás para o mesmo na execução da impermeabilização, o valor total da aplicação resulta em R\$ 8.392,00.
- Primer: a aplicação do primer, conforme informação do fabricante, pode ser feita em apenas uma demão, com consumo de 0,25 litros/m². Considerando a área total de

405,45 m² no valor de mercado de R\$ 160,79 para cada balde de 18 litros do material, o valor total resulta em R\$ 905,40.

- Proteção mecânica: Considerando uma proteção com espessura de 3 cm, o volume total de argamassa a ser usado seria 12,16 m³. Considerando o uso de argamassa pronta para execução da camada protetora, consumo de 1600 kg/m³ conforme especificação do fabricante e um valor de mercado de R\$ 3,00/kg, o valor total da camada de proteção é R\$ 5.835,19.

6.1.3.3.3 CUSTO TOTAL

Compilando todos os valores encontrados nos itens 6.1.3.3.1 e 6.1.3.3.2, o valor total para a cobertura de laje impermeabilizada com manta asfáltica é de R\$ 16.548,70. Um resumo de todos os valores usados e as quantidades de material e mão de obra considerados estão expostos na tabela 30 abaixo. Os custos unitários foram retirados de pesquisa de mercado e do CUB.

Tabela 30– Custo total da cobertura de laje impermeabilizada

Material	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
MO FUNCIONÁRIO	R\$ 7,15/hora	198 horas	R\$ 1.415,70
PRIMER	R\$ 8,93/Litro	101,35 Litros	R\$ 905,40
MANTA ASFÁLTICA + APLICAÇÃO	R\$ 18,00/m ²	466,25 m ²	R\$ 8.392,40
ARGAMASSA PRONTA	R\$ 0,30/kg	19450,64 kg	R\$ 5.835,19
TOTAL			R\$ 16.548,70

(fonte: elaborada pelo autor)

6.1.3.3.4 PARTICULARIDADES DO SISTEMA

Conforme já mencionado no item 6.1.3, o sistema de laje impermeabilizada possui a vantagem de proporcionar que a área da cobertura seja utilizada para outros fins, possibilitando o trânsito de pessoas sobre a mesma.

É importante salientar que, conforme o item 3.3.3, a platibanda que cobre o perímetro da torre, para possibilitar o trânsito de pessoas no local, precisa ter uma altura igual ou superior à

1,1 metros. Portanto seria necessária a alteração da altura da platibanda atual, que mede 0,8 metros.

Entretanto, esse sistema já foi utilizado pela construtora no passado, e a mudança de sistema para a estrutura metálica se deu por dois motivos principais.

O primeiro ponto a ser estudado é que o sistema de manta impermeabilizada, quando não executado de forma correta, pode apresentar pontos de infiltração. Como o sistema trabalha por uma malha homogênea que cobre toda a superfície da laje, se qualquer ponto da mesma não for corretamente impermeabilizado, um local de entrada de água pode ocorrer.

Outros sistemas de cobertura também necessitam da execução correta para garantir seu desempenho, entretanto, a manutenção da laje impermeabilizada tem um custo maior do que a do telhado tradicional, já que se faz necessária a quebra de toda a camada de proteção e execução da impermeabilização localizada, envolvendo todo o preparo do material.

O segundo ponto a se considerar é a instalação de antenas de televisão na cobertura. Em múltiplas ocasiões, em empreendimentos anteriores, o instalador da antena fixou o equipamento em um local não apropriado, perfurando a manta asfáltica e causando um ponto de infiltração.

Para dirimir este problema, é aconselhado que sejam executados blocos de concreto espalhados na área de cobertura para a instalação das antenas de televisão. É importante salientar que estes blocos devem ser executados juntamente com a camada de proteção, para garantir que a manta asfáltica seja executada abaixo do bloco.

6.1.4 COMPARATIVO DE ESTRUTURAS

Inicialmente, podemos descartar a possibilidade da execução da estrutura de concreto pré-moldado, pois, conforme item 6.1.2, as soluções para este sistema não são aplicáveis para o porte das edificações estudadas.

Também podemos considerar que a estrutura de madeira, conforme item 6.1.1, é uma solução muito similar à estrutura metálica. O custo da estrutura metálica é de R\$ 9.744,02, em comparação com R\$ 9.619,80 da estrutura de madeira. Portanto, a única grande diferença entre as duas soluções seria o fato de que a estrutura de madeira tende a ter uma mão de obra

mais artesanal, já a estrutura metálica normalmente é um produto mais industrializado. Por este motivo, não é interessante considerar a estrutura de madeira como uma opção viável para as edificações estudadas.

