

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Roberta Costa Ribeiro da Silva

**AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA INTEGRADO AO TELHADO**

Florianópolis,

2014.

Roberta Costa Ribeiro da Silva

## **AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA INTEGRADO AO TELHADO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Dr. Luís Alberto Gómez.

Florianópolis,

2014.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Roberta Costa Ribeiro da  
Aquecedor solar de água integrado ao telhado / Roberta  
Costa Ribeiro da Silva ; orientador, Luís Alberto Gómez -  
Florianópolis, SC, 2014.  
172 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Aquecedor solar. 3. Integração.  
4. Telhado. I. Gómez, Luís Alberto . II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

Roberta Costa Ribeiro da Silva

## **AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA INTEGRADO AO TELHADO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área de Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de agosto de 2014.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.  
Coordenador do Curso  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Luis Alberto Gómez  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca examinadora:

---

Prof. Philippe Jean Paul Gleize  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Humberto Ramos Roman  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Solange Virgínia Galarça Goulart  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho as pessoas que assim como eu, acreditam que pequenas ações são capazes de mudar o mundo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Humberto Ramos Roman, pela simpatia, disponibilidade e interesse com os quais me recebeu antes do meu ingresso no curso e pela amizade e confiança estabelecida ao longo de todo o período.

Ao Professor Luís Alberto Gómez por ter aceitado a missão de orientar uma aluna arquiteta, totalmente inexperiente nos assuntos acadêmicos.

Ao Professor José Alberto Azambuja, idealizador do tema desta dissertação, pela disponibilidade e pelas incansáveis horas de conversas, risadas, desapontamentos e encontros em busca de respostas para as infinitas questões que surgiram neste processo.

À professora Ana Ligia Papst de Abru pela gentileza em contribuir com a organização desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora que gentilmente se dispuseram a participar e contribuir com o trabalho.

Ao Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Alvenaria e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil por me acolherem nas horas em que precisei de espaço para trabalhar.

Aos colegas que convivi mais de perto e pude trocar experiências e amizade durante o mestrado, em especial à Caroline Christ, Beatriz de Deus, Eduardo Silva, Rúbia Carminatti Peterson, Nathalia Braga, Glêdes Viotti, Fabíola Serpa, Francisco Moratto Leite, Márcio Nascimento e César Casagrande.

Ao CNPQ pela concessão de bolsa de estudos para a realização do trabalho.

Ao querido Nestor Falcão de Souza por me ensinar a montar o projeto de pesquisa para ingresso no curso, quando eu ainda não tinha noção do que era fazer um Mestrado.

A todos os funcionários dos prédios A e B da Engenharia Civil da UFSC por me receberem carinhosamente e prestativamente.

Aos meus amigos e vizinhos mais próximos pelas conversas e festas na Sacada da Alegria quando a situação era de comemoração ou de estresse.

Ao meu companheiro Michel, pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus pais Roberto e Marli, por serem os maiores incentivadores da minha vida profissional e acreditarem sempre na minha capacidade. Sem eles, nada na minha trajetória seria possível.



*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”*

(Martin Luther King)

## RESUMO

A busca por uma tecnologia que contribua para a real introdução do aproveitamento da energia solar no cotidiano das pessoas de modo integrado à edificação, bem como, a otimização de soluções em produtos finais na área da construção civil, impulsionaram as ideias que serão desenvolvidas neste trabalho. A materialização destas aspirações é apresentada por meio de um modelo de aquecedor solar com algumas particularidades que o diferenciam dos existentes no mercado. Estas diferenças estão baseadas na inserção do mesmo nos telhados convencionais que se utilizam de telhas cerâmicas e de fibrocimento e nos princípios de funcionamento que resultam na sua forma final. A ideia de inserção, foco do trabalho, consiste na proposta de módulos projetados para servirem não só como coletores solares, mas também como reservatório da água quente, dispensando o espaço extra no telhado para seu armazenamento, diferenciando-se dos sistemas existentes por integrar os módulos às particularidades das estruturas de madeira, e fazendo o papel de cobertura nestas regiões, não sendo necessário o uso das telhas. A forma que materializa o aquecedor está fundamentada em características dos materiais empregados, constatadas pela ciência em relação ao seu comportamento diante da radiação solar. O principal deles, é o Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC) que funcionará como irradiador de calor para o líquido por atraso térmico, proporcionando que a reserva de água quente fique dentro dos módulos, para que se possa assim, dispensar o reservatório. O resultado apresenta uma nova forma de pensar a configuração das coberturas estudadas de modo otimizado e harmônico. A proposta de projeto do aquecedor integra-se aos telhados estudados, com dois módulos atendendo ao volume de água por pessoa, com instalação e manutenção simples, sem que seu peso acarrete em sobrecarga nas estruturas de madeira e com possibilidade de custo competitivo com os modelos existentes no mercado. A ideia desenvolvida nesta dissertação possui pedido de patente registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

**Palavras-chave:** aquecedor solar, integração arquitetônica, telhado.

## ABSTRACT

The search for a technology which contributes for an actual effort to start using solar energy in people's daily lives, integrated to construction in general, as well as for the optimization of solutions producing materials for construction and engineering, have stimulated the ideas which are going to be presented in this work. Such aspirations resulted in a model of solar heater with a few peculiarities, that make it different from the others available on the market. Those differences can be denoted by its installation on regular roofs, built with ceramic or fiber cement roof tiles, and by the way it works, which establish its main characteristics. This piece of work is focused on the proposal in which the modules are projected to not only be solar beam concentrators but also hot water reservoirs, dismissing the need for extra room for its stocking, different from what is today available, since it integrates the modules to the particularities of the regular wooden structures of roofs, replacing the tiles on the spot where it's installed. The main characteristics of this solar heater is are due to the characteristics of the materials used in its construction, properly tested in relation to the effects caused on them by the solar radiation. The main raw material is Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC), which irradiates the heat to the water by thermal delay, thus the hot water stock will stay inside the modules, in a way its not necessary to keep a tank to stock the hot water. It resulted in a new, harmonic and optimized way to think and conceive heaters and roofs. The project is about the installation of two modules, which is simple as well as its maintenance, supplying the amount of water needed per person, without overloading the structures of the roof, at a competitive price in relation to what is currently available on the market. The patent of this project has been required at the Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

**Keywords:** solar heater, architectural integration, roof.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PARTES DE UM TELHADO. ....	25
FIGURA 2 - APOIO DOS PONTALETES EM BERÇO. ....	26
FIGURA 3 - DETALHE DO BERÇO PARA A DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS. ....	26
FIGURA 4 - DETALHE DO APOIO DOS PONTALETES SOBRE AS PAREDES. ....	27
FIGURA 5 - PONTO DO TELHADO .....	28
FIGURA 6 - INCLINAÇÃO DO TELHADO (A) .....	28
FIGURA 7 - INCLINAÇÃO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO PANO DO TELHADO. ....	29
FIGURA 8 - ACABAMENTO DA CUMEEIRA. ....	32
FIGURA 9 - TRAMA DE UM TELHADO CONVENCIONAL COM TELHAS CERÂMICAS. ....	35
FIGURA 10 - DETALHE DA COLOCAÇÃO DA PRIMEIRA RIPA OU TESTEIRA. ....	36
FIGURA 11 - DETALHE DA GALGA. ....	37
FIGURA 12 - ESQUEMA PARA DETERMINAÇÃO DA GALGA MÉDIA. ....	39
FIGURA 13 - TELHA ONDULADA EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	44
FIGURA 14 - TELHA ONDINA EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	45
FIGURA 15 - TELHA FIBROTEX EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	46
FIGURA 16 - TELHA TIPO KALHETÃO 90 EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	47
FIGURA 17 - TELHA TIPO MAXIPLAC EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	48
FIGURA 18 - TELHA TIPO ONDA 50 EM CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS (MM). ....	49
FIGURA 19 - CUMEEIRA NORMAL E CUMEEIRA TERMINAL. ....	50
FIGURA 20 - CUMEEIRA UNIVERSAL. ....	51
FIGURA 21 - TELHA COM CLARABÓIA. ....	51
FIGURA 22 - RUFO. ....	52
FIGURA 23 - ESQUEMA DE MONTAGEM DAS TELHAS DE FIBROCIMENTO. ....	52
FIGURA 24 - NÚMERO DE APOIOS E VÃO LIVRE MÁXIMO. ....	53
FIGURA 25 - BALANÇOS. ....	54
FIGURA 26 - CUIDADOS NA MONTAGEM. ....	54
FIGURA 27 - FIXAÇÃO EM COBERTURAS. ....	55
FIGURA 28 - RECOBRIMENTOS LATERAL E LONGITUDINAL. ....	56
FIGURA 29 - TRAMA DE UM TELHADO CONVENCIONAL COM TELHAS DE FIBROCIMENTO. ....	57
FIGURA 30 - INCLINAÇÃO DAS CUMEEIRAS. ....	58
FIGURA 31 - APOIO DAS TELHAS. ....	59
FIGURA 32 - DIFERENÇAS DE INCLINAÇÕES ENTRE TELHAS. ....	60
FIGURA 33 - CALHA TIPO COXO. ....	61
FIGURA 34 - CALHA TIPO PLATIBANDA. ....	62
FIGURA 35 - CALHA TIPO MOLDURA. ....	62

FIGURA 36 - EMPREGO DO RUFO E DE RUFO TIPO PINGADEIRA. ....	63
FIGURA 37 - ESPECTRO DE RADIAÇÃO TÉRMICA. ....	69
FIGURA 38 - ESPECTRO DE RADIAÇÃO SOLAR NA SUPERFÍCIE DA TERRA.....	70
FIGURA 39 - CONSUMO DE ELETRICIDADE POR SETOR NO BRASIL.....	77
FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR FINALIDADE NO BRASIL. ....	78
FIGURA 41 - SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE PLACA PLANA COM COBERTURA DE VIDRO. ....	79
FIGURA 42 - ESQUEMA DE COLETOR PLANO. ....	81
FIGURA 43 - ESQUEMA COLETOR PLANO SEM COBERTURA.....	82
FIGURA 44 - ESQUEMA COLETOR A VÁCUO.....	83
FIGURA 45 - ALTURAS DIFERENTES DO SOL AO MEIO DIA DO SOLSTÍCIO DE VERÃO E OTIMIZAÇÃO DOS COLETORES POR ESTAÇÃO. ....	84
FIGURA 46 - LIGAÇÃO DOS COLETORES.....	86
FIGURA 47 - DETALHE DO CORTE EM RESERVATÓRIO TÉRMICO. ....	87
FIGURA 48 - RESERVATÓRIO TÉRMICO.....	88
FIGURA 49 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA. ....	91
FIGURA 50 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE MONTAGEM DO TERMOSSIFÃO (SISTEMA DE CIRCULAÇÃO NATURAL). ....	92
FIGURA 51 - INSTALAÇÃO EM CIRCULAÇÃO FORÇADA. ....	94
FIGURA 52 - MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS DIRETAMENTE SOBRE TELHAS DE VIDRO CURVAS QUE SUBSTITUEM TELHAS CONVENCIONAIS EM UM SISTEMA RESIDENCIAL DESCENTRALIZADO QUE PRODUZ ENERGIA ELÉTRICA JUNTO AO PONTO DE CONSUMO E SEM OCUPAR ÁREA ADICIONAL. ....	102
FIGURA 53 - PAINÉIS SOLARES SEMITRASPARENTES PODEM SER INTEGRADOS A JANELAS EM EDIFICAÇÕES URBANAS, POSSIBILITANDO AO MESMO TEMPO A ENTRADA DE LUZ NATURAL E GERANDO ENERGIA ELÉTRICA PARA O CONSUMO RESIDENCIAL, COMERCIAL OU INDUSTRIAL. ....	103
FIGURA 54 - 01. SOLAR POWER OFFICE COMPLEX / 02. PONTE BLACKFRIARS / 03. SANYO SOLAR ARC / 04. ESTÁDIO DE KAOHSIUNG (TAIWAN).....	104
FIGURA 55 - TUBO DE VÁCUO UTILIZADO COMO GUARDA CORPO EM SACADA. ....	106
FIGURA 56 - TUBO DE VÁCUO UTILIZADO PARA COMPOSIÇÃO EM FACHADA E COMO QUEBRA SOL. ....	106
FIGURA 57 - COLETORES SOLARES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA, INSERIDOS ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	108
FIGURA 58 - COLETORES SOLARES FOTOVOLTAICOS E PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA SERVINDO COMO COBERTURA EM UMA RESIDÊNCIA. ....	108
FIGURA 59 - AQUECEDORES SOLARES SOBRE TELHADOS DE FORMA CONVENCIONAL. ...	109
FIGURA 60 - CAIXA DO PROTÓTIPO JÁ IMPERMEABILIZADA, RECEBENDO PINTURA PRETA NA PARTE INTERNA. ....	111

FIGURA 61 - CAIXA FINALIZADA, COM FECHAMENTO SUPERIOR EM VIDRO FIXO POR SILICONE. ....	112
FIGURA 62 - CAIXA DO PROTÓTIPO SOBRE CAVALETE COM INCLINAÇÃO 27°, EXPOSTO NO ESTACIONAMENTO DO PRÉDIO DA ENGENHARIA CIVIL DA UFSC. ....	113
FIGURA 63 - DETALHE DA CAIXA DO PROTÓTIPO COM ÁGUA E FIO DO MULTÍMETRO NA PARTE INTERNA. ....	114
FIGURA 64 - MULTÍMETRO MARCANDO A TEMPERATURA AS 12:45 DO DIA 24/09/2012. ....	115
FIGURA 65 - IRRADIÂNCIA NOS PLANOS HORIZONTAL E INCLINADO EM 24/09/2012. .	117
FIGURA 66 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO DIA 24/09/2012. ....	118
FIGURA 67 - PLANTA BAIXA DAS ALETAS EM ARGAMASSA. ....	119
FIGURA 68 - ETAPAS DE CONFECÇÃO DAS ALETAS EM ARGAMASSA. ....	120
FIGURA 69 - ESQUADRIA EM ALUMÍNIO E VIDROS DUPLOS PARA FECHAMENTO DA CAIXA. ....	121
FIGURA 70 - CAIXA DO PROTÓTIPO FINALIZADA. ....	121
FIGURA 71 - IRRADIÂNCIA NOS PLANOS NORMAL E INCLINADO DO DIA 21/11/2012. .	123
FIGURA 72 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO DIA 21/11/2012. ....	124
FIGURA 73 - PROTÓTIPO VEDADO COM CHAPAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, APRESENTANDO VAZAMENTOS DE ÁGUA. ....	125
FIGURA 74 - OS SETE PASSOS PARA A REALIZAÇÃO DE UM PROJETO. ....	127
FIGURA 75 - ESBOÇO DA PROPOSTA DO AQUECEDOR SOLAR. ....	133
FIGURA 76 - COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NO MÓDULO. ....	134
FIGURA 77 - POSIÇÃO DO MÓDULO NA ESTRUTURA DE TELHADO COM GALGA MÉDIA DE 33CM (CM). ....	117
FIGURA 78 - CORTE TRANSVERSAL DO MÓDULO NA ESTRUTURA DE TELHADO (CM). ....	119
FIGURA 79 - FIXAÇÃO DOS MÓDULOS NOS CAIBROS DO TELHADO (CM). ....	120
FIGURA 80 - PLANTA BAIXA DO TELHADO COM A CONFIGURAÇÃO FINAL. ....	121
FIGURA 81 - POSIÇÃO DO MÓDULO NO SENTIDO LONGITUDINAL DAS TELHAS (CM). ....	122
FIGURA 82 - POSIÇÃO DO MÓDULO NO SENTIDO TRANSVERSAL DAS TELHAS (CM). ....	124
FIGURA 83 - FIXAÇÃO DOS MÓDULOS NAS TERÇAS (CM). ....	125
FIGURA 84 - PLANTA BAIXA DO TELHADO COM A CONFIGURAÇÃO FINAL (CM). ....	126
FIGURA 85 - POSIÇÃO DOS MÓDULOS NO SENTIDO TRANSVERSAL DAS TELHAS (CM). ...	128
FIGURA 86 - FIXAÇÃO DOS MÓDULOS NAS TERÇAS. ....	129
FIGURA 87 - PLANTA BAIXA DO TELHADO COM A CONFIGURAÇÃO FINAL (CM). ...	130
FIGURA 88 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR. ....	131
FIGURA 89 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR CONECTADO À AQUECEDOR DE ÁGUA À GÁS POR ACUMULAÇÃO. ....	132
FIGURA 90 - DETALHE DO MÓDULO EM CORTE COM OS MATERIAIS EMPREGADOS (CM). ....	133
FIGURA 91 - SUPORTE PARA TELHADOS COM TELHAS CERÂMICAS (CM). ....	134

FIGURA 92 - SUPORTE PARA TELHADOS COM TELHAS DE FIBROCIMENTO (CM).....	135
FIGURA 93 - ESQUADRIA COM GAXETA DE VEDAÇÃO (CM). .....	136
FIGURA 94 - CAIXA PLÁSTICA DE DESCARGA COM CAPACIDADE PARA 6 LITROS.....	137
FIGURA 95 - SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR INTEGRADO AO TELHADO. ....	138
FIGURA 96 - MÓDULO DO AQUECEDOR SOLAR.....	143
FIGURA 97 - PLANTA BAIXA DO TELHADO COM ESQUEMA DE MONTAGEM DO MÓDULO. .....	145
FIGURA 98 - MÓDULO EM CORTE LONGITUDINAL E SUPORTE.....	146
FIGURA 99 - ETAPAS DE MONTAGEM DOS MÓDULOS COM TELHAS DE FIBROCIMENTO..	147
FIGURA 100 - TRECHO DE REFERÊNCIA ONDE OS CAIBROS ESTÃO INSERIDOS. ....	151
FIGURA 101 - CARGA DISTRIBUÍDA APLICADA NO CAIBRO.....	152