O comparativo que se faz necessário é a entre a solução atual, de estrutura metálica, e a laje impermeabilizada estudada no item 6.1.3, já que os sistemas diferem totalmente.

Um comparativo completo será realizado no item 6.3, sendo também considerado o telhamento e isolamento utilizado.

6.2 TELHAMENTO

Como no item 6.1 foram analisadas apenas as estruturas que compõem o sistema de cobertura, neste item se faz necessária a análise dos diferentes telhamentos que podem ser usados nas estruturas mencionadas no item supracitado.

Para os quatro tipos de estrutura estudados no item 6.1, apenas nas estruturas metálicas e de madeira se faz necessário o uso de telhas. Na estrutura de concreto pré moldado tipo “*shed*”, conforme estudado no item 6.1.2, não é necessário o uso de telhamento, já que a própria estrutura possui a função de fechamento da cobertura. No caso da laje pré moldada impermeabilizada por manta asfáltica, também se dispensa o uso de telhas, já que a própria impermeabilização aplicada à superfície da laje, juntamente com a proteção mecânica, tem a função similar ao telhamento.

Será realizada uma comparação entre as telhas estudadas no item 3.4, utilizando como contextualização as obras estudadas neste trabalho. As características dos tipos de telhas a serem analisadas são a viabilidade, custo, desempenho e disponibilidade no mercado

6.2.1 TELHAS CERÂMICAS

As telhas de cerâmicas não são uma opção viável, pois exigem grandes inclinações, entre 30 e 35% conforme estipulado no item 3.4.1, assim expondo o telhado e dificultando o trânsito de pessoas no local. Além disso as telhas de cerâmica tem baixa resistência à flexão, sendo muito propícias à quebras. Normalmente este tipo de telha é usado em coberturas de pequenas habitações, onde a área a ser telhada não é muito grande.

6.2.2 TELHAS DE FIBROCIMENTO

Este tipo de telhamento é o utilizado nas coberturas das obras estudadas, conforme já mencionado no item 4.3. Se faz uma opção muito interessante pelo seu baixo custo e fácil execução. O custo da telha, conforme explicitado no item 4.6.2 é de 21,84/m² e é facilmente encontrado no mercado da construção civil brasileira.

Entretanto, a telha possui uma desvantagem em relação a outros tipos mais robustos. Conforme o item 3.4.2, as telhas de fibrocimento não possuem desempenho térmico favorável, podendo não atender às normas de desempenho mínimo, dependendo da situação onde se encontram.

Em relação ao atendimento deste desempenho mínimo, é necessário um estudo mais detalhado sobre a capacidade do material de atender à norma, sendo variável entre regiões o nível de agressividade do clima.

A construtora está executando testes no sistema atual de coberturas para verificar se este atende ao desempenho mínimo requisitado pela norma. Entretanto, se os resultados não forem satisfatórios, seria necessária a adição de uma camada de vedação térmica, como a instalação de lã de vidro entre a laje e o telhado, o uso de ventilação cruzada ou a troca da telha por uma opção que atenda à norma.

6.2.3 TELHAS METÁLICAS

Outra opção disponível para telhamento das coberturas estudadas seria o uso de telhas metálicas, conforme estudado no item 3.4.3. A referência indica que a telha mais indicada para o uso nas obras da construtora é a galvanizada, que será a considerada neste estudo. Entretanto, para obras em regiões litorâneas ou industriais, a telha galvalume é a mais indicada.

Conforme a tabela 13 e referência do fabricante estipulada no item 3.4.3, as telhas metálicas resistem a 60 kgf/m², pouco superior à resistência estabelecida na tabela 12, de 50 kgf/m², da telha de fibrocimento.

O item 3.4.3 menciona que as telhas metálicas pintadas possuem bom desempenho térmico, entretanto pesquisas sugerem que a telha metálica possui desempenho térmico inferior às telhas de fibrocimento, cerâmica e material reciclado.

O custo da telha galvanizada de forma trapezoidal, conforme pesquisa de mercado, é de R\$ 31,05/m²

6.2.4 TELHAS SANDUÍCHE

Este tipo de telha demonstra-se uma opção mais robusta e de melhor desempenho quando comparada aos materiais estudados anteriormente. A telha sanduíche é composta com duas telhas metálicas que envolvem uma vedação térmica e acústica, conforme item 3.4.4.

A telha sanduíche possui capacidade de resistir, em situações mais críticas, a 100 kgf/m², conforme tabela 17, valor bastante superior às telhas metálicas e de fibrocimento.

Sua capacidade térmica é muito superior às telhas de fibrocimento e cerâmica, conforme é mostrado na tabela 17. Essa opção de telha demonstra ser uma excelente escolha para atender às normas de desempenho térmico e acústico. Portanto, caso os testes do sistema com as telhas de fibrocimento obtiverem resultados negativos, a opção das telhas sanduíche pode se tornar a mais adequada.

O valor da telha sanduíche, conforme pesquisa de mercado, é de R\$ 50,00/m².

6.2.5 LÃ DE VIDRO

Para realizar uma comparação de custos, é necessário também conhecer o custo de uma camada de lã de vidro, que pode também ser uma opção viável para atender ao desempenho térmico da norma, conforme item 3.4.5. Esta opção pode ser contraposta à telha sanduíche, apresentando resultados similares de isolamento térmico.

As pesquisas de mercado realizadas estipulam que o custo da lã de vidro de 63mm específica para isolamento de coberturas está em torno de R\$ 14,00/m². Sendo considerado que seria necessário uma diária para instalar os 405,43 m² do telhado, adicionando R\$ 0,15/m² no custo total do sistema.

Sua combinação com a telha de fibrocimento, que se demonstrou o material mais econômico, segundo item 6.2.2, é de R\$ 35,99/m².

6.2.6 COMPARATIVO DO TELHAMENTO

A tabela 23 resume as informações citadas no item 6.2, facilitando assim a visualização das principais vantagens e desvantagens de cada material.

As telhas cerâmicas, conforme item 6.2.1, foram consideradas não viáveis para o estudo, não sendo necessário posterior verificação de custo e desempenho.

Para as soluções verificadas, foram consideradas as opções de telha de fibrocimento, metálica, sanduíche e a combinação de telha de fibrocimento e lã de vidro.

Tabela 31– Comparativo de diferentes tipos de telhamento

Material	Custo Unitário	Custo Total do Telhamento	Desempenho Térmico
Fibrocimento	R\$ 21,84	R\$ 8.854,59	Baixo
Metálica	R\$ 31,05	R\$ 12.588,60	Baixo
Sanduíche	R\$ 50,00	R\$ 20.271,50	Alto
Fibrocimento + Lã de Vidro	R\$ 35,99	R\$ 14.591,43	Alto

(fonte: elaborada pelo autor)

Portanto, se os testes de desempenho térmico realizados pela construtora demonstrarem que o sistema de cobertura com telha de fibrocimento atende ao desempenho mínimo exigido pela norma, a opção mais adequada seria o uso deste material.

Já se for necessário a melhoria na vedação térmica e/ou acústica do sistema, a opção de telha de fibrocimento e revestimento de lã de vidro sobre a cobertura demonstra ser a opção mais barata, e deve ser a escolhida.

6.3 COMPARATIVO DOS SISTEMAS

No item 6.1 foi realizado um estudo da aplicabilidade de cada estrutura nas edificações estudadas. Já no item 6.2 foi realizado um comparativo entre os métodos de impermeabilização e fechamento da estrutura. Todavia, para se definir qual sistema de cobertura seria mais adequado para a construtora, é necessário uma análise conjunta de todos os componentes da cobertura.

Também a solução considerada mais adequada é a colocação da lã de vidro sobre a laje concretada em comparação à telha sanduíche pelo seu menor custo, conforme item 6.2.6.

A tabela 32, conforme item 6.1, leva em conta os parâmetros de desempenho, tempo de execução e custo para objetivar as características de cada sistema, usando os parâmetros estipulados nos itens 6.1 e 6.2.

Tabela 32 – Comparativo de diferentes tipos de coberturas

Tipo de Estrutura	Desempenho	Tempo de Execução	Custo Total	
Estrutura Metálica + Telha Fibrocimento	Baixo	10 dias	R\$	23.994,53
Estrutura Metálica + Telha Fibrocimento + Lã de Vidro	Alto	11 dias	R\$	29.731,36
Laje Impermeabilizada	Baixo	11 dias	R\$	16.548,70
Laje Impermeabilizada + Lã de Vidro	Alto	12 dias	R\$	22.285,53

(fonte: elaborada pelo autor)

7 CONCLUSÃO

Ao buscar o sistema de cobertura aplicado ao modelo construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco* em empreendimentos do programa MCMV que possuísse o menor custo e tempo de execução, ao mesmo tempo atendendo à norma de desempenho e que possuísse disponibilidade no mercado, chegou-se à conclusão de que o sistema atualmente usado pela construtora, de estrutura metálica com telhamento de fibrocimento, e a solução de laje impermeabilizada são as duas opções mais adequadas.