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ALGUMAS ESPÉCIES DE MADEIRAS INDICADAS PARA ESTRUTURAS DE TELHADOS. .....	30
TABELA 2 - MODELOS DE TELHAS CERÂMICAS MAIS COMUNS. ....	34
TABELA 3 - VÃO MÁXIMO DAS TERÇAS.....	40
TABELA 4 - VÃO MÁXIMO DAS TERÇAS (M).....	41
TABELA 5 - RELAÇÃO COMPRIMENTO X ESPESURA X LARGURA X PESO DA TELHA TIPO ONDULADA (MM).....	43
TABELA 6 - RELAÇÃO COMPRIMENTO X PESO DA TELHA TIPO ONDINA.....	45
TABELA 7- RELAÇÃO COMPRIMENTO X PESO DA TELHA TIPO FIBROTEX.....	46
TABELA 8 - RELAÇÃO COMPRIMENTO X PESO DA TELHA TIPO KALHETÃO 90. ....	47
TABELA 9 - RELAÇÃO COMPRIMENTO X PESO DA TELHA TIPO MAXIPLAC.....	48
TABELA 10 - RELAÇÃO COMPRIMENTO X PESO DA TELHA TIPO ONDA 50.....	49
TABELA 11 - VALORES DE X (CUMEEIRA NORMAL). ....	58
TABELA 12 - VALORES DE X (CUMEEIRA UNIVERSAL). ....	59
TABELA 13 - CONCEITOS ESTRUTURANTES APRESENTADOS DE MANEIRA HIERARQUIZADA. .....	65
TABELA 14 - CLASSIFICAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO DE AQUECIMENTO SOLAR CONFORME SEU VOLUME.....	90
TABELA 15 - CONSUMO MÉDIO ESTIMADO DE ÁGUA QUENTE. ....	96
TABELA 16 - TEMPERATURAS USUAIS DE ÁGUA QUENTE.....	97
TABELA 17 - CONSUMO DE PONTOS DE UTILIZAÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	98
TABELA 18 - VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DA PRIMEIRA MEDIÇÃO. ....	115
TABELA 19 - VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DA SEGUNDA MEDIÇÃO. ....	122
TABELA 20 - CUSTOS DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO MÓDULO E ACABAMENTOS. ...	139
TABELA 21 - TENSÕES ADMISSÍVEIS EM ALGUMAS MADEIRAS.....	153
TABELA 22 - CUSTOS DE RESERVATÓRIOS E PLACAS EXISTENTES NO MERCADO. ....	155

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 QUESTÃO DA PESQUISA .....	18
<b>1.1.1 Justificativa .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2 Objetivos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3 Questões norteadoras do trabalho .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.4 Limitações da pesquisa .....</b>	<b>21</b>
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	22
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 TELHADO .....	23
<b>2.1.1 Estrutura de telhados em madeira .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.2 Ponto e Inclinação do telhado .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.3 Tipos de madeiras utilizadas nas estruturas de telhado .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.4 Tipos de telhas .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.5 Calhas .....</b>	<b>60</b>
<b>2.1.6 Rufos e Pingadeiras .....</b>	<b>62</b>
2.2 CONCEITOS INSPIRADORES DO PROJETO .....	63
<b>2.2.1 Princípios de sustentabilidade propostos por Azambuja (2013) .....</b>	<b>64</b>
2.3 ENERGIA SOLAR .....	67
<b>2.3.1 Radiação solar .....</b>	<b>68</b>
<b>2.3.2 Exemplos de utilização da energia solar .....</b>	<b>71</b>
2.4 AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR .....	76
<b>2.4.1 Tipos de sistemas de aquecimento solar de água em uso .....</b>	<b>80</b>
<b>2.4.2 Armazenamento .....</b>	<b>86</b>
<b>2.4.3 Funcionamento .....</b>	<b>90</b>
<b>2.4.4 Dimensionamento .....</b>	<b>94</b>
<b>2.4.5 Alguns exemplos de integração arquitetônica de sistemas de captação solar .....</b>	<b>101</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>110</b>
3.1 EXPERIMENTO PARA AVALIAR A VIABILIDADE TÉCNICA .....	110
3.2 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA .....	125
3.3 METODOLOGIA SEGUNDO JACK (2013) .....	126
3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	128
3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE PROJETO .....	129
3.6 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO .....	130

3.7 PROJETO CONCEITUAL DO AQUECEDOR SOLAR .....	132
3.8 PROJETO DO AQUECEDOR SOLAR.....	135
<b>3.8.1 Forma do módulo</b> .....	135
<b>3.8.2 Módulo versus estruturas dos telhados</b> .....	136
3.9 DETALHAMENTO DO PROJETO .....	131
<b>3.9.1 Funcionamento do sistema</b> .....	131
<b>3.9.2 Materiais empregados</b> .....	132
<b>3.9.3 Acessórios</b> .....	133
<b>3.9.4 Sistema de vedação</b> .....	136
<b>3.9.5 Caixa plástica para nivelamento de água</b> .....	137
<b>3.9.6 Previsão de custos do aquecedor</b> .....	139
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>140</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	140
<b>4.1.1 Capacidade, rendimento e dimensões do módulo</b> .....	140
4.2 ADEQUAÇÃO DO AQUECEDOR À MODULAÇÃO DOS TELHADOS ....	143
<b>4.2.1 Telhados com telhas cerâmicas</b> .....	144
<b>4.2.2 Telhados com telhas de fibrocimento</b> .....	145
4.3 PESO DO AQUECEDOR .....	148
4.4 INSTALAÇÃO DO AQUECEDOR .....	153
4.5 COMPARATIVO DA PREVISÃO DE CUSTOS DO AQUECEDOR EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA EXISTENTES .....	154
4.6 MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO AQUECEDOR .....	156
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>158</b>
5.1 CONCLUSÕES GERAIS.....	158
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	159
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>161</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de promover o avanço de tecnologias que gerem energia limpa e renovável é cada vez mais crescente, uma vez que o sistema energético mundial encontra-se baseado em sua grande maioria, nas fontes de geração de energia não renováveis as quais se sabe, acabam por esgotar os recursos naturais e poluir o meio ambiente. Uma das formas de energia renovável e limpa é a solar, que pode gerar eletricidade ou calor, por meio de painéis fotovoltaicos ou térmicos, respectivamente. A energia solar para uso térmico pode ser utilizada para resfriar ambientes ou aquecer água, com a vantagem de ser produzida no mesmo local onde será utilizada. O Brasil possui grande potencial para o aproveitamento da energia solar e de acordo com Pereira *et al.* (2006) por mais diferentes que sejam suas características climáticas, a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo o território, onde o valor máximo de irradiação global 6,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia, ocorre no norte do estado da Bahia, bem perto da divisa com o Piauí e a menor irradiação solar global de 4,25 kWh/m<sup>2</sup>/dia ocorre no litoral norte de Santa Catarina. Sendo assim, os estudos para o aprimoramento e evolução deste tipo de tecnologia, tornam-se pertinentes e cada vez mais necessários em nosso país.

Na construção civil novas tecnologias na área de aproveitamento da energia solar surgem a todo instante, com o objetivo de suprir cada vez mais às demandas energéticas de maneira limpa e eficiente. A inserção destas no contexto doméstico precisa ser sobretudo atrativa do ponto de vista econômico, como também precisa ser interessante funcional e esteticamente para que haja aceitação por parte dos usuários, e desse modo o papel do arquiteto e do engenheiro é muito importante neste processo de busca incessante por estas soluções. Atualmente, identifica-se uma disparidade na evolução da integração arquitetônica entre os sistemas fotovoltaicos e para aquecimento de água. Os primeiros estão bastante evoluídos na questão da integração arquitetônica dando forma a coberturas, desempenhando o papel de aberturas em fachadas, adotando a forma de telhas, entre outros. Por outro lado, os sistemas para aquecimento de água, ficaram estagnados apenas nas pesquisas de cunho tecnológico geralmente visando melhor eficiência, sem haver um real comprometimento com sua forma de inserção na edificação, onde como exemplo, pode-se citar as placas solares dispostas em um telhado apenas com o critério de melhor posicionamento em relação ao norte. Os sistemas atuais em geral,

são inseridos no projeto como algo a parte, ficando evidente a separação daquilo que é arquitetura e do que é tecnologia, o que muitas vezes não produz um bom resultado final arquitetônico. Se o sistema fosse versátil, além de captar a energia solar para o aquecimento de água, poderia servir para outro uso na edificação e assim, desfazer a barreira de separação entre funções existente, a exemplo do que acontece com os painéis fotovoltaicos.

Na atualidade, quando os arquitetos desenham conscientemente um edifício, desde o ponto de vista térmico, há diminuído a qualidade do desenho, admitindo-se soluções que requerem um caro maquinário e altos custos de manutenção, o que é sempre a solução mais fácil (BURBERRY, 1978).

Seria bastante interessante para a construção civil e menos dispendioso para o usuário, se os processos construtivos fossem pensados de maneira a oferecer produtos que contemplassem diversas funções em um só elemento, como por exemplo, um telhado que além de cumprir a sua função natural de cobertura pudesse também cumprir o papel de aquecer a água utilizada na residência em parte de sua área, minimizando a quantidade gasta em materiais, soluções e energia, para desempenhar seu ofício.

## 1.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A ideia de utilizar a energia solar como fonte de energia limpa para aquecimento de água tem ganho cada vez mais atenção e espaço por parte de pesquisadores, indústria e usuários. Muitos modelos foram criados e encontram-se disponíveis no mercado, mas ainda são considerados como algo supérfluo na construção, devido aos altos custos iniciais de instalação. Também não é possível encontrar aquecedores que tenham um conceito de real integração arquitetônica em um sentido tanto estético quanto funcional, que se proponham a não apenas desempenhar a função a que se destinam, mas em se inserir na edificação de maneira mais ampla e completa.

Esta dissertação se propõe a desenvolver um projeto de aquecedor solar de água para uso em edificações com material mais barato que as placas de cobre ou alumínio utilizadas nos sistemas atuais, que atenda, as necessidades de consumo energético de uma residência unifamiliar inserida no contexto urbano, além de se integrar aos diferentes elementos arquitetônicos do telhado, otimizar instalações com o mínimo de manutenção e ser funcionalmente viável

a ponto de permitir sua perpetuação ao longo do tempo. A ideia foi inspirada em três princípios básicos de sustentabilidade, na busca de soluções tecnológicas para a indústria das edificações, definidos por Azambuja (2013), chamados de conceitos estruturantes. Os princípios básicos desses conceitos são: integração, otimização e perpetuação.

Sendo assim, as três questões que impulsionam este trabalho e as quais a pesquisa tentou responder são: Será possível desenvolver um aquecedor solar de água mais barato que os sistemas convencionais utilizando GRFC como principal material, que otimize instalações combinando as funções de aquecimento e reservatório na placa coletora? Será possível integrar o aquecedor aos elementos estruturais e funcionais de um telhado de telhas cerâmicas e de fibrocimento, mesclando seus elementos com os deste? Será possível que o aquecedor possa se perpetuar ao longo dos anos de uso se forem respeitadas orientações de manutenção periódica?

### **1.1.1 Justificativa**

Na área da construção civil, as metas que pesquisadores buscam alcançar incessantemente, para atender as exigências do mercado consistem em oferecer opções mais atraentes, estética e racionalmente, mesmo que em certos casos um pouco menos econômicas, mas que apresentem melhor adequação e maior qualidade de uso ao público alvo a que se destinam.

Entretanto, na área de aquecimento solar de água, observa-se que os estudos sobre o tema encontram-se bastante restritos ao aprimoramento da tecnologia em si, focando geralmente em atingir melhor desempenho ou maior eficiência energética dos aquecedores. É difícil encontrar estudos que abordem uma visão comprometida com uma maneira mais abrangente e diferenciada em se tratando da inserção desses sistemas nas edificações como um todo. Há um condicionamento em relação ao kit - módulos + reservatório + instalações - que faz com que a decisão da utilização do sistema tente se adequar a uma configuração de telhado já existente, ou mesmo se pensada na fase de projeto, trabalha as duas coisas de modo separado. Se esta tecnologia for pensada de maneira criativa, barata e comprometida com estas questões haverá uma grande chance de ser incluída de vez nos projetos de arquitetura e engenharia, não se restringindo apenas a grandes empreendimentos e experimentos que acabam por não sair do papel, ou de protótipos que não são levados à diante por serem economicamente dispendiosos e por

apresentarem soluções prontas que nada agregam a arquitetura e ao usuário.

## **1.1.2 Objetivos**

### **1.1.2.1 Objetivo geral**

Desenhar / Projetar / Criar um modelo de aquecedor solar de água para uso predial viável economicamente, que se integre ao telhado das edificações incorporando as funções de cobertura, aquecimento de água e armazenamento de água com manutenção simples.

### **1.1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar os produtos na área de aquecimento solar disponíveis no mercado;
- Identificar as variáveis que influenciam no dimensionamento do aquecedor e buscar a sua otimização (volume de água, peso, dimensões, espaço ocupado);
- Definir as interfaces entre o aquecedor e o telhado convencional para telhas cerâmicas e de fibrocimento buscando a integração entre ambos;
- Utilizar no projeto materiais não convencionais tornando o sistema mais barato;
- Dispensar o uso de reservatório de água quente, propondo sua integração nas próprias placas coletoras.
- Proporcionar que o sistema seja passível de manutenção.

## **1.1.3 Questões norteadoras do trabalho**

Com a finalidade de atender aos objetivos deste trabalho, as 3 Questões da Pesquisa foram desmembradas em 5 questões norteadoras descritas a seguir:

1. Será possível adequar o aquecedor à modulação de uma estrutura de telhado convencional para telhas cerâmicas e para telhas de fibrocimento?

2. Será necessária à previsão de reforço na estrutura do telhado convencional para suportar o peso do aquecedor?
3. Será de fácil instalação o modelo proposto?
4. Será possível baratear os custos do aquecedor, de acordo com seus materiais e configuração diferenciada em relação aos modelos existentes no mercado?
5. Será possível fazer manutenção e limpeza no aquecedor?

#### **1.1.4 Limitações da pesquisa**

Esta pesquisa apresenta algumas limitações. Embora tenha sido confeccionado um breve experimento prático por meio de um protótipo para constatação de teorias a respeito do comportamento dos materiais em relação à exposição solar e consequente aquecimento da água, seu foco é a proposta de projeto e desenho do aquecedor solar, deixando o aprofundamento dessa atividade para trabalhos futuros sobre o tema. O breve experimento feito para avaliar a viabilidade técnica, contou com algumas dificuldades durante o processo, como falta de habilidade prática para a construção do mesmo, já que os custos eram limitados e inviabilizavam a contratação de mão-de-obra especializada. Desse modo, a confecção de peças de concreto sofreu algumas quebras, assim como, houveram vazamentos na caixa de madeira, acarretando em retrabalho, impedindo a continuidade das medições no protótipo. Entende-se que não haveria viabilidade de trabalhar de forma satisfatória em uma abordagem mais ampla, uma vez que as possibilidades de verificações em laboratório seriam de tal forma vastas que não poderiam ser comportadas pelo tempo disponível. Também é importante esclarecer que a pesquisa utilizou os conceitos de sustentabilidade na construção civil, para proposta de novas metodologias e tecnologias de projeto e produção de edificações, de acordo com Azambuja (2013), apenas como uma tentativa inicial de direcionar o pensamento em relação a este novo paradigma, mas sem intenção de aprofundar-se na questão da sustentabilidade. Finalmente, o projeto do aquecedor foi desenvolvido para telhados que possuam estruturas de madeira para telhas cerâmicas do tipo romana e colonial e de fibrocimento do tipo ondulada, com

comprimento econômico de 183cm, não incluindo qualquer outro tipo de telha ou estrutura que não sejam as mencionadas.

## 1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos principais, descritos resumidamente nos parágrafos seguintes.

No capítulo 1 é apresentada a introdução ao trabalho, as justificativas que levaram ao surgimento do tema, os objetivos gerais e específicos a que este se propõe e as questões norteadoras que impulsionaram a pesquisa, finalizando com a descrição das limitações do presente.

O capítulo 2 foi organizado para se chegar ao objeto principal invertendo o título da dissertação de trás para frente. Lê-se: “Aquecedor solar de água integrado ao telhado”, então a revisão bibliográfica começa apresentando os tipos e particularidades dos telhados, seguido pelos conceitos inspiradores de integração, otimização e perpetuação propostos por Azambuja (2013), passando por definições a respeito da radiação solar e finalizando com as considerações pertinentes sobre aquecedores solares de água. Isto posto, encaminha-se ao desenvolvimento da proposta no capítulo 3.

No capítulo 3 há uma breve descrição quanto à abordagem, natureza, objetivo e procedimento adotados, assim como a metodologia de projeto utilizada, a qual foi definida por Jack (2013). São descritos os materiais e métodos empregados no projeto do aquecedor solar e apresentados por meio de 5 principais tópicos: identificação das necessidades do projeto, especificações do projeto, projeto conceitual do aquecedor solar, projeto do aquecedor solar e detalhamento do projeto.

A construção do capítulo 4 se dá por meio dos resultados e discussões a respeito das ações desenvolvidas durante todo o processo, respondendo as questões norteadoras expostas no capítulo 1.

Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as conclusões sobre a pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

Após o término dos capítulos, pode ser vista a bibliografia consultada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TELHADO

O telhado tem como principal função proteger o espaço interno das edificações das intempéries e ações da natureza, assim como não permitir a entrada de ruídos e poeiras em seu interior. Para Ching (2000), telhado é a cobertura externa de uma edificação, incluindo o madeiramento de sustentação da telhadura.

A origem do nome telhado provém do uso das telhas, embora nem todo o sistema de proteção superior de uma edificação, necessariamente constitua-se em um telhado, uma vez que podem ser lajes, terraços e jardins suspensos. O telhado é composto por duas partes: a cobertura e a armação. A **cobertura** pode ser de materiais diversos, porém impermeáveis às águas da chuva e resistentes à ação do vento e intempéries. Ela pode ser constituída de telhas cerâmicas, telhas de concreto (planas ou de capa e canal) ou de chapas onduladas de fibrocimento, aço zincado, madeira aluminizada, PVC e fiber-glass, ou ainda de outros materiais como ardósia e chapas de cobre, porém, ele afirma que esses materiais foram praticamente banidos da nossa arquitetura. Já a **armação** [ou estrutura] corresponde ao conjunto de elementos estruturais para a sustentação da cobertura, tais como: ripas, caibros, terças, tesouras e contraventamentos. Essas estruturas podem ser de madeira, aço, alumínio ou concreto armado (MOLITERNO, 2006, grifo nosso).

Outros elementos destinados à captação de águas pluviais tais como calhas e condutores também fazem parte da cobertura segundo Salgado (2012). É importante mencionar que a superfície do telhado pode ser constituída por um ou mais planos que são denominados **águas**, (uma água, duas águas, quatro águas ou múltiplas águas) ou por uma ou mais superfícies curvas que podem ser arcos, cúpulas ou arcos múltiplos (MOLITERNO, 2006, grifo nosso).

O presente trabalho busca soluções de integração para estruturas de telhados em madeira, constituídos por telhas cerâmicas e de fibrocimento.

#### 2.1.1 Estrutura de telhados em madeira

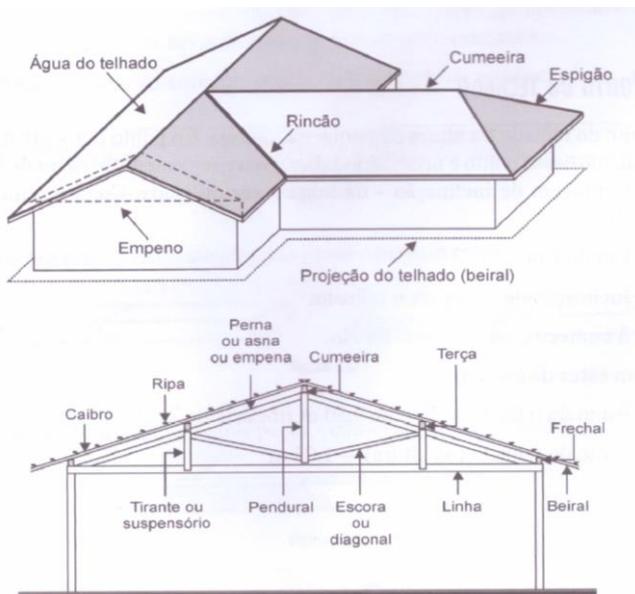
Segundo Salgado (2012, grifo do autor), a estrutura de um telhado é composta por um treliçado destinado a suportar as cargas incidentes sobre este, além dos esforços vindos da ação das intempéries, como variação da temperatura, chuvas, ventos e neve.

Suas partes são denominadas de acordo com as nomenclaturas abaixo:

- **Tesoura:** estrutura autoportante constituída de diversas peças formando uma estrutura treliçada com a finalidade de suportar toda a carga de um telhado.
- **Cumeeira:** linha mais alta de um telhado.
- **Linha:** peça de alinhamento da tesoura que recebe todos os esforços e pela qual é transmitida a estrutura principal da obra.
- **Perna:** suporta as terças e dá inclinação à estrutura conforme o tipo de telha utilizada.
- **Pendural:** elemento vertical de distribuição das cargas de um telhado.
- **Escora [ou asna]:** elemento oblíquo de distribuição das cargas de um telhado.
- **Empena:** o mesmo que perna.
- **Terça:** peça localizada entre o frechal e a cumeeira que tem a finalidade de travar as tesouras e suportar a estrutura de caibros.
- **Água:** plano inclinado que define o caimento de um telhado.
- **Rincão:** linha de encontro entre duas águas de um telhado.
- **Empeno:** parte da alvenaria de elevação que acompanha o caimento de um telhado.
- **Beiral:** parte da estrutura do telhado que se projeta além da alvenaria externa.
- **Tirante:** peça em diagonal destinada ao travamento, absorvendo os esforços de tração da tesoura.
- **Frechal:** nome dado à primeira terça da tesoura.
- **Caibro:** peças de apoio para as ripas, pregadas sobre as terças.
- **Ripa:** peças de apoio das telhas, pregadas sobre os caibros.

A Figura 1 ilustra as partes do telhado.

Figura 1 - Partes de um telhado.

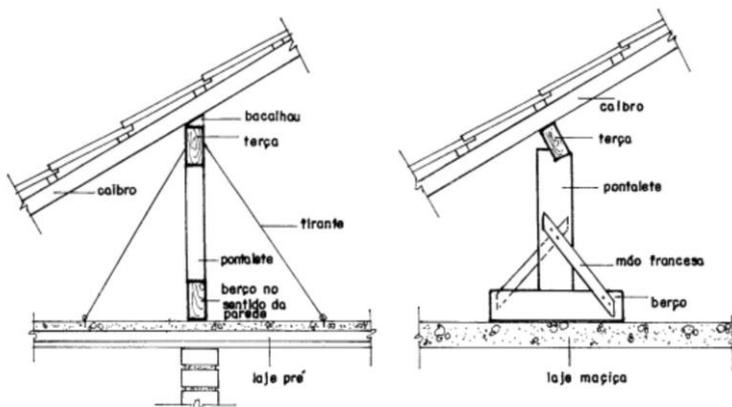


Fonte: Salgado, 2012.

Outra composição de estrutura de telhado também pode ser utilizada sem tesouras, onde as terças ficam apoiadas sobre estruturas de concreto ou em pontaletes.

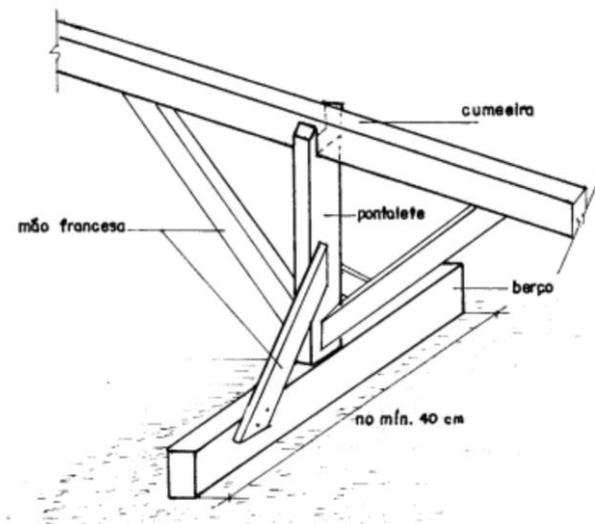
De acordo com Ribeiro (2009), o custo da estrutura pode ser diminuído se nas construções residenciais, as paredes internas e as lajes oferecerem apoios intermediários. O pontalete trabalha à compressão e é fixado em um berço de madeira apoiado na laje. Sendo assim, a laje recebe uma carga distribuída, como mostram as Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Apoio dos pontaletes em berço.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

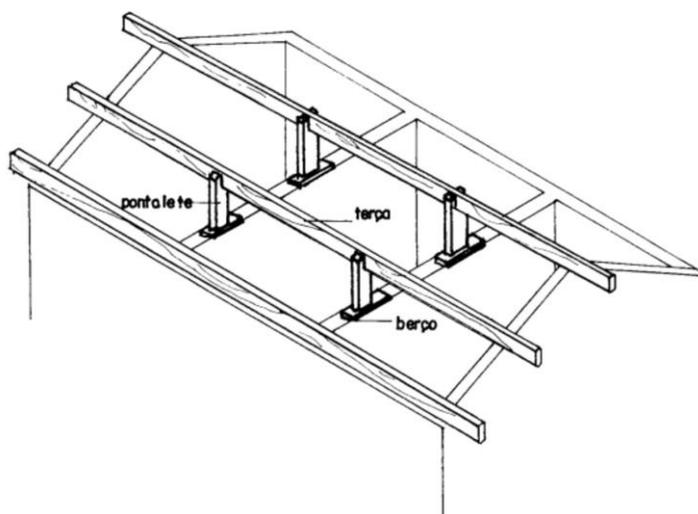
Figura 3 - Detalhe do berço para a distribuição das cargas.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

Nas lajes maciças, segundo o autor, pode-se apoiar em qualquer ponto, já que tudo foi previamente calculado. Entretanto nas lajes pré-fabricadas não deve-se apoiar sobre as mesmas e sim na direção das paredes, como mostra a Figura 4. Havendo necessidade de se colocar um pontalete fora das paredes, é necessário que se faça uma viga de concreto invertida para vãos grandes ou vigas de madeira nos vãos pequenos.

Figura 4 - Detalhe do apoio dos pontaletes sobre as paredes.

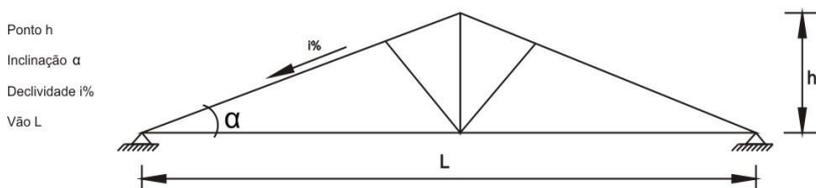


Fonte: RIBEIRO, 2009.

### 2.1.2 Ponto e Inclinação do telhado

O ponto do telhado é a parte mais alta deste, também conhecido como cumeeira. Segundo Moliterno (2006), pode ser descrito como a relação entre sua altura e a largura ou vão. A Figura 5, mostra:

Figura 5 - Ponto do telhado



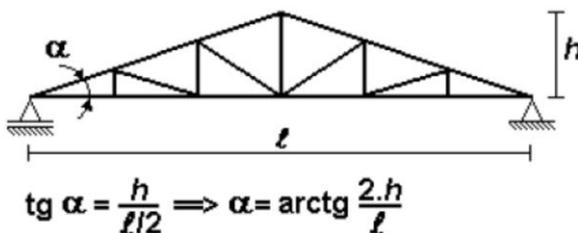
Fonte: Adaptado de MOLITERNO, 2009.

O cálculo do ponto do telhado pode ser exemplificado da seguinte forma:

Vão = 10 m  
I do telhado = 30%  
Cumeeira ao centro do vão  
Dessa forma tem-se:  
Ponto do telhado = 30% de 5m (metade de 10m)  
Ponto do telhado = 1,5m

O ângulo entre os banzos superior e inferior da tesoura é conhecido como inclinação do telhado.

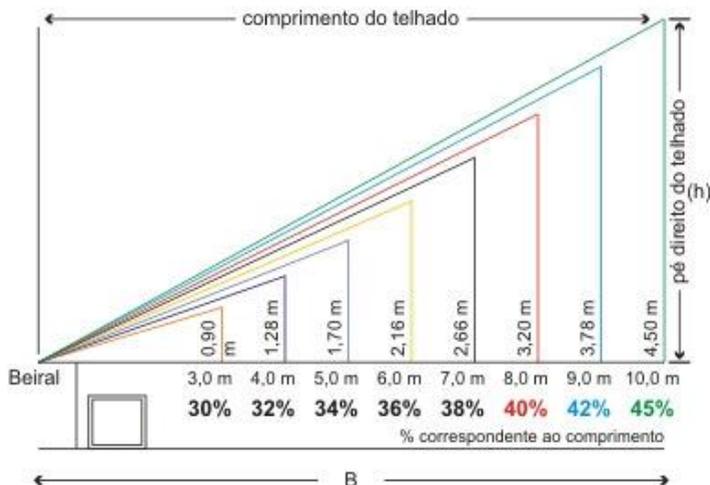
Porém, é importante lembrar que a inclinação expressa em porcentagem e inclinação expressa em “graus” não significa a mesma coisa. Enquanto a inclinação em porcentagem tem como referência o comprimento do vão a ser vencido, a inclinação em graus não depende do vão (SALGADO, 2009).

Figura 6 - Inclinação do telhado ( $\alpha$ )

Fonte: LOGSDON, 2002

A inclinação do telhado define qual modelo de telha deve ser utilizada e o estilo da edificação. Ao escolher-se a telha, deve-se atentar para a inclinação mínima recomendada pelo fabricante para evitar o retorno da água, e também observar a inclinação máxima, a fim de evitar que as telhas escorreguem do madeiramento. Com intuito de garantir o escoamento de água, a inclinação deve variar de acordo com o comprimento do pano do telhado conforme as recomendações da Figura 7.

Figura 7 - Inclinação em função do comprimento do pano do telhado.



Fonte: [www.toptelha.com.br](http://www.toptelha.com.br)

### 2.1.3 Tipos de madeiras utilizadas nas estruturas de telhado

Ribeiro (2009), afirma que é possível utilizar todas as madeiras de lei para estruturar telhados e apresenta uma tabela onde estão indicadas algumas espécies que foram divididas em grupos conforme suas características mecânicas, sendo a peroba a mais utilizada. Madeiras que não constem na Tabela 1 necessitam ser investigadas em relação as suas resistências à compressão ( $f_c$ ) (a 15% de umidade), que devem ser iguais ou superiores a 55,5 Mpa e em relação aos seus módulos de ruptura à tração, que devem ser iguais ou superiores a 13,5 Mpa.

Tabela 1 - Algumas espécies de madeiras indicadas para estruturas de telhados.

A	B	C
amendoim canafístula guarucaia jequitibá branco laranjeira peroba rosa	angelim cabriúva parda cabriúva vermelha caovi coração de negro cupiuba faveiro garapa guapeva louro pardo Mandigau pau cepilho pau marfim sucupira amarela	anjico preto guaratã taiuva

Extraído de IPT *apud* RIBEIRO, 2009.

Para Roman (2013), os tipos de madeiras podem ser empregados de três formas:

- Na forma natural: Onde as mais empregadas são a peroba e o eucalipto e vencem até 10 m de vão;
- Laminada e colada: 1,5 cm a 4,5 cm de espessura, coladas de modo a formar perfis em que as fibras sejam paralelas, onde são utilizadas colas sintéticas (ambiente úmido) e caseína (ambiente seco). Podem vencer até 3 m de vão;
- Madeira compensada: colagem de três ou mais lâminas (número ímpar), fibras perpendiculares, espessura da lâmina de 1 a 5 mm.

De acordo com Castor (2013) as bitolas comerciais das peças principais de telhado são:

- Terças:  
6 cm x 12 cm - se o vão entre tesouras não for superior a 2,50 m.

6 x 16 cm - nos casos em que for maior que 2,50 m e menor que 4m.

Sendo assim, não deve-se espaçar as terças mais que quatro metros sob pena de sair da bitola comercial de 6 cm x 16 cm. São elas que definem a inclinação do telhado.

- Caibros:  
5cm x 6cm - até 2,00m.  
5 cm x 7 cm - de 2,00 m à 2,50 m.

São assentados sobre as terças, perpendicularmente a elas. Seu espaçamento depende da distância entre as terças para melhor especificação de suas bitolas. A distância entre os caibros pode variar de 50 a 60 cm de eixo.

- Ripas:  
1 cm x 5 cm.

As ripas são pregadas transversalmente aos caibros, sendo a última parte da trama e seu espaçamento depende da telha utilizada.

#### **2.1.4 Tipos de telhas**

Segundo Logsdon (2002), existem no mercado variados tipos de telhas tais como, telhas de aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento (cimento reforçado com fios sintéticos – CRFS) e outras, sendo as duas últimas as mais utilizadas no Brasil. As telhas de aço corrugado, ou as de alumínio, são de aplicação quase que restrita às indústrias. As telhas de zinco são pouco utilizadas atualmente e podem ser encontradas em obras rústicas, depósitos e abrigos para animais. As telhas de madeira utilizadas em países europeus são recobertas com um material betuminoso e se parecem com escamas. No Brasil, as telhas de madeira são como chapa de madeira compensada, mas onduladas e, em geral, recobertas por fina camada de material metálico.

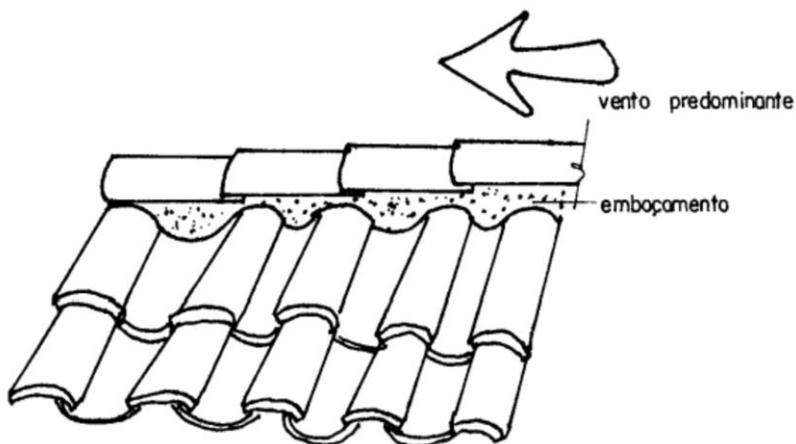
Esta revisão bibliográfica abordará apenas os tipos de telha cerâmica e de fibrocimento, as quais foram utilizadas nas propostas de integração arquitetônica deste trabalho.

##### **2.1.4.1 Telhas Cerâmicas**

Ribeiro (2009), explica que as telhas cerâmicas têm início com a preparação da argila, e consiste na mistura de várias argilas. Após, a argila já misturada passa por uma moagem e por uma refinação chegando até a máquina extrusora, transformando o pó de argila em uma massa homogênea e sem impurezas que passará pelas prensas de moldagem, indo diretamente para a secagem.

Assim, é feita a primeira seleção e a primeira queima em forno a uma temperatura de 900°C. Segundo o autor e a ABNT (2009) as telhas devem apresentar som metálico, assemelhando ao de um sino quando suspensas por uma extremidade e percutidas. Não devem apresentar deformações, defeitos ou manchas. As telhas são assentadas com o máximo cuidado e alinhadas perfeitamente. As peças de cumeeiras e espigões são assentadas com argamassa de cimento, cal e areia e também as telhas dos beirais e oitões quando forem do tipo canal. Esse processo se chama de emboçamento das telhas, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Acabamento da cumeeira.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

As telhas cerâmicas são classificadas em 4 tipos: **telhas planas de encaixe**, **telhas compostas de encaixe**, **telhas simples de sobreposição** e **telhas planas de sobreposição**, conforme o número de peças que compõem a telha e a forma de seus encaixes (NBR 15310, 2004, grifo nosso).

De acordo com Hagemann (2011) as definições dos tipos de telhas são:

- Telhas planas de encaixe – são as que se encaixam por meio de sulcos e saliências, apresentando pinos, ou pinos e furos de amarração, para fixação na estrutura de apoio. Exemplo: telha francesa.

- Telhas compostas de encaixe – são telhas cerâmicas planas que possuem geometria formada por capa e canal no mesmo componente, para permitir o encaixe das mesmas entre si, possuem pinos e furos de amarração para fixação na estrutura de apoio. Exemplo: telha romana.
- Telhas simples de sobreposição – são aquelas formadas pelos componentes capa e canal independentes. O canal apresenta pinos, furo ou pinos e furos de amarração para fixação na estrutura de apoio; a capa não apresenta furos ou pinos. Exemplo: telha colonial e telha paulista.
- Telhas planas de sobreposição – são telhas cerâmicas que apenas se sobrepõem, podem ter pinos para o encaixe na estrutura de apoio ou pinos e furos de amarração para fixação. Exemplo: telha germânica.

Ainda de acordo com Calil Júnior (1995 *apud* Logsdon, 2012), fazem parte das telhas compostas de encaixe, a telha portuguesa e telha de cumeeira e espigão. As telhas plan, fazem parte do tipo de telhas simples de sobreposição.

#### 2.1.4.1.1 Modelos de telhas cerâmicas

A Tabela 2 mostra os modelos das classes de telhas citadas pela NBR 15310 (2009), com dados de inclinação mínima, peso, rendimento, tamanho médio e galga média de cada uma. Os valores podem variar de acordo com o fabricante, sendo tolerável pela norma mais ou menos 2% nas dimensões da largura de fabricação, comprimento de fabricação e posição do pino ou furo de amarração.

As telhas planas são utilizadas em países onde o inverno é rigoroso e devido à ocorrência de neve, os telhados necessitam ser bastante inclinados para que ela possa escorrer. São utilizadas no Brasil apenas para compor coberturas coloniais alemãs, suíças, entre outras, as quais tem o estilo conhecido como enxaimel (REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO (2003) *apud* HAGEMANN (2011).

Tabela 2 - Modelos de telhas cerâmicas mais comuns.