A estrutura metálica possui o menor tempo de execução dentre as soluções estudadas. Além disso, seu custo de manutenção é menor quando comparado à laje impermeabilizada. Entretanto, foi verificado que o número de manifestações patológicas encontradas no sistema atual é alarmante, devido à sua grande complexidade de detalhes e falta de instrução dos funcionários que executam o sistema. Para se manter este atual sistema, teria que ocorrer um investimento em treinamento da mão-de-obra e fiscalização da execução.

Já a laje impermeabilizada possui um menor custo quando comparada com outros sistemas, fator extremamente importante no sistema de construção estudado. Também tendo um tempo de montagem pequeno, mas não inferior à estrutura metálica com telha de fibrocimento. Esta solução também apresenta uma grande vantagem, própria deste sistema, que é a possibilidade de usar a cobertura como área de uso comum.

Entretanto, foi verificado que o custo de manutenção da laje impermeabilizada é maior em comparação a outros sistemas. Adicionalmente, o risco de manifestações patológicas devido ao mal uso da cobertura, como, por exemplo, por instalação indevida de antenas, pode levar a um alto número de infiltrações.

Também é importante salientar que, para a certeza de atendimento do desempenho mínimo especificado pela norma, é necessária a execução de testes *in loco*. Caso os testes de desempenho da cobertura metálica com telhamento de fibrocimento ou da laje impermeabilizada não sejam favoráveis, a solução mais econômica é a instalação de uma camada de lã de vidro para ambos os casos.

Apesar das vantagens e desvantagens de cada sistema, não é possível indicar qual dos dois seria mais adequado para a situação em questão, já que ambas possuem desempenho e custo similar.

A conclusão do trabalho é que, independente de qual das duas coberturas for escolhida, essencial é a correta execução do sistema, sendo necessária a garantia do treinamento apropriado aos funcionários que executam a atividade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B. F. De, **Padrões normativos, ensaios experimentais e análise da performance acústica de telhas sanduíche**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- ARTIGAS, L. V: **Materiais de Construção III – Fibrocimento**. Universidade Federal do Paraná, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Projeto, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da construção industrializada. Volume 1: Estrutura e Vedação**. São Paulo, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 9952:2014**: Manta Asfáltica para Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 14513**: Telhas de aço revestidas de seção ondulada. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 15310**: Componentes cerâmicas – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 6118**: Estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 7581**: Telha ondulada de fibrocimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 8039**: Projeto de execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2006
- _____. **NBR 9952: Manta asfáltica com armadura para impermeabilização**. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 14718**: Guarda-Corpos para edificação. Rio de Janeiro, 2001.
- BAUTECH. **Catálogo Técnico Bautech PU 1** . São Paulo, 2018 <
<http://www.bautechbrasil.com.br/produtos/selantes-especiais/bautech-pu-1>> Acesso em: 13 de nov de 2018.
- BELLEI, I, H: **Edifícios industriais em aço**: projeto e cálculo. 3. Ed. São Paulo, Pini, 2000.
- BUSIAN, F: **Telhas**. Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ed. 36. Maio 2011.
- CARDÃO, C. **Técnica da construção**, 5. Ed Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1981. v. 2.
- CAUMO L. B, **Execução de lajes moldadas in loco: um sistema de controle de qualidade para a redução de perdas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- CICHINELLI, G. **Estanqueidade garantida**. Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo, n 189. Dezembro 2012.

CONSTRUTORA.. Manual técnico de execução. Não publicado.

CORREA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Fissuras em paredes de alvenaria estrutural sob lajes de cobertura de edifício.** Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2012.

DENVER. **Catálogo Técnico Denvertec 100.** São Paulo, 2018a. <Disponível em <<http://www.denverimper.com.br/files/produtos/00000010000500/13/7a146c9d0d9962ee72105324d458b907.pdf>> Acesso em: 25 ago. 2018.

_____. **Catálogo Técnico Elastic.** São Paulo, 2018b. <Disponível em <<http://www.denverimper.com.br/files/downloads/0000001-0000500/90/df9aa7e673a8ac5013ed094891188a4.pdf>> Acesso em: 25 ago. 2018.

DIAS, A. Da S, **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** 1. Ed. São Carlos: EESC-USP, 2000.

ETERNIT. **Catálogo Técnico: Fibrocimento.** São Paulo, 2016a. Disponível em <<https://www.etermit.com.br/downloads/catalogos/catalogo-etermit-fibrocimento.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2018.