	NOME	INCLINAÇÃO MÍNIMA	PESO	CONSUMO	TAMANHO MÉDIO	GALGA MÉDIA
TELHAS PLANAS DE ENCAIXE						
	Francesa	40%	aprox. 2,6 Kg/peça	15 a 17 Un/m <sup>2</sup>	L 24 cm C 40 cm	33 cm
TELHAS COMPOSTAS DE ENCAIXE						
	Romana	30%	aprox. 2,6 Kg/peça	15 a 17 Un/m <sup>2</sup>	L 24 cm C 40 cm	33 cm
	Portuguesa	30%	aprox. 2,6 Kg/peça	15 a 17 Un/m <sup>2</sup>	L 24 cm C 40 cm	33 cm
	Cumeeira e espigão	-----	aprox. 2,5 Kg/peça	3 Un/m	-----	-----
TELHAS SIMPLES DE SOBREPOSIÇÃO (CAPA E CANAL)						
	Colonial (capa e canal)	25%	aprox. 2,0 Kg/peça	19 a 26 Un/m <sup>2</sup>	L 18 cm C 46 cm	39 cm
	Plan (capa e canal)	25%	aprox. 2,0 Kg/peça	19 a 26 Un/m <sup>2</sup>	L 16 cm C 46 cm	39 cm
	Paulista (capa e canal)	25%	aprox. 2,0 Kg/peça	19 a 26 Un/m <sup>2</sup>	L 16 cm C 46 cm	39 cm
TELHAS PLANAS DE SOBREPOSIÇÃO						
	Germânica	45%	aprox. 1,5 Kg/peça	30 Un/m <sup>2</sup>	L 20cm C 36 cm	15 cm

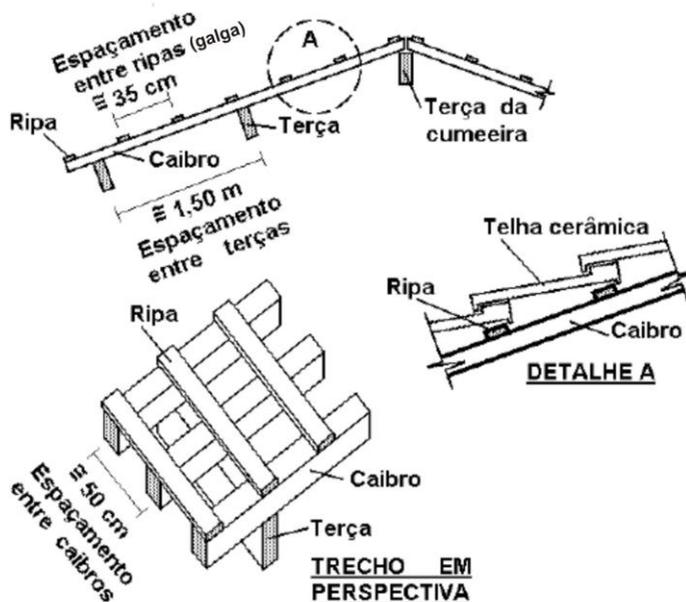
Extraído e adaptado de SALGADO (2009), RIBEIRO (2009), HAGEMANN (2011) e ABNT (2009).

#### 2.1.4.1.2 Trama de um telhado para telhas cerâmicas

A trama ou armação para telhados com telhas cerâmicas segundo Logsdon (2012) é formada pelas peças que recebem as telhas. Estas peças são chamadas de ripas, caibros e terças. As telhas se apoiam nas ripas, que se apoiam nos caibros, os quais se

apoiam nas terças, que se apoiam sobre as tesouras, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Trama de um telhado convencional com telhas cerâmicas.



Fonte: LOGSDON, 2012.

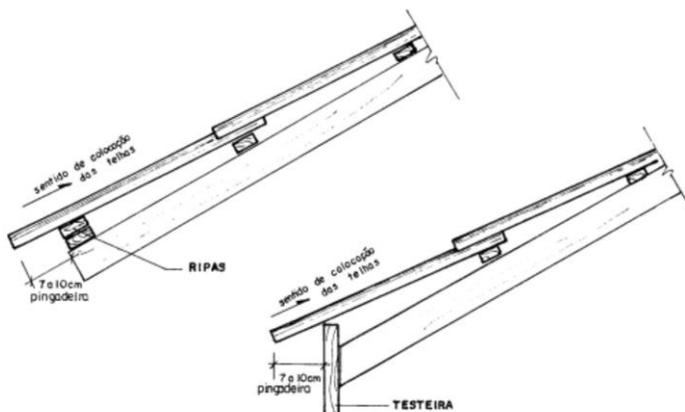
As particularidades de cada uma destas peças são descritas a seguir.

- Ripas

De acordo com Logsdon (2002) as ripas são as peças que recebem as telhas e geralmente tem seção de  $1,5 \times 5,0$  cm ou de  $1,0 \times 5,0$  cm. A seção de  $1,5 \times 5,0$  cm das ripas, geralmente suporta bem as cargas usuais de um telhado, mas não o peso de um homem. Desse modo, alguns profissionais têm dado maior atenção ao lado social e utilizado sarrafos de  $2,5$  cm  $\times$   $6,0$  cm, na tentativa de evitar acidentes.

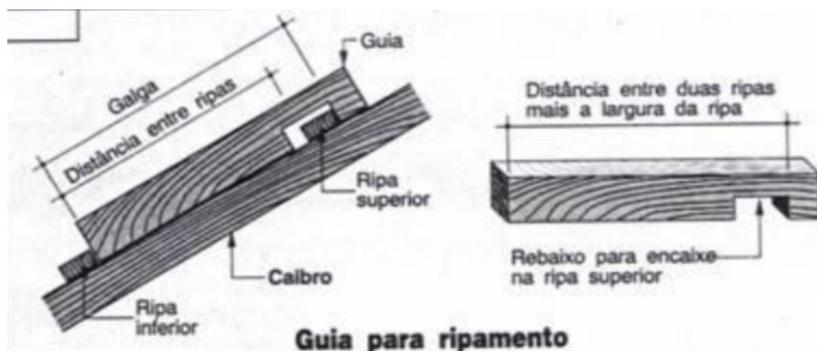
O espaçamento entre as ripas é chamado de galga e depende do tipo e do tamanho da telha a ser utilizada. Segundo Salgado (2009) geralmente é feita um gabarito com um pedaço de ripa, com encaixes apropriados e distanciados conforme a distância entre as linhas dos pinos das telhas a serem utilizadas. Este gabarito é feito para garantir que o espaçamento entre as ripas seja constante em todo o telhado. As telhas são colocadas do beiral para a cumeeira, iniciando-se com duas ripas ou sobre testeira, conforme mostram as Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Detalhe da colocação da primeira ripa ou testeira.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

Figura 11 - Detalhe da galga.



Fonte: ROMAN, 2013.

Porém apenas para calcular a quantidade do madeiramento é usual considerar o espaçamento entre ripas de 35 cm.

A galga a ser utilizada em um telhado é a galga média do modelo específico de telha a ser empregado. A NBR 15310 (2009) estabelece o cálculo para a galga média medindo as peças que serão usadas na cobertura considerando 6 telhas conforme a Figura 12 e procedendo da seguinte forma:

1. Colocar as 6 telhas encaixadas uma sobre a outra, sem deixar folga, mantendo-as encostadas. Medir a distância do pino da telha 1 ao pino da telha 6, conforme a medida  $Ct$  min. do esquema da Figura 16.
2. Colocar 6 telhas encaixadas uma sobre a outra, deixando uma folga de aproximadamente 10mm. Medir a distância do pino da telha 1 ao pino da telha 6, conforme a medida  $Ct$  máx. do esquema da Figura 16.
3. Calcular as galgas segundo as Expressões (1), (2) e (3):

a) Galga mínima ( $G$  min):  
 $G \text{ min} = Ct \text{ min} / 5;$

(1)

b) Galga máxima ( $G$  máx.):  
 $G \text{ máx.} = Ct \text{ máx.} / 5;$

(2)

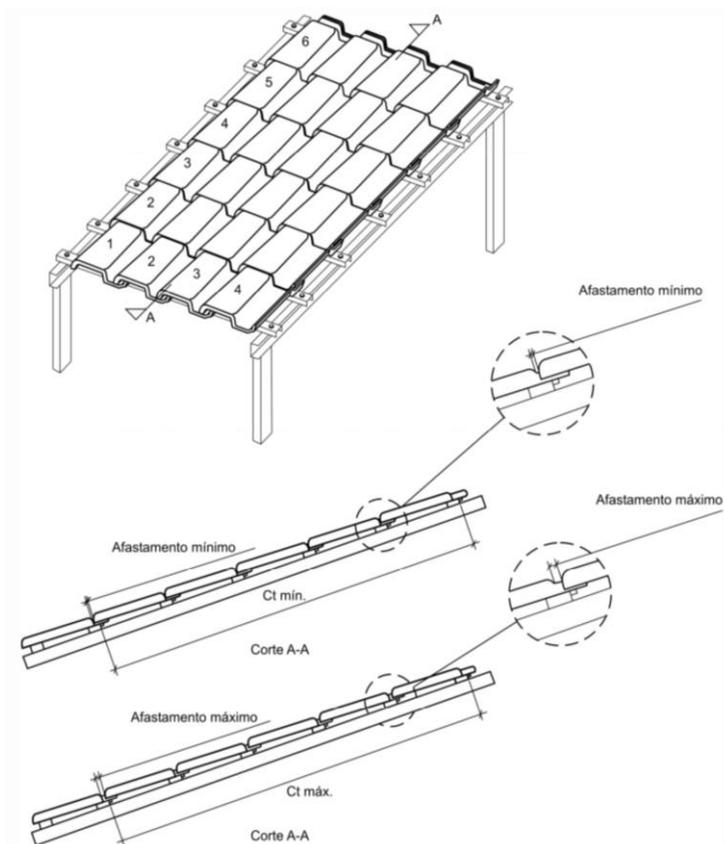
c) Galga média (Gm):

$$Gm = (G \text{ min.} + G \text{ máx.}) / 2$$

(3)

4. O resultado é a galga média que é a galga ideal para a telha utilizada.

Figura 12 - Esquema para determinação da galga média.



Fonte: NBR 15310, 2009.

- **Caibros**

Os caibros segundo Ribeiro (2009) são colocados em direção perpendicular às terças e paralelos às tesouras. Como eles são inclinados, seu declive determina o caimento do telhado.

A bitola do caibro, ainda segundo o mesmo autor, varia com o espaçamento das terças, com o tipo de madeira e da telha. Pode-se adotar as seguintes bitolas na prática e utilizar as madeiras da tabela da Tabela 1:

- terças espaçadas até 2,00m usa-se caibros de 5 x 6.
- quando o espaçamento entre as terças exceder 2,00m e não ultrapassar 2,50 m usa-se caibros de 5x7 (6x8).

A distância máxima entre caibros é de 0,50m (eixo a eixo) quando forem utilizadas ripas comuns de peroba 1x5 (vãos para as madeiras secas). Em caso de dúvidas, deve-se diminuir o vão ou efetuar os cálculos utilizando a Tabela 3.

Tabela 3 - Vão máximo das terças.

Tipo de madeira	Francesa, Romana, Portuguesa ou plan		Colonial ou Paulista	
	A	1,40	1,90	1,40
B	1,60	2,20	1,60	2,00
C	2,00	2,50	2,00	2,20
Seção transversal (cm)	5x6	5x7	5x6	5x7

Extraída de RIBEIRO, 2009.

- Terças

Para Ribeiro (2009) as terças apoiam-se sobre as tesouras consecutivas ou pontaletes e suas bitolas dependem do espaço entre elas (vão livre entre tesouras), do tipo de madeira e da telha empregada. Adota-se as seguintes bitolas (madeiras secas) na prática e utilizando as madeiras da Tabela 1:

- bitolas de 6 x 12 se o vão entre tesouras não exceder a 2,50m.

- bitolas de 6 x 16 para vãos entre 2,50 a 3,50m.

Em caso de dúvidas, deve-se diminuir ou efetuar os cálculos utilizando a Tabela 4, que é mais precisa e que leva em consideração o tipo de madeira e de telha. Para vãos maiores que 3,50m deve-se utilizar bitolas especiais o que não se aconselha, devido ao custo.

As terças recebem o nome de cumeeiras quando são colocadas na parte mais alta do telhado (cume), e de frechal na parte baixa (ver Figura 1).

Tabela 4 - Vão máximo das terças (m).

Vão dos caibros (m)	Francesa, Romana, Portuguesa ou plan						Colonial ou paulista					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1,00 a 1,20	2,70	2,85	3,10	3,30	3,50	3,85	2,50	2,65	2,90	3,20	3,40	3,75
1,21 a 1,40	2,55	2,70	2,95	3,15	3,30	3,60	2,40	2,50	2,75	3,05	3,20	3,50
1,41 a 1,60	2,40	2,60	2,80	3,00	3,15	3,45	2,30	2,40	2,60	2,90	3,10	3,35
1,61 a 1,80	2,30	2,45	2,70	2,85	3,05	3,30	2,20	2,30	2,50	2,80	2,45	3,20
1,81 a 2,00	2,25	2,40	2,60	2,75	2,90	3,20		2,20	2,40		2,85	3,10
2,01 a 2,20		2,30	2,50		2,80	3,10			2,35			3,00
2,21 a 2,40			2,45			3,00						
2,41 a 2,60			2,35			2,90						
Seção transversal (cm)	6 x 12			6 x 16			6 x 12			6 x 16		

Extraída de RIBEIRO, 2009.

Para Logsdon (2002) o espaçamento entre as terças depende basicamente do tipo de telha utilizada e da resistência dos caibros, sendo em torno de 1,50m nas tramas dos telhados para telhas cerâmicas e varia com o tamanho da telha nas tramas de telhados para telhas de fibrocimento. As terças ainda tem a função de travamento, reduzindo o comprimento de flambagem do banzo superior da estrutura principal do telhado (tesoura), onde esta ligação necessita ser bastante resistente.

#### 2.1.4.2 Telhas de Fibrocimento

As telhas de fibrocimento são conhecidas como autoportantes porque tem dimensões bem maiores do que as das telhas cerâmicas, de maneira que alguns modelos podem ser apoiados diretamente sobre as paredes dispensando o madeiramento do telhado. Mesmo nos modelos onde não há possibilidade de dispensar o madeiramento, há uma significativa redução se comparado com as telhas cerâmicas, uma vez que não são necessários caibros e ripas. Essas telhas podem ser utilizadas para cobrir tanto edificações residenciais como comerciais.

Salgado (2009) afirma que as telhas de fibrocimento podem suprir grandes vãos, proporcionando facilidade e rapidez na execução de coberturas em obras de qualquer porte, podendo ainda ser

utilizadas para fechamento de vãos, sendo necessário observar alguns cuidados:

- Telhas de pouca espessura são frágeis em relação a ventos fortes, principalmente quando utilizadas em galpões e, portanto seu sistema de fixação deve ser reforçado;
- As telhas de fibrocimento são fixadas por ganchos ou parafusos, o que pode ocasionar vazamentos nos furos executados para a colocação da fixação, sendo recomendado calafetá-los;
- A fixação pode ficar comprometida devido a movimentação da estrutura e a ação dos ventos, sendo aconselhável uma inspeção periódica.

Para Barbosa (2010) as telhas de fibrocimento ainda possuem outras particularidades:

- São leves – Economia nas seções estruturais;
- Possuem tamanhos grandes e variáveis– vence grandes vãos livres;
- Maior economia na estrutura/madeiramento;
- O preço da telha/m<sup>2</sup> é superior aos das telhas cerâmicas/concreto somente quando os vãos são grandes (acima de 8 m) onde a economia do madeiramento suplanta o maior custo das telhas;
- Exige pequenas inclinações – Maior utilização de platibandas.
- Exige maior cuidado com a transmissão térmica/ganho térmico;
- Fixação com ferragens especiais – grampos, parafusos com arruelas, peças especiais, o que pode gerar aumento do custo.

#### 2.1.4.2.1 Modelos de telhas de fibrocimento

A seguir, alguns modelos de telhas de fibrocimento mais comuns encontrados no mercado e suas principais características de acordo com a NBR 15210 (2013) e mostrados nas Tabelas de 5 a 10 e Figuras de 13 a 18.

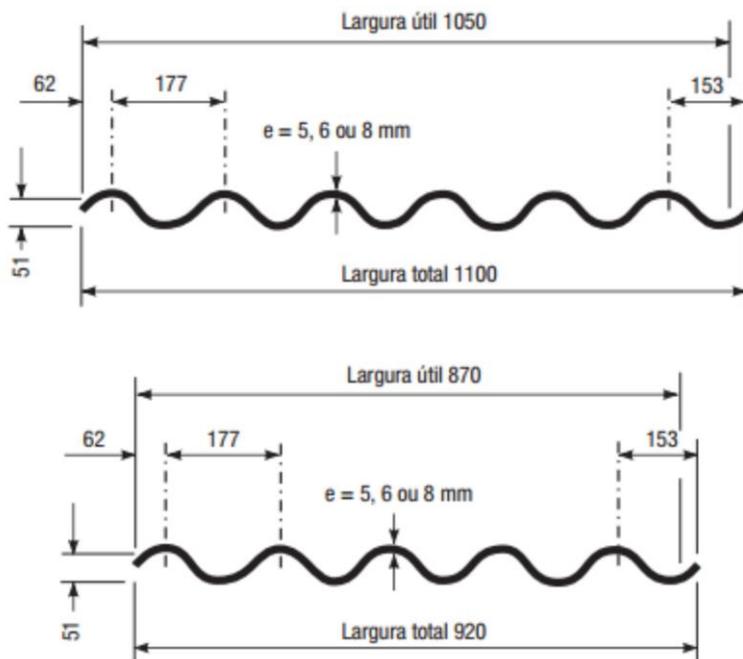
- Ondulada

Tabela 5 - Relação comprimento x espessura x largura x peso da telha tipo Ondulada (mm).

Comprimento (m)	Espessura / Largura					
	5 mm		6 mm		8 mm	
	Peso (kg)		Peso (kg)		Peso (kg)	
	0,92	1,10	0,92	1,10	0,92	1,10
1,22	11,5	13,5	13,8	16,3	18,4	21,7
1,53	14,4	17,0	17,3	20,4	23,0	27,2
1,83	17,2	20,3	20,6	24,4	27,5	32,5
2,13	20,0	23,6	24,0	28,4	32,0	37,9
2,44	22,9	27,1	27,5	32,5	36,7	43,4
3,05	–	–	34,4	40,7	–	54,0
3,66	–	–	–	48,8	–	65,0

Extraída de BRASILIT, 2013.

Figura 13 - Telha Ondulada em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**

5mm = 10° (17,6%)  
6mm e 8mm = 5° (9%)

**Vão Livre Máximo:**

5mm = 1690mm  
6mm = 1690mm  
8mm = 1990mm

**Largura:**

Largura total = 1,10m e 0,92m  
Largura útil = 1,05m e 0,87m  
(respectivamente)

**Balço:**

Com calha = Máx. 25cm / Mín. 10cm  
Sem calha = Máx. 40cm / Mín. 25cm

**Espessura:**

5mm, 6mm, 8mm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

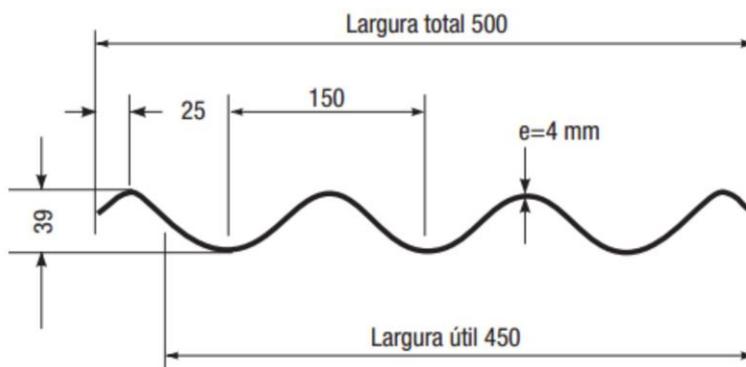
- Ondina

Tabela 6 - Relação comprimento x peso da telha tipo Ondina.

<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
1,22	4,50
2,13	7,80
2,44	9,00

Extraída de BRASILIT, 2013.

Figura 14 - Telha Ondina em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**

5mm = acima d 15°(27%)

**Largura:**

Largura total = 500mm

Largura útil = 450mm

**Espessura:**

4mm

**Vão Livre Máximo:**

1220mm = 1080mm

2130mm = 995mm

2440mm = 1150mm

**Balanço:**

Com calha

Máx. 15cm / Mín. 10cm

Sem calha

Máx. 20cm / Min. 10cm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

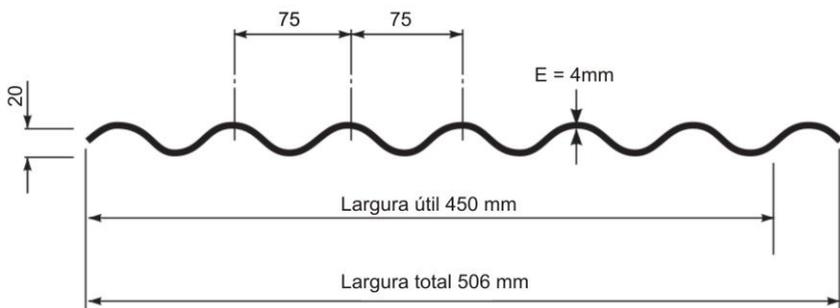
- Fibrotex

Tabela 7- Relação comprimento x peso da telha tipo Fibrotex.

<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
1,22	4,50
2,13	7,80
2,44	9,00

Extraída de BRASILIT, 2013

Figura 15 - Telha Fibrotex em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**  
4mm = acima de 15 ° (27%)

**Largura:**  
Largura total = 506mm  
Largura útil = 450mm

**Espessura:**  
4mm

**Vão Livre Máximo:**  
1220mm = 1080mm  
2130mm = 995mm  
2440mm = 1150mm

**Balanço:**  
Com calha = Máx. 14cm / Min. 10cm  
Sem calha = Máx. 14cm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

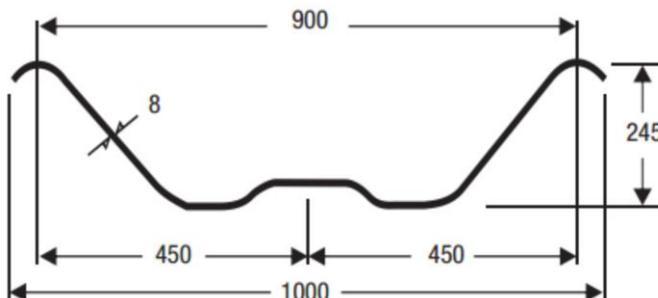
- Kalhetão 90

Tabela 8 - Relação comprimento x peso da telha tipo Kalhetão 90.

Comprimento (m)	Peso (kg)
3,00	55,0
3,70	67,0
4,60	83,0
6,00	109,0
6,70	122,0
7,40	134,0
8,20	149,0
9,20	167,0

Extraído de BRASILIT, 2013.

Figura 16 - Telha tipo Kalhetão 90 em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**  
8mm = 5° (9%)

**Vão Livre Máximo:**  
8mm = 6500mm

**Largura:**  
Largura total = 1000mm  
Largura útil = 900mm

**Balanço:**  
Com calha = Máx. 200cm / Min. 25cm  
Sem calha = Máx. 200cm / Min. 25cm

**Espessura:**  
8mm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

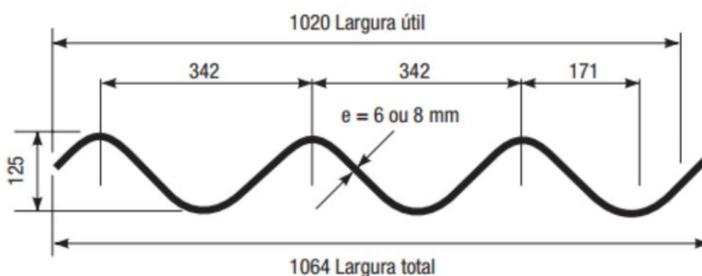
- Maxioplac

Tabela 9 - Relação comprimento x peso da telha tipo Maxioplac.

Comprimento (m)	Peso (kg)	
	e = 6 mm	e = 8 mm
3,00	41,0	55,0
3,30	45,0	60,0
3,70	51,0	67,0
4,10	56,0	75,0
4,60	63,0	84,0

Extraído de BRASILIT, 2013.

Figura 17 - Telha tipo Maxioplac em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**

6mm = 5°(9%), 10°(18%), 15°(27%)  
8mm = 5°(9%), 10°(18%), 15°(27%)

**Vão Livre Máximo:**

6mm = 3960mm  
8mm = 4460mm

**Largura:**

Largura total = 1064mm  
Largura útil = 1020mm

**Balanço:**

Com calha = Máx. 200cm / Min. 25cm  
Sem calha = Máx. 200cm / Min. 25cm

**Espessura:**

6mm  
8mm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

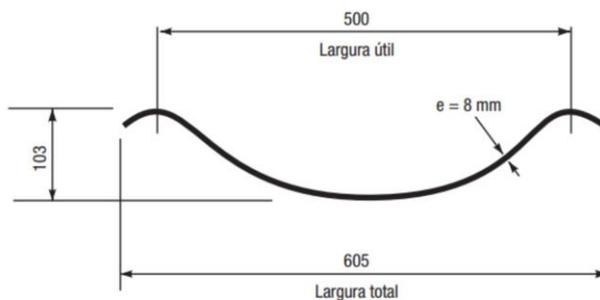
- Onda 50

Tabela 10 - Relação comprimento x peso da telha tipo Onda 50.

<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
1,85	18,0
2,30	22,4
3,20	31,1
3,70	36,0
4,10	39,9
4,60	44,8

Extraído de BRASILIT, 2013.

Figura 18 - Telha tipo Onda 50 em corte e suas características (mm).



**Inclinação:**  
8mm = 5°(9%)

**Vão Livre Máximo:**  
8mm = 3000mm

**Largura:**  
Largura total = 605mm  
Largura útil = 500mm

**Balanço:**  
Sem calha  
Máx. 100cm / Min. 10cm

**Espessura:**  
8mm

Fonte: Adaptado de BRASILIT, 2013.

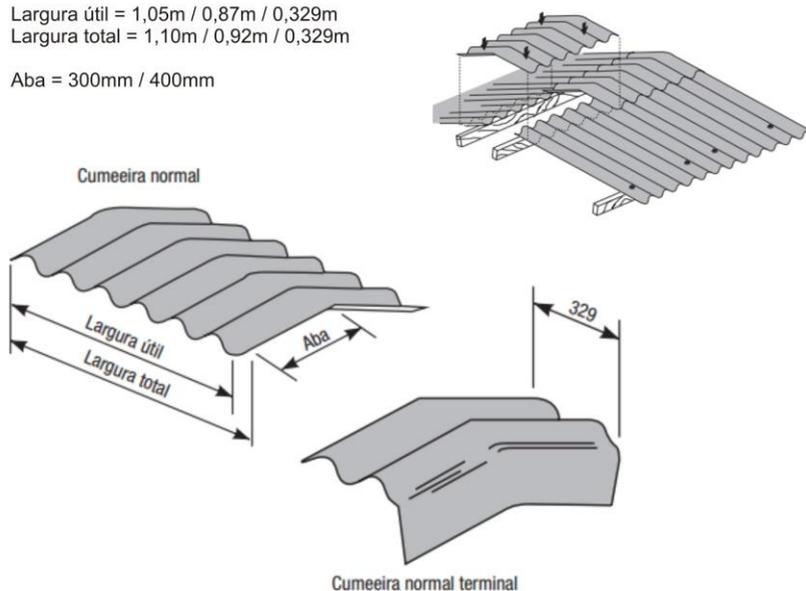
### 2.1.4.2.2 Peças complementares

Em BRASILIT (2003), pode-se encontrar algumas peças que complementam o desenho do telhado dando acabamento principalmente em relação ao encontro das superfícies, como verifica-se nos exemplos das Figuras 19 a 22.

Figura 19 - Cumeeira normal e cumeeira terminal.

Largura útil = 1,05m / 0,87m / 0,329m  
Largura total = 1,10m / 0,92m / 0,329m

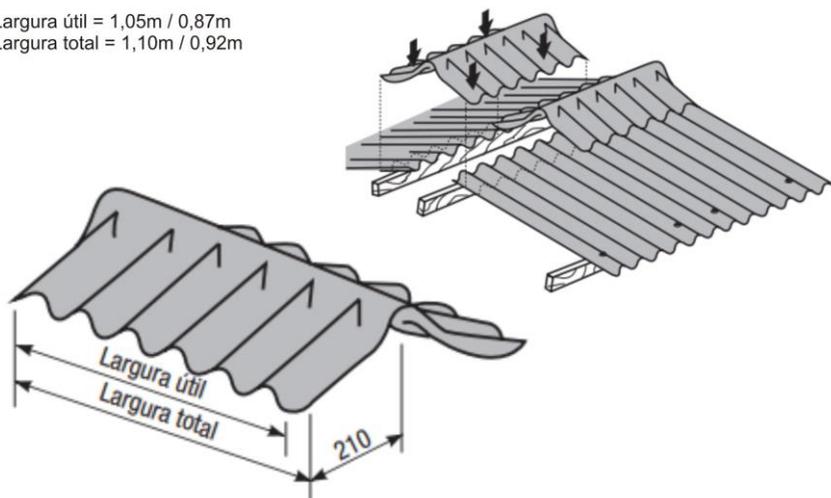
Aba = 300mm / 400mm



Fonte: Adaptado de BRASILIT,2013.

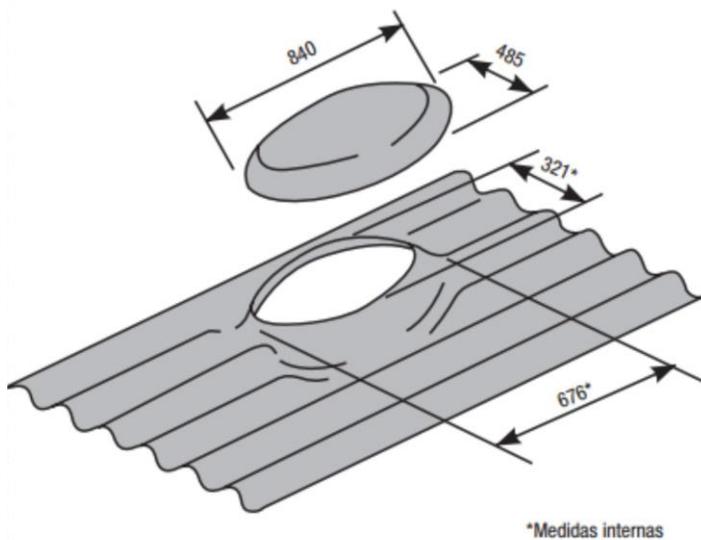
Figura 20 - Cumeeira universal.

Largura útil = 1,05m / 0,87m  
 Largura total = 1,10m / 0,92m



Fonte: Adaptado de BRASILIT,2013.

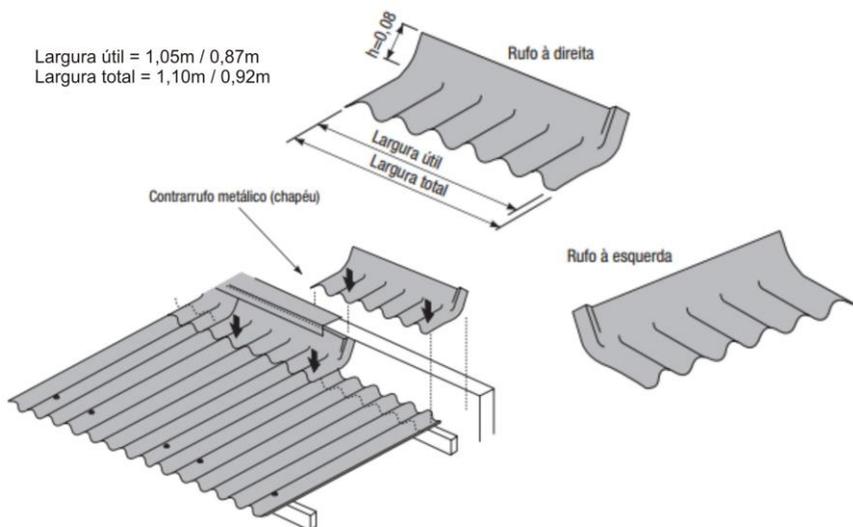
Figura 21 - Telha com clarabóia.



\*Medidas internas

Fonte: Adaptado de BRASILIT,2013.

Figura 22 - Rufo.

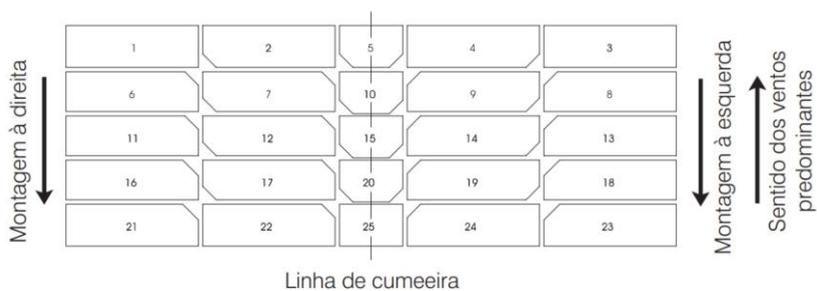


Fonte: Adaptado de BRASILIT,2013.

#### 2.1.4.2.3 Detalhes construtivos

De acordo com Eternit (2013) pode-se ver alguns detalhes construtivos e instruções na Figura 23.

Figura 23 - Esquema de montagem das telhas de fibrocimento.

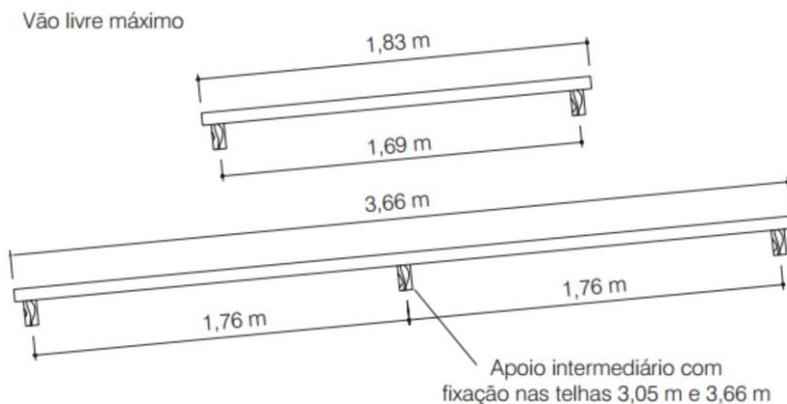


Fonte: ETERNIT, 2013.

O Esquema de montagem deve ser feito do beiral para a cumeeira. No caso de água opostas, fazer duas montagens sucessivamente.

Tomando-se como exemplo as telhas onduladas de 6mm, deve-se considerar o número de apoios para telhas com até 1,83m e 3 apoios para as telhas maiores do que este valor, sempre respeitando o vão máximo de 1,69m, conforme a Figura 24. As telhas de comprimento 3,05 m e 3,66 m devem ser fixadas nos apoios intermediários e estes devem ter largura mínima de 4 cm, sempre acompanhando o caimento das telhas.

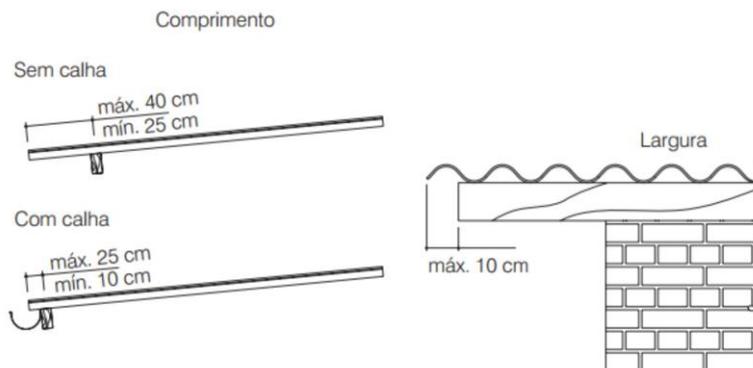
Figura 24 - Número de apoios e vão livre máximo.



Fonte: ETERNIT, 2013.

De acordo com a Figura 25, no sentido do comprimento das telhas, o balanço deverá ser medido a partir do furo para a fixação. Já no sentido da largura, será medido a partir da extremidade do apoio.

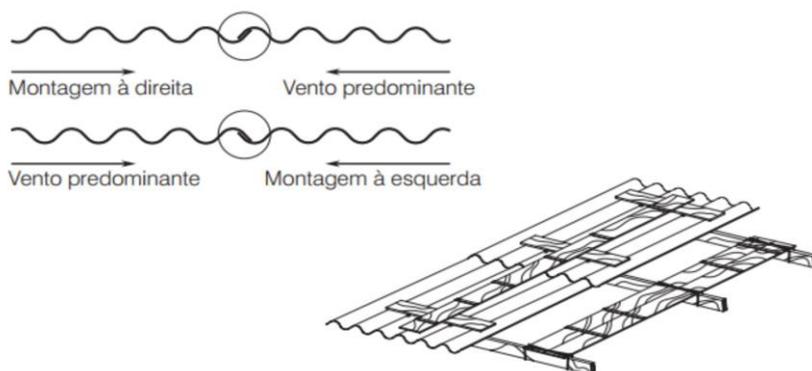
Figura 25 - Balanços.