_____. **Catálogo Técnico: Telhas Metálicas.** São Paulo, 2016b. Disponível em <<https://www.etermit.com.br/downloads/catalogos/CATALOGO-ETERNIT-FIBROCIMENTO-2016-WEB.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2018

FERREIRA, R. **Materiais e ferramentas, conhecendo os impermeabilizantes.** Equipe de obra, São Paulo, Fevereiro 2012 Disponível em < <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/44/conhecendo-os-impermeabilizantes-veja-quais-sao-os-sistemas-de-245388-1.aspx>> Acesso em: 25 ago. 2018.

FLACH, R. S, **Estrutura para telhados: Análise Técnica de Soluções.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. De. **Steel framing:** arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

HUSSEIN, J. S. M, **Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campo Moura – PR.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

INDEFINIDO **Critérios para especificação e escolha de sistemas de impermeabilização.** Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo, n 154. Janeiro 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmica:** manual de execução; São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

ISOVER. **Isolação para coberturas.** São Paulo, 2017. Disponível em <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/1847/47119/catalogo-isover-saint-gobain-facefelt.pdf>> Acesso em: 21 nov. 2018.

JOFFILY, I. A. L., **Análise comparativa da temperatura nas mantas asfálticas em diferentes condições de exposição.** Congresso Brasileiro de Concreto IBRACON. São Paulo, 2013.

MOLITERNO, A. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. Revisão de Reyolando Manoel. L. R. da Fonseca Brasil, 4. Ed. Rev. São Paula: Blucher, 2010.

NAKAMURA, J. **Como impermeabilizar lajes de cobertura para evitar patologias?** AECweb – O portal da arquitetura, engenharia e construção. Disponível em < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-impermeabilizar-lajes-de-cobertura-para-evitar-patologias_16796_10> Acesso em: 07 ago. 2018.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

PFEIL, W; PFEIL, M. S. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático. 7. Ed. atualizada. Rio de Janeiro: LTC, 2000

PORCIÚNCULA, E. **A importância do projeto de impermeabilização**. IBDA Fórum da construção. São Paulo, 2013. Disponível em <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=137>> Acesso em: 25 ago. 2018.

RODRIGUES, E. **Técnicas das construções**: cobertura. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006. Disponível em <<https://www.yumpu.com/pt/document/view/12966809/tecnica-das-construcoes-edmundo-rodrigues-180-1-ufrrj>> Acesso em: 15 jul. 2018.

QUARTZOLIT. **Catálogo Técnico Impermeabilização Tipo 3**. São Paulo, 2016. <Disponível em <https://www.quartzolit.weber/files/br/2018-01/manta_asfltica_tipo_III_3mm_quartzolit.pdf> Acesso em: 17 nov. 2018.

ROSSI, F. **Tipos de telhas e suas características**. Pedreira. São Paulo, 2015. Disponível em <<https://pedreira.com.br/tipos-de-telhas-e-suas-caracteristicas/>> Acesso em: 19 ago. 2018.

SCHELB, C. G. **Avaliação de tipologias construtivas nos critérios de sustentabilidade**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

SIQUEIRA, F. **Membrana de poliureia é indicada para impermeabilização de ambientes agressivos** AECweb – O portal da arquitetura, engenharia e construção. São Paulo, 2017. Disponível em <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/membrana-de-poliureia-e-indicada-para-impermeabilizacao-de-ambientes-agressivos_15341_10_0> Acesso em: 23 ago. 2018.

TELHAFORTE. **Catálogo de telhas**. São Paulo, 2017. Disponível em <www.calhaforte.com.br/wp-content/uploads/.../Catálogo-de-Telhas-CalhaForte.pdf> Acesso em: 25 ago. 2018.

TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. **Steel Frame – cobertura: última parte**. Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano. 17, n 144. P. 77-80, março 2009.

TOP TELHAS. **Catálogo Técnico**. São Paulo, 2014. Disponível em <toptelha.com.br/catalogos/TopTelha_CatalogoTecnico.pdf> Acesso em: 25 ago. 2018.

VAN ACKER, A. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. FIB, 2002

WERTHEIMER, D. **Impermeabilização com mantas asfálticas**. Técnica: a revista do engenheiro civil, São Paulo, edição 106, janeiro 2006.

ZAJAKOFF, F. **Telha sanduíche oferece proteção e conforto às edificações** AECweb – O portal da arquitetura, engenharia e construção. São Paulo, 2016. Disponível em <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/telha-sanduiche-oferece-protexao-e-conforto-as-edificacoes_13175_10_0> Acesso em: 23 ago. 2018.>.