Fonte: ETERNIT, 2013

A montagem deve ser feita no sentido contrário ao dos ventos predominantes da região, conforme esquema da Figura 26. Indica-se usar tábuas apoiadas sobre as terças, evitando pisar diretamente sobre as telhas.

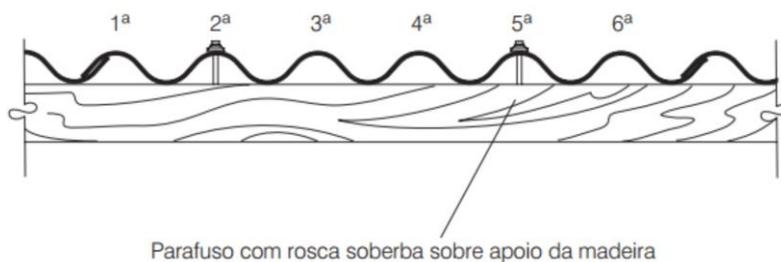
Figura 26 - Cuidados na montagem.



Fonte: ETERNIT, 2013.

A fixação das telhas em coberturas é feita colocando-se sempre 2 parafusos com rosca soberba ou ganchos com rosca por apoio, nas cristas da segunda e da quinta onda em cada telha de periferia da água do telhado (beirais ou faixas de cumeeira), como mostra a Figura 27. Nas demais telhas pode-se optar, alternativamente, pela colocação de 2 ganchos chatos por apoio, na primeira e na quarta cavas.

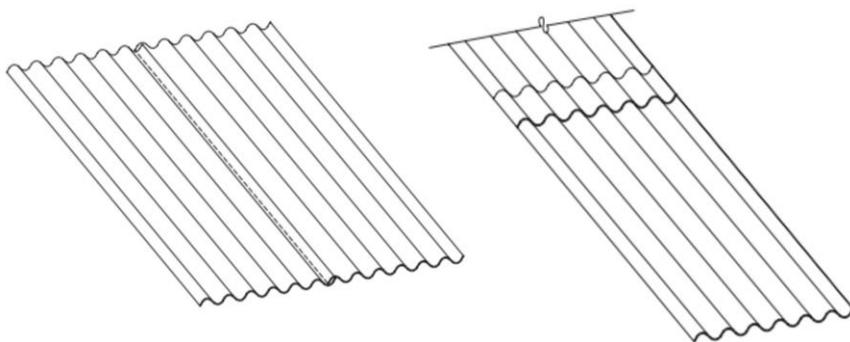
Figura 27 - Fixação em coberturas.



Fonte: ETERNIT, 2013.

Finalmente, na Figura 28 vê-se as recomendações para os recobrimentos laterais e longitudinais das telhas de fibrocimento, tomando como exemplo a telha ondulada de 6mm.

Figura 28 - Recobrimentos lateral e longitudinal.



recobrimento lateral

Inclinação	Recobrimento Lateral
	1¼ onda
$9\% (5^\circ) \leq \alpha < 18\% (10^\circ)$	1/4 onda + cordão vedação
$18\% (10^\circ) \leq \alpha < 27\% (15^\circ)$	1/4 onda ou 1¼ onda
$27\% (15^\circ) \leq \alpha < 75^\circ$	1/4 onda ou 1¼ onda

recobrimento longitudinal

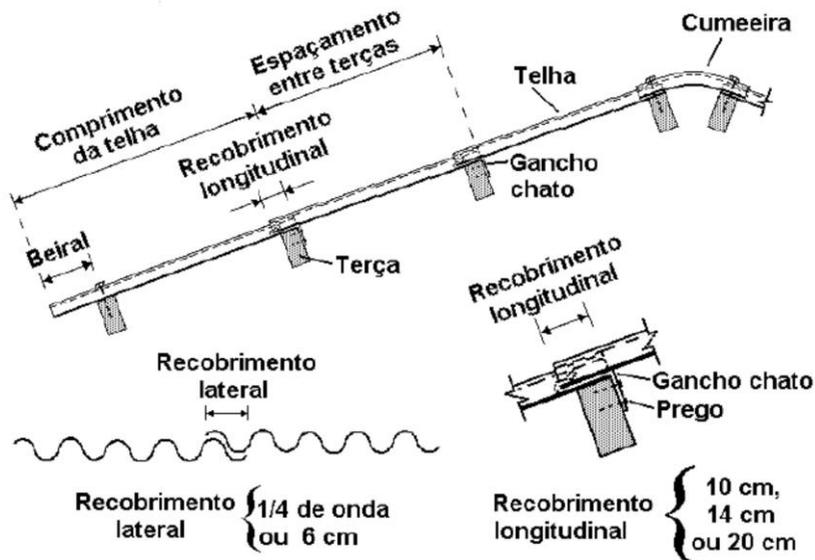
Inclinação	Recobrimento Longitudinal (Mínimo)
$9\% (5^\circ) \leq \alpha < 18\% (10^\circ)$	25 cm ou 14 cm + cordão vedação
$18\% (10^\circ) \leq \alpha < 27\% (15^\circ)$	20 cm ou 14 cm + cordão vedação
$27\% (15^\circ) \leq \alpha < 75^\circ$	14 cm

Fonte: Adaptado de ETERNIT, 2013.

#### 2.1.4.2.4 Trama de um telhado para telhas de fibrocimento

A trama de um telhado para telhas de fibrocimento, não necessita de caibros e ripas, limitando-se apenas as terças (LOGSDON, 2002). A Figura 29 mostra as partes desse telhado, bem como algumas de suas particularidades, tais como, os valores mínimos de recobrimentos laterais e longitudinais que devem ser respeitados para evitar a entrada de chuvas na edificação.

Figura 29 - Trama de um telhado convencional com telhas de fibrocimento.

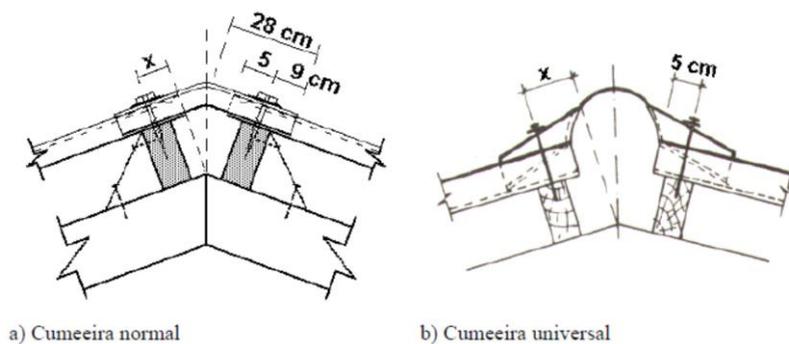


Fonte: LOGSDON, 2002.

De acordo com Eternit (2013) é necessário limitar o comprimento dos beirais, pois a incidência de ventos pode vir a danificá-los e cada tipo de telha possui recomendação quanto ao tamanho do mesmo, como foi descrito no item que aborda os modelos de telhas de fibrocimento (2.1.2.2.1).

Existem várias possibilidades de inclinações utilizadas nas telhas de cumeeiras fabricadas segundo Helmeinster (1977) *apud* Logsdon (2002), de forma que para saber a posição das terças sobre a tesoura é necessário saber os valores de "x" apresentados na Figura 30 e nas Tabelas 11 e 12.

Figura 30 - Inclinação das cumeeiras.



Fonte: LOGSDON, 2002

Tabela 11 - Valores de x (cumeeira normal).

VALORES DE x (cm)		
INCLINAÇÃO	SEÇÃO DAS TERÇAS (cm x cm)	
	6 x 12	6 x 16
10°	17,00	16,00
15°	16,00	15,00 *
20°	14,50	13,00 *
25°	13,50	11,50
30°	12,00	10,00

\* Mais utilizadas.

Extraída de LOGSDON, 2002

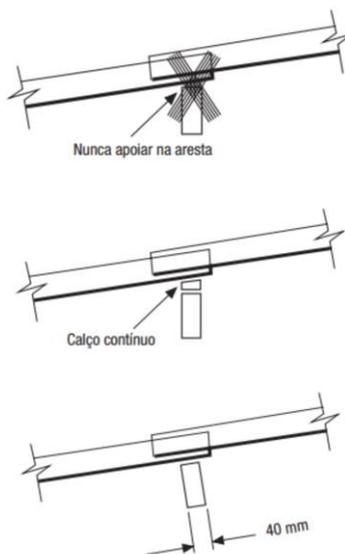
Tabela 12 - Valores de x (cumeeira universal).

VALORES DE x (cm)		
INCLINAÇÃO	SEÇÃO DAS TERÇAS (cm x cm)	
	6 x 12	6 x 16
10°	13,00	12,00
De 11° a 15°	11,50	10,00
De 16° a 20°	10,00	8,50
De 21° a 25°	9,00	7,00
De 26° a 30°	8,50	6,00

Extraída de LOGSDON, 2002.

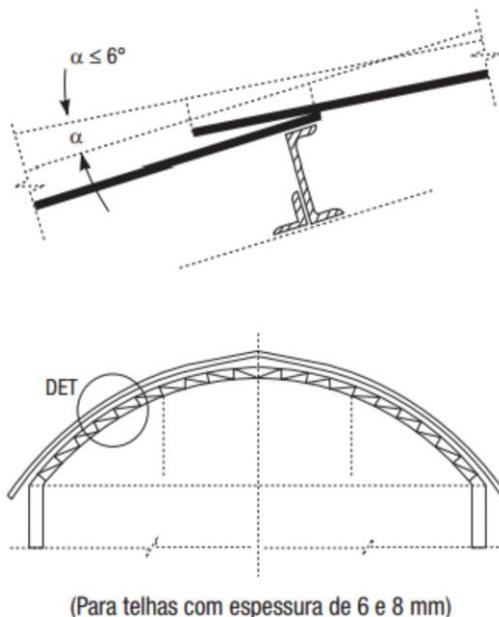
Brasilit (2013) recomenda que o apoio das telhas sobre as terças não seja feito sobre as arestas. Nas coberturas poliédricas (arco), o grau de inclinação entre as telhas não deve ultrapassar 6° (ver Figuras 31 e 32).

Figura 31 - Apoio das telhas.



Fonte: BRASILIT, 2013.

Figura 32 - Diferenças de inclinações entre telhas.



Fonte: BRASILIT, 2013.

### 2.1.5 Calhas

As calhas são elementos da edificação fixadas nos beirais e que se destinam a captar as águas pluviais que escoam pelo telhado e enviá-las aos condutores, os quais são fixados em pontos estratégicos da alvenaria. Possuem variadas seções e podem ser confeccionadas de materiais diversos, desde o zinco até o PVC (SALGADO, 2009).

De um modo geral, segundo o mesmo autor, estabelece-se uma regra simples, para o dimensionamento de calhas e condutores, porém destaca-se a importância de se consultar a NBR 10884.89 para projetos mais detalhados e precisos:

- Calhas: 1,5 cm<sup>2</sup> (seção transversal) de calha para cada metro quadrado de superfície do telhado, sendo que em regiões onde a incidência de chuvas é muito forte, deve-se aumentar esse valor.
- Condutores: adotar metade da seção estimada para a calha.

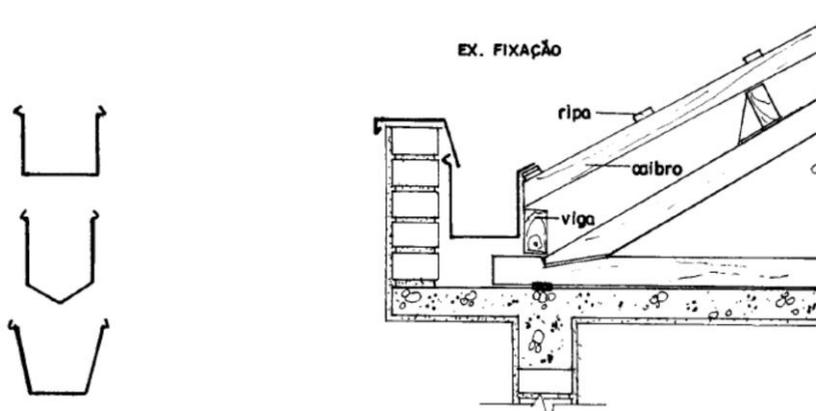
### Tipos de calhas

Para Ribeiro (2009) as calhas podem ser de três tipos (ver Figuras 33, 34 e 35):

- Tipo coxo

Captam uma quantidade maior de água devido à sua seção, e normalmente são utilizadas para grandes áreas cobertas. Podem ter a sua seção variável promovendo assim uma inclinação no fundo da mesma, auxiliando o escoamento das águas.

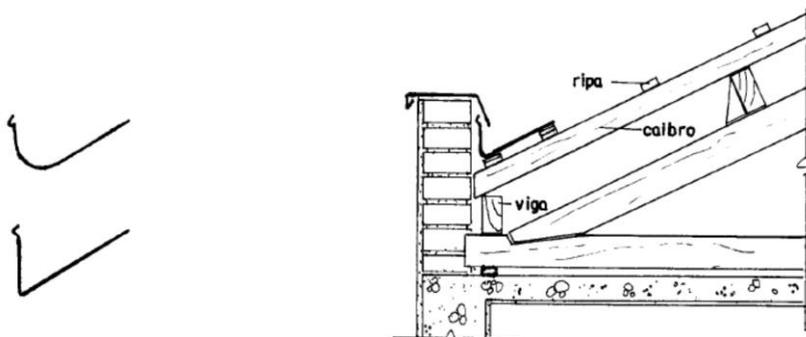
Figura 33 - Calha tipo coxo.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

- Tipo platibanda

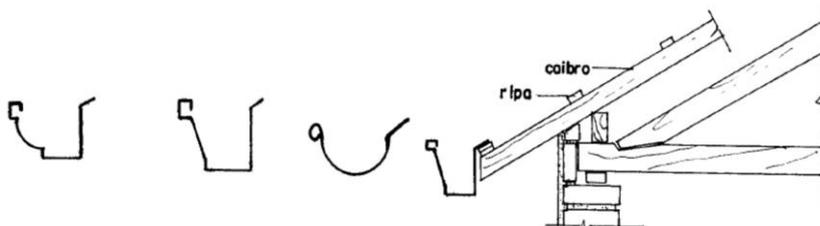
Figura 34 - Calha tipo platibanda.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

- Tipo moldura

Figura 35 - Calha tipo moldura.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

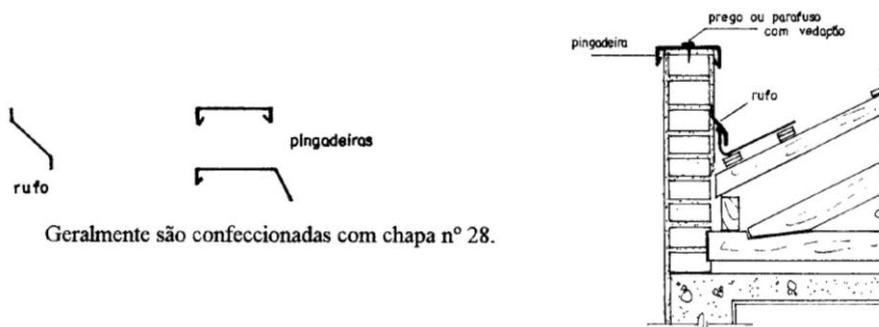
### 2.1.6 Rufos e Pingadeiras

Segundo Ching (2000) rufo é uma chapa metálica dobrada que evita a penetração das águas das chuvas nas construções,

colocado no encontro de telhados e paredes e no topo destas, sendo chamado de rufo tipo pingadeira (ver Figura 36).

Embora as chapas metálicas sejam mais comuns e baratas, os rufos podem ser confeccionados em outros materiais, como o concreto no encontro entre telhado e paredes, assim como os rufos do tipo pingadeira podem ser de pedras como ardósia, granito, entre outras, no topo das paredes.

Figura 36 - Emprego do rufo e de rufo tipo pingadeira.



Fonte: RIBEIRO, 2009.

As calhas e rufos também podem receber o nome de algeroz. De acordo com Priberam (2014) a palavra “algeroz” vem do árabe e significa canal de água. Outras definições encontradas são:

1. Cano que recebe as goteiras de todo o telhado.
2. Parte saliente do telhado para desviar as águas da parede que o sustenta.
3. Cano que leva a água da nora ao tanque.

## 2.2 CONCEITOS INSPIRADORES DO PROJETO

O as ideias que são apresentadas neste trabalho foram inspiradas nos conceitos estruturantes, descritos por Azambuja (2013) em sua tese que propõe um novo paradigma de sustentabilidade para a construção civil. Segundo ele, existe uma incompatibilidade no cenário atual entre a prática da indústria e os princípios de sustentabilidade a serem incorporados por estes procedimentos habituais, no que diz respeito ao uso e descarte de edificações.

Para o autor, a visão de mundo que dá destaque à sustentabilidade é regida por um padrão essencialmente distinto daquele que obedece a visão meramente técnico-econômica que é característica do atual paradigma da construção, trazendo valores que se diferem daqueles que orientam a busca da maximização do lucro ou que favorecem uma visão antropocêntrica do meio ambiente.

### **2.2.1 Princípios de sustentabilidade propostos por Azambuja (2013)**

O autor definiu em sua tese um grupo de princípios básicos e aplicados chamados de conceitos estruturantes, de modo a operacionalizar o enfoque da sustentabilidade com intuito de buscar novas soluções tecnológicas para a indústria da construção. Foram desenvolvidos a partir de uma variedade de fontes que utilizaram diversos enfoques (arquitetônico, tecnológico, econômico, da teoria dos sistemas, etc.), os quais são a evolução de uma série de outros conceitos que inicialmente estavam organizados em um mesmo nível hierárquico, mas que com a evolução da pesquisa foram classificados de modo a estabelecer uma relação hierárquica entre eles.

Os princípios básicos são genéricos e abrangentes e expressam a ideia geral por trás de três conceitos mais específicos: perpetuação, otimização e integração. Os princípios aplicados são inspirados nos básicos e têm sua aplicação focada ou na relação com o meio em que se encontra o sistema a ser desenvolvido, produzido ou analisado, ou na formação da solução propriamente dita. Tanto os princípios básicos, quanto os genéricos são complementares e se modulam mutuamente.

A Tabela 13 apresenta a relação entre os conceitos básicos e aplicados em sua forma final onde cada conceito representa um princípio de sustentabilidade.

Tabela 13 - Conceitos estruturantes apresentados de maneira hierarquizada.

CONCEITOS ESTRUTURANTES				
BÁSICOS	APLICADOS			
	NA RELAÇÃO COM O MEIO		NA FORMAÇÃO DA SOLUÇÃO	
	PRIMÁRIOS	SECUNDÁRIOS	PRIMÁRIOS	SECUNDÁRIOS
PERPETUAÇÃO	Mínimo aumento entrópico residual (MAER)	Reciclagem Estado estável Minimização de externalidades negativas Banimento de metais Biodegradabilidade	Durabilidade estendida	Redundância Manutenibilidade Robustez Resiliência
OTIMIZAÇÃO	Maximização dos benefícios obtidos no meio	Máximo uso de recursos locais Mínimo consumo de serviços da natureza	Eficiência	Mínimo consumo de energia Design biologicamente inspirado (DBI) Customização e personalização Desmaterialização
INTEGRAÇÃO	Coevolução	Sinergia Adequação cultural e econômica	Emergência	Estrutura multinível Processos bottom-up Multifuncionalidade

Extraída de AZAMBUJA, 2013.

## 2.2.1.1 Princípios básicos

### 2.2.1.1.1 Perpetuação

Este conceito refere-se à ideia de estabilidade, de continuidade, de permanência. Na relação com o ambiente, a perpetuação significa manter o sistema o mais estável possível, perturbando ao mínimo seu nível entrópico. Desta condição emergem diversos outros princípios, dentre eles a reciclagem como nos grandes ciclos de gás carbônico, oxigênio e água, na biosfera,

caracterizam a perpetuação de complexos sistemas de trocas, permitindo a continuidade dos sistemas da biosfera. No campo da edificação, a perpetuação das soluções pode ser trazida através de diversos conceitos relacionados com a ideia de durabilidade estendida, tais como resiliência, robustez e redundância. Como exemplo, o autor cita que no ambiente natural, a morte de uma formiga para defender o formigueiro, permite que este viva. No ambiente antropogênico, a substituição de um sistema hidrossanitário obsoleto permite que o edifício ganhe uma sobrevida e a queima de um fusível permite que o motor não sofra os danos de um aumento de corrente.

#### 2.2.1.1.2 Otimização

Esta é uma das características mais presentes nas soluções desenvolvidas pelos seres vivos, para desempenhar as funções necessárias à vida, assim como também é um dos conceitos base da engenharia. No ambiente natural a otimização é a maximização dos benefícios obtidos do meio, ou seja, maior chance de sobrevivência, tanto do ser individual, quanto da espécie. É a adaptação perfeita às fontes de energia, à cadeia trófica, à necessidade de reprodução. No campo da engenharia significa ao mesmo tempo um menor impacto ambiental e uma redução no custo das soluções. A otimização é a obtenção do máximo de desempenho, com o mínimo de recursos.

#### 2.2.1.1.3 Integração

A integração ocorre em múltiplos níveis, onde o mais geral é a integração entre o ambiente antropogênico e o ambiente natural. Os ninhos de proporções gigantescas que a espécie humana criou para suas colônias (como todos os outros), não são autossuficientes e dessa forma, necessitam da interação com o ambiente à volta. O conceito de serviços da natureza tenta enfocar esta dependência, mas incorre em um enfoque utilitarista. O autor da tese defende a visão de que o meio ambiente natural tem um valor em si mesmo, independente das funções que cumpre na sua interação com o sistema antropogênico, ou seja, afirma que a preservação desse ambiente deve ocorrer sob quaisquer circunstâncias, mesmo em prejuízo da extensão ou intensidade de alguns serviços. A integração, portanto, visa à integração de dois sistemas complementares, de maneira que ambos sejam preservados, sem que haja rupturas ou descontinuidades e com um mínimo de degradação no restante do ciclo.

Não serão descritos os princípios aplicados por entender-se que apenas com a descrição dos três princípios básicos já é possível passar a ideia de forma breve e resumida onde está baseada a proposta desenvolvida nesta dissertação. Não há pretensão da autora de atingir todos estes princípios de maneira plena, mas de tomá-los como caminho norteador para uma nova forma de pensar o desenvolvimento de soluções na construção civil.

## 2.3 ENERGIA SOLAR

O Sol é a estrela central do sistema solar e uma fonte de energia indispensável para a existência de vida na terra. Segundo Abreu (2005) ele é composto quimicamente por 75% de hidrogênio e 25% de hélio e atua como um enorme reator de fusão nuclear com uma potência de  $3,86 \times 10^{26}$  W (Itaipu tem uma potência de 14.000 MW). Para Rütther (2012) o sol é um reator operando a cerca de 100.000.000 °C, a uma distância da terra de aproximadamente 150.000.000 Km.

A energia solar por ser uma fonte inesgotável, renovável e gratuita, cada vez mais tem chamado a atenção para pesquisas e estudos que aproveitem este recurso de maneira direta, uma vez que é cada vez maior a demanda por energia, para que esta possa favorecer as atividades humanas, sobretudo por causa da preocupação a respeito do uso e esgotamento das fontes de energia fósseis (óleo, carvão, gás, nuclear e hidráulica de grande porte).

A utilização de energia solar pelo homem ocorreu ao longo história, estando presente em todas as grandes civilizações. No Egito antigo o calor do sol era utilizado para a secagem de alimentos e funcionamento de salinas. Os gregos começaram a utilizar de técnicas de aquecimento solar passivo para melhorar o conforto térmico de suas residências, uma vez que no séc. V a.C., o carvão e a lenha andavam escassos. Os romanos conseguiam armazenar a energia do sol em paredes e pisos para o posterior aquecimento do ambiente, beneficiando-se do atraso térmico nestas superfícies. Já na América, as antigas civilizações incas, maias e astecas, utilizavam de forma sistemática a energia solar nos seus projetos de habitações. A importância que o astro tinha na vida desses povos é revelada por meio do culto ao Sol (FRAIDENRAICH; LYRA, 1995).

A sociedade moderna aperfeiçoou e vêm cada vez mais tentando melhorar as técnicas de utilização solar, tendo como exemplo a utilização do efeito fotovoltaico que foi descoberto em 1839, por Becquerel, que demonstrou a possibilidade da conversão da radiação luminosa mediante a incidência da luz em um eletrodo

mergulhado em uma solução de eletrólito (FRAIDENRAICH; LYRA, 1995). Em 1891, o norte-americano Clarence Kemp patenteou o primeiro aquecedor solar de água com intuito de comercialização, o qual ganhou o nome de Clímax. O aquecedor solar enclausurava tanques pintados de negro em uma caixa envidraçada. A água aquecida permanecia na própria caixa envidraçada que ficava sobre o telhado (COLLE *et al.*, 2005).

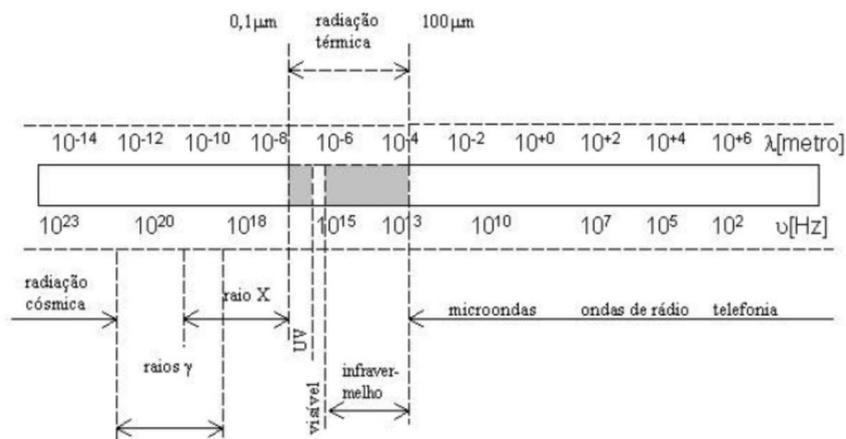
### 2.3.1 Radiação solar

De acordo com Duffie e Beckman (1991) no núcleo do sol tem início uma série reações atômicas, as quais são responsáveis pela geração de energia proveniente de parte de sua massa. A temperatura gerada é da ordem de milhões de graus Celsius e é transferida do núcleo do sol para a sua superfície, sendo então irradiada para o espaço.

A radiação solar que chega ao topo da atmosfera terrestre é reduzida a  $1361 \text{ W/m}^2$ . Este é um valor que foi fixado para o fluxo de energia que vem do sol em relação ao plano normal ao de propagação da radiação, considerando uma distância média entre a terra e o mesmo, fora da atmosfera. É denominado de constante solar Gextraterrestre ou  $G_{AM0}$  e qual varia 6,9% ao longo do ano, devido à excentricidade da trajetória elíptica da terra ao redor do sol. Porém ao ultrapassar a atmosfera, a intensidade desta radiação sofre atenuação e resulta em  $1000 \text{ W/m}^2$  (considerando o horário do meio dia), ou 1 SOL (adaptado de RÜTHER, 2012).

A distribuição espectral da radiação solar pode ser mensurada por meio do espectro eletromagnético (Figura 37), onde ocupa uma faixa de ondas e frequências compreendida entre 0,1 e  $100 \mu\text{m}$ , abrangendo a radiação ultravioleta (UV), visível e a infravermelha (MENDES, 2007 *apud* PASSOS, 2011).

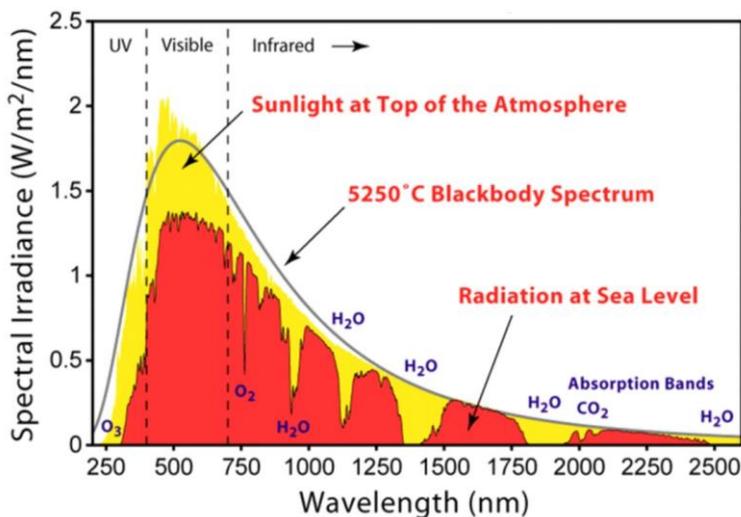
Figura 37 - Espectro de radiação térmica.



Fonte: PASSOS, 2011.

Conforme os estudos de Abreu (2005) ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre fenômenos físicos, os quais são comuns à propagação de ondas eletromagnéticas em meios semitransparentes. Estes fenômenos podem ser espalhamento, reflexão, transmissão, absorção. Sendo assim, condições climáticas, tais como, presença de nuvens, aerossóis e umidade tem grande influência na atenuação da radiação incidente na superfície (Figura 38).

Figura 38 - Espectro de radiação solar na superfície da terra.



Fonte: SOLARBOOK, 2013.

Para Rüter (2012), a radiação solar que vem diretamente do sol e que atravessa a atmosfera sem ser espalhada, é chamada de radiação direta. Já a radiação vinda do sol, a qual sofreu espalhamento pela atmosfera, é chamada de difusa. A soma destas é denominada de radiação solar global.

É importante mencionar que é necessário conhecer a intensidade da energia solar em superfícies inclinadas para fins de aplicações tradicionais. Para tanto, é necessário transportar para o plano de incidência os valores da radiação direta e difusa conhecidos na superfície horizontal e somar aos mesmos, os valores da radiação refletida pelas superfícies vizinhas. As superfícies inclinadas têm uma radiação maior que a da superfície horizontal na maioria dos meses. Nos meses de inverno onde a inclinação do sol está mais baixa, inclinando-se o plano de incidência minimiza-se a distância percorrida pela radiação até a sua superfície e assim consegue-se um melhor aproveitamento da radiação o que resulta em uma maior quantidade anual de energia disponível. Se forem comparadas situações com azimutes diferenciados, como por exemplo, igual a  $0^\circ$  (voltado para Norte) e igual a  $45^\circ$ , é possível constatar que há diminuição na radiação disponível à medida que o coletor vai se desalinhando com

o Norte. Tal redução é mais significativa nos meses de inverno do que durante os meses de verão (ABREU, 2005).

Florianópolis possui valores para irradiação difusa de 45 % da radiação global horizontal, e 38 % da irradiação global no plano inclinado a 27° de acordo com Pereira *et al.* (2006) e segundo Santos (2011) a cidade tem um dos menores níveis de radiação do país, na faixa de 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia a 27° de inclinação, indicando que embora seja um valor excelente e muito mais elevado, se comparado a valores encontrados em países europeus, como já foi mencionado neste trabalho, sugere que trabalhos propostos em outras regiões do país, teriam melhor desempenho com maiores níveis de radiação solar.

### **2.3.2 Exemplos de utilização da energia solar**

A energia solar possui inúmeras formas de utilização e além de ser fundamental para muitas formas de vida, também possui importante papel no auxílio do desenvolvimento das atividades humanas quando utilizada da maneira correta.

Alguns exemplos de utilização da energia solar são a geração de eletricidade (fotovoltaica), aquecimento e resfriamento de ambientes, efeito estufa (cultivo de plantas), secagem de grãos, cocção de alimentos, dessalga de água do mar, aquecimento de água de piscinas e aquecimento de água para uso residencial.

A geração de eletricidade por meio da energia solar acontece, segundo CRESESB (2013) por meio de dispositivos capazes de converter a energia luminosa em energia elétrica em corrente contínua (CC), funcionando como geradores de energia quando expostos a radiação solar. De acordo com Rütther (2004) as tecnologias disponíveis mais utilizadas na conversão fotovoltaica são os semicondutores Si (silício – monocristalino, policristalino e amorfo), CdTe (telureto de cádmio), e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInGaSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS), porém o silício é o líder da produção de módulos fotovoltaicos, por ser responsável por 95% da produção destes e também porque é o segundo elemento mais abundante na superfície da terra, sendo 100 vezes menos tóxico que qualquer um dos outros elementos citados acima (RÜTHER, 2004). Nos anos 60 os módulos fotovoltaicos foram desenvolvidos para utilização em satélites, por meio de programas espaciais da época e seus custos eram elevadíssimos, porém com o desenvolvimento, aperfeiçoamento das técnicas e redução de custos, atualmente é possível a sua utilização em aplicações terrestres (CRESESB, 2012).

O físico Heinrich Rudolph Hertz, em 1887, descobriu que a luz poderia gerar faíscas, quando investigava sua natureza eletromagnética ao estudar a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, observando que a faísca produzida por uma das superfícies, gerava uma faísca secundária na outra (SANTOS, 2002 em IF, 2013). Apenas em 1905 é que Einstein conseguiu explicar o efeito fotoelétrico, quando sugeriu que o fóton proveniente da radiação ao atingir o metal, é absorvido por um único elétron e a este cede a sua carga. Este fenômeno ocorre instantaneamente fazendo com que o elétron do metal adquira uma energia adicional. Einstein propõe então em sua teoria, que a luz ou outra forma de energia radiante é composta de partículas: os fótons, os quais são absorvidos pelo metal (somente um de cada vez), sem existir frações de um fóton (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

O aquecimento de ambientes por meio de sistemas solares pode ser de dois tipos: ativos ou passivos. De acordo com Aneel (2012) o aquecimento solar passivo para aquecer um espaço, proveniente do aproveitamento da iluminação natural e do calor, decorre da absorção ou penetração da radiação solar nas edificações, o que faz ser consideravelmente reduzida a necessidade da utilização de meios mecânicos. Apenas com técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção é possível se conseguir um satisfatório aproveitamento da radiação solar. Segundo Hinrichs e Kleibach (2003), o aquecimento passivo se aproveita da quantidade de energia solar transmitida por meio das janelas voltadas para o sul (norte, no caso dos países do hemisfério sul), durante um dia claro, a qual é maior do que o calor perdido através delas durante um período de 24 horas. Os materiais que constituem a casa são os responsáveis por armazenar esta energia que entra e reduzir os efeitos do superaquecimento, pois alguns deles têm a capacidade de absorver grande quantidade de energia térmica, tais como o concreto, as pedras e a água e são chamados de massa térmica. Os sistemas passivos podem ser de três tipos: ganho direto, ganho indireto e estufa anexa. O sistema de aquecimento solar ativo de ambientes, conforme Hinrichs e Kleinbach (2003), é constituído por um coletor de placa plana, localizado geralmente no telhado, algum tipo de armazenamento térmico, localizado geralmente no porão, e meios mecânicos que possibilitem a transferência do calor do local armazenado para o ambiente a ser aquecido, sendo a água e o ar os fluidos transferidores neste processo. O calor é emanado para o ambiente do tanque de armazenamento por meio de radiadores de rodapé. Os custos de instalação desse sistema ainda impedem que o

mesmo possa se popularizar. Um sistema de ar, custa menos do que um que se utilize de água, além de não congelar e não ter problemas de vazamento, porém, o ar não é um bom condutor térmico e sua implantação necessita de estruturas de armazenamento maiores, cuidados especiais com a operação do mesmo e com o dimensionamento e instalação de seus dutos.

O resfriamento de ambientes é visto mundialmente como o modo mais eficiente de se empregar o uso a energia solar. Esta afirmação se confirma, segundo a opinião de Palz (2002), porque o uso da energia solar é mais adaptado ao resfriamento do que ao aquecimento, levando-se em consideração o ponto de vista técnico. Isso ocorre porque o melhor funcionamento do sistema acontece justamente quando se tem maior abundância de energia solar, não havendo necessidade de armazenamento do calor gerado e os sistemas de climatização ser autossuficientes, não havendo, portanto, necessidade de recorrer a alguma fonte de calor auxiliar. De acordo com Neves (2012) o ar condicionado natural se baseia no “efeito chaminé”. Este atua como um coletor solar, onde os raios atravessam uma superfície de vidro e esquentam uma placa metálica preta abaixo dele, diferenciando-se de um coletor solar de água convencional, porque na chaminé solar em vez de água, passa o ar pelos tubos que passam embaixo da placa metálica aquecida. Dessa forma, o ar aquecido que passa dentro da estrutura, tende a subir quando é aquecido (porque se torna mais leve) e suga o ar dos ambientes, promovendo a troca com o ar exterior, que é geralmente mais confortável e puro.

O efeito estufa é o aprisionamento do calor que vem do sol em uma estrutura envidraçada, a qual mantém este calor acondicionado em seu interior, e a qual serve para controlar a temperatura interna de acordo com a radiação solar incidente, protegendo as plantas de ameaças externas. O uso de estufas nos climas mais frios requer o auxílio de outros combustíveis para aquecer seu interior. Já nos países de climas quentes, são utilizadas estufas de plástico que podem aumentar a produção agrícola em até cinco vezes, verificando-se também grande economia no uso de água (PALZ, 2002).

A secagem de grãos é feita pela energia do sol que chega por meio de um coletor solar (ligado a um espaço fechado), que aquece o ar e o joga na camada de grãos por meio de um ventilador, o qual faz uma sucção do ar e joga-o por baixo de uma camada de grãos promovendo a secagem (MARTINS *et al.*, 2002; PORTAL DIA DE CAMPO - EMBRAPA, 2013). De acordo com Palz (2002), outra maneira de promover a secagem por aquecimento solar é quando o

ar é aquecido no interior do espaço onde será realizada, sendo os produtos destinados à mesma, tais como tijolos e madeira, envoltos por material plástico com aberturas para a circulação do ar, promovendo o efeito estufa e aquecendo o ar nos espaços livres.

A cocção de alimentos, por meio de fogões solares, não é uma novidade e pode ser classificada em dois tipos: os fogões em forma de caixa, com refletores metálicos internos e uma tampa de vidro, voltados para o sol, ou os fogões em forma de antena parabólica, conhecidos como fogões parabólicos, podendo atingir temperaturas da ordem de 150°C no primeiro e até 350°C no segundo tipo. De acordo com Moura (2009) o uso de concentradores solares remonta pelo menos dois séculos antes de Cristo, quando Arquimedes utilizou espelhos para direcionar os raios solares. De Saussure, utilizou uma caixa isolada com várias camadas de vidro para cozinhar, atingindo altas temperaturas, em 1757. Em 1950, nos Estados Unidos havia desenvolvimento e testes de aparelhos solares para cozimento, onde o aquecimento da panela se dava por absorção direta de convecção (HEINRICH; KLEINBACH, 2003). Os fogões solares, no entanto, não são fáceis de manusear e necessitam ser movimentados de acordo com o deslocamento do sol, para uma maior eficiência, sendo também necessário mencionar, que o tempo de cocção é bem mais demorado do que um fogão convencional.

O processo para dessalgar a água de forma a deixá-la potável, segundo Souza (2006) tem sido buscado pela humanidade ao longo do tempo e é tão antigo quanto o sistema solar. Parte da água da terra é transformada em vapor, por meio da energia solar e se transforma em nuvens que se precipitam como água potável em forma de chuvas. Os mecanismos que fazem este processo geralmente imitam uma parte do ciclo hidrológico natural no qual a água salina é aquecida pelos raios solares de forma a produzir vapor d'água. Este é então condensado em uma superfície fria e o condensado coletado como água produto. Conforme Montanari (2003), um método antigo de dessalinizar a água do mar consiste em construir um reservatório longo e contínuo, com cobertura de vidro e declividade, para que a radiação solar ao penetrar por esta cobertura aqueça a água fazendo evaporá-la, cristalizando o sal que se sedimentará no fundo do reservatório. Sem conseguir passar pelo vidro, a água ficará retida e escorrerá para as beiradas, gotejando em calhas laterais, por onde escoará. O processo é lento e de baixo rendimento, porque nas calhas laterais também ocorre evaporação. O termo "dessalgamento", significa remover apenas o excesso de salinidade da água para que esta fique própria para ser consumida.

Os coletores solares para aquecer a água utilizada em piscinas, segundo Laughton (2010), podem ser abertos ou fechados e possuírem ou não sistema auxiliar de aquecimento. São similares aos coletores de placa plana para uso doméstico, embora seu desempenho seja inferior a este, pois opera em temperaturas mais baixas, apenas para deixar a água das piscinas em uma temperatura confortável, entre 20°C a 32 °C. A área dos coletores depende de fatores climáticos e da temperatura desejada na piscina. Em climas temperados, a área de absorção deve ser entre 50 e 100% da área da piscina e em climas subtropicais, esta relação deve ficar entre 30 e 50%. O autor alerta para o fato de que devido aos produtos utilizados para a higienização da água, os coletores correm risco de corrosão, pois geralmente as aletas são constituídas em propileno, mas as tubulações cobertas por estas, são em cobre. A piscina perde calor em sua superfície por meio da evaporação, sendo ideal o uso de coberturas térmicas, principalmente à noite, para minimizar as perdas. Conforme Transsen (2011), a diferença entre o sistema de aquecimento para piscinas e o convencional é que a própria piscina serve como reservatório térmico. Uma vez aquecida toda a água da piscina, o coletor apenas repõe a perda térmica diária, onde o sistema se localiza na casa de máquinas, levando a água da piscina para as placas coletoras que a devolvem na temperatura certa para o uso. Os coletores sempre trabalham a seco e a água só corre nos coletores no momento em que a moto-bomba é acionada. Após, a drenagem das placas é feita automaticamente, para evitar o superaquecimento da água e possíveis danos na tubulação da casa de máquinas, ficando a água sempre na temperatura certa.

O aquecimento de água por energia solar é utilizado pela humanidade desde o início dos tempos e com o advento da produção de vidro do período Romano em diante, deu às pessoas a ideia de que poderiam capturar o sol para dentro das edificações. A partir do século XIX, iniciou-se a produção de chapas de vidro plano a preços acessíveis e desde então, os aquecedores solares de água, começaram a ser comercializados, inclusive em locais do mundo onde outros métodos para o aquecimento eram caros ou inconvenientes, sendo os pioneiros a Califórnia, Flórida, Japão, Israel e Austrália (LAUGHTON, 2010). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997) o aquecimento de água pode significar uma grande fatia no consumo de energia elétrica em edificações, sendo os sistemas mais comuns o chuveiro elétrico, o aquecedor elétrico de passagem, o aquecedor elétrico de acumulação, o aquecedor a gás de passagem, o aquecedor a gás de acumulação e o aquecedor solar de acumulação com backup elétrico. Colle *et al.* (2005) afirmam que o

impacto ambiental decorrente do uso desse tipo de tecnologia, fica restrito apenas ao processo de fabricação do mesmo e ao uso de energia auxiliar. De acordo com Laughton (2010), os sistemas para aquecimento de água, podem ser facilmente identificados pelos coletores solares dispostos sobre o telhado, ou em estruturas verticais junto com os tanques de armazenamento de água e muitas vezes, podem ser confundidos com os sistemas fotovoltaicos, ou com grandes clarabóias. O tanque para armazenamento de água quente é parte integrante do sistema e dependendo das condições climáticas e do local, pode ser instalado dentro ou fora da edificação, podendo ser mais de um. Também fazem parte do sistema outros componentes, como bombas e controladores elétricos, que geralmente ficam no interior do edifício, em sótãos, ou dutos de serviço. Mesmo nas regiões mais frias e menos beneficiadas pela incidência de sol, mais da metade da demanda anual de água quente pode ser suprida. O aquecedor solar pode garantir segurança a indivíduos, comunidades e países, dando independência a estes em relação à utilização de combustíveis convencionais para aquecimento e as variações nos preços destes.

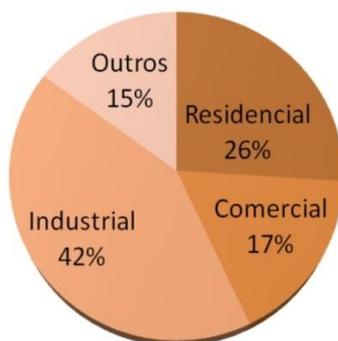
## 2.4 AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR

O uso de sistemas de aquecimento de água não se restringe às edificações residenciais, pois é necessário em todos os locais onde existam chuveiros (ginásios, academias, clubes, hospitais, hotéis, motéis, penitenciárias, etc.). Além disso, a utilização de água quente para o aquecimento de ambientes com o emprego de radiadores é uma alternativa interessante.

De acordo com EPE (2012), no ano de 2011 o segmento de distribuição de energia elétrica no Brasil demandou 433.034 GWh, dos quais 26% foram para o setor residencial, 42% para o setor industrial, 17% para setor comercial e 15% para outros setores, como mostra a Figura 39. O número total de clientes residenciais, em 31 de dezembro de 2011, era de aproximadamente 70 milhões. No setor residencial o consumo total de energia elétrica para aquecimento de água corresponde a 25%, sendo aproximadamente 6,5% do consumo total de energia elétrica do país destinado ao aquecimento de água residencial. O chuveiro elétrico aumenta a demanda no horário de pico para aproximadamente 27%. Considerando-se o uso deste em 90% das residências brasileiras, pode-se estimar sua participação em aproximadamente 8,5% da demanda total. Se for considerada a demanda máxima (76.261 MW no mês de fevereiro - Segundo Boletim diário de operação do sistema ONS, 2012), este valor seria

aproximadamente de 6.480 MW, o que equivale a 46% da capacidade de geração instalada na Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional (14.000 MW). Segundo Colle *et al.* (2005), para a redução do consumo de energia elétrica residencial no horário de pico seria necessária mudança de hábitos de consumo (tomar banho em outros horários), e o uso de outras tecnologias para o aquecimento de água. Considerando que os hábitos de banho, relacionados à hora que se retorna do trabalho e da escola são difíceis de modificar, a mudança tecnológica parece ser a solução mais promissora, tendo o aquecedor solar uma série de vantagens sobre o aquecedor elétrico e o aquecedor a gás, uma vez que a energia solar é abundante e gratuita no Brasil. A Figura 40 mostra a distribuição do consumo de energia elétrica por finalidade no Brasil.

Figura 39 - Consumo de eletricidade por setor no Brasil.



Fonte: Adaptado de EPE, 2012.

Figura 40 - Distribuição do consumo residencial de energia elétrica por finalidade no Brasil.

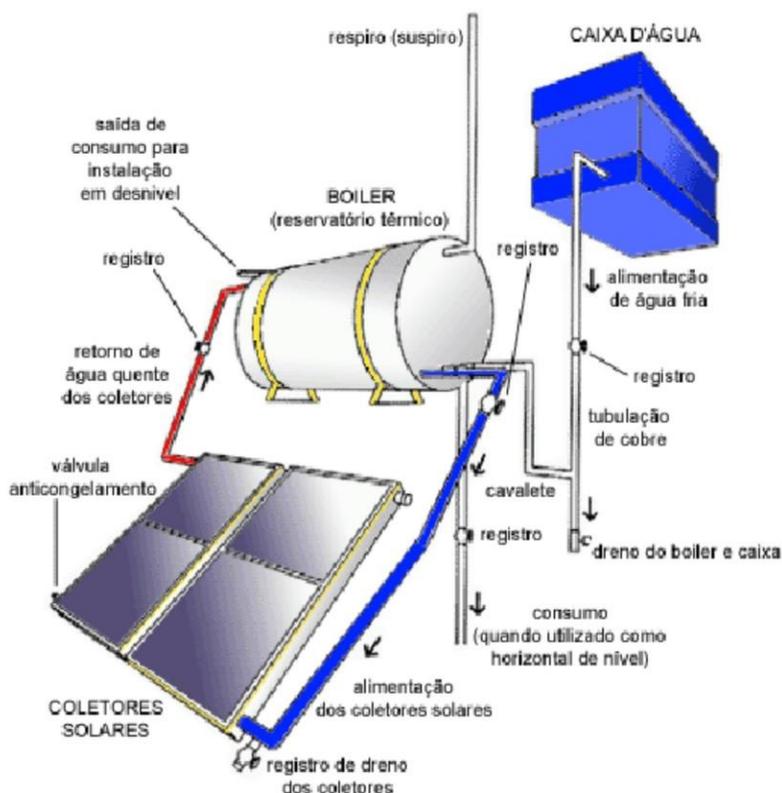


Fonte: Adaptado de INMETRO, 2013.

Um aquecedor solar é uma “mini usina” com capacidade de produzir energia em forma de água quente no mesmo local onde será utilizada, o qual ao mesmo tempo em que capta, também armazena energia solar. O sistema é composto de coletores de energia solar, reservatório térmico, tubulação própria para água quente, e um sistema auxiliar para dias chuvosos ou nublados, que pode ser elétrico, com termostato mecânico ou manual (TECNOSOL, 2013).

De acordo com GREEN (2013), o sistema de aquecimento solar é dividido em três subsistemas básicos: captação, armazenamento e consumo. A captação é composta pelos coletores solares por onde circula o fluido a ser aquecido e pelas tubulações de ligação entre os coletores e entre a bateria de coletores e o reservatório térmico. Em instalações maiores há ainda a bomba hidráulica. No Brasil, o fluido de trabalho mais usado é a água. O armazenamento é composto pelo reservatório térmico e pelo sistema complementar de energia e o consumo que é composto por toda a distribuição hidráulica entre o reservatório térmico e os pontos de consumo (ver Figura 41).

Figura 41 - Sistema de aquecimento solar de placa plana com cobertura de vidro.



Fonte: SOLETROL, 2002.

Para Budihardjo, Morrison e Behnia (2007), quando as partes do aquecedor estão separadas em sistemas próprios, são chamadas de *flat-plate collectors* e quando estão integradas, com a própria placa servindo de condutora do fluido, denominam-se *evacuated tube collectors*, sendo ambos aquecedores conhecidos como *wather in glass*. Porém, o segundo sistema possui melhor desempenho em temperaturas altas, devido às perdas por convecção para o ambiente serem menores.

Segundo Laughton (2010), os coletores solares podem variar de simples coletores planos sem vidros, a caixas ou tubos cobertos com vidros, através de arranjos complexos de espelhos. Os coletores

solares são normalmente encontrados nos telhados de edifícios, mas também podem ser fixados às paredes verticais ou montados no chão. São geralmente colocados em uma direção, mas também podem ser montados com o auxílio de dispositivos de rastreamento que giram para acompanhar o movimento do sol no céu. Dentro do coletor solar, a placa absorvente de cor escura fica quente e transfere o calor para os fluidos, tais como ar, água ou outro meio. Por meio de uma sequência de tubos e de dutos, o calor é transferido para um recipiente de armazenamento de água quente, normalmente localizado internamente a um edifício, podendo este também ser parte integrante do coletor.

#### **2.4.1 Tipos de sistemas de aquecimento solar de água em uso**

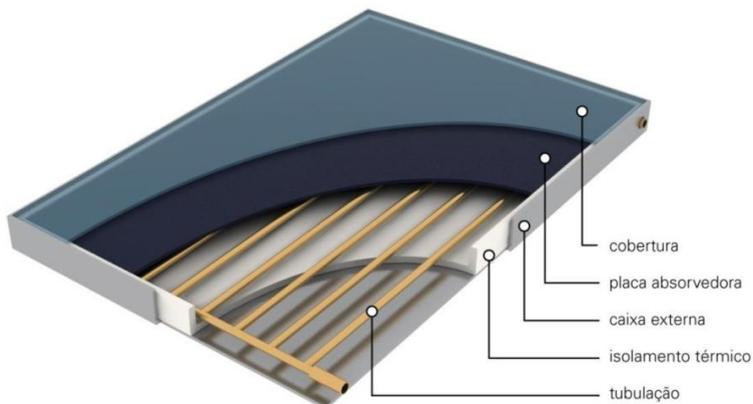
Em se tratando de sistemas para aquecimento solar de água, é possível dividir os sistemas em uso atualmente em três tipos, que se diferenciam devido ao modo de captação da energia solar, ou seja, devido aos seus coletores. O armazenamento da água aquecida se mantém igual para todos.

De acordo com Colle *et al.* (2005) o coletor solar é o componente mais importante do sistema de aquecimento solar, pois é ele o responsável pela conversão da energia solar em energia térmica, sendo a sua qualidade um dos fatores mais críticos para o bom funcionamento do sistema.

Segundo Comgás e Abrinstal (2011) os coletores são normalmente selecionados em função de sua aplicação, por meio de características específicas para o uso pretendido. Estes devem ser resistentes às condições exteriores (clima, intempéries) e eficientes na conversão de energia compatível com o uso. Os coletores podem ser de três tipos: os de placa plana com cobertura, os de placa plana sem cobertura e os coletores a vácuo.

Coletor placa com cobertura: Nos coletores planos o fluxo da radiação incidente (irradiância) é uniforme para toda a sua superfície coletora. São equipamentos destinados a aquecer a água a temperaturas compatíveis ao uso sanitário e outras aplicações. O coletor solar plano mostrado na Figura 42 é composto de cobertura transparente, placa absorvedora, isolamento térmico, caixa e tubulação do fluido (COMGÁS E ABRINSTAL, 2011).

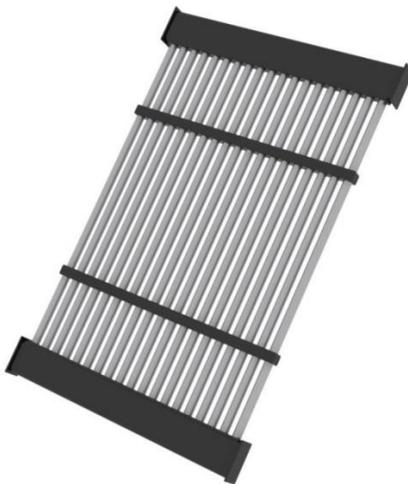
Figura 42 - Esquema de coletor plano.



Fonte: COMGÁS; ABRINSTAL, 2010.

Coletor placa sem cobertura: Permite a incidência dos raios solares diretamente na placa absorvedora. Não retém a radiação emitida pela placa absorvedora, uma vez que não possui cobertura em vidro e aquece a temperaturas mais baixas que a dos coletores com cobertura, por isso é mais adequado a aplicações que exigem temperaturas mais baixas, como o aquecimento de piscina e pode ser visto na Figura 43 (COMGÁS E ABRINSTAL, 2011).

Figura 43 - Esquema coletor plano sem cobertura.



Fonte: COMGÁS; ABRINSTAL, 2010.

Coletor a vácuo: Há situações onde se necessita de água a temperaturas mais elevadas, ou até mesmo vapor, como é o caso do uso em complexos hospitalares. Temperaturas maiores podem ser obtidas através da redução da perda térmica no coletor solar utilizando-se técnicas tais como: redução das perdas ópticas com coberturas específicas para essa finalidade, melhor absorção por meio de coletores de absorção seletiva e, redução das perdas por convecção no interior dos coletores por meio da criação de vácuo entre o absorvedor e a cobertura, sendo que esta última alternativa caracteriza o coletor a vácuo, visto na Figura 44 (COMGÁS E ABRINSTAL, 2011).

Figura 44 - Esquema coletor a vácuo.



Fonte: COMGÁS; ABRINSTAL, 2010.

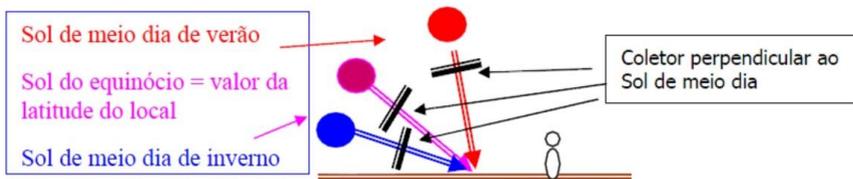
Conforme Krause e Medeiros (2005) o funcionamento do sistema de aquecimento solar depende fundamentalmente da qualidade das placas coletoras e do dimensionamento adequado da quantidade a ser utilizada. Quanto ao projeto do número de placas (ou da área) dependerá de cinco parâmetros, listados abaixo, dos quais alguns destes dependerão das decisões do arquiteto e estarão em função do terreno escolhido. São eles:

- Características do coletor escolhido: O rendimento deste varia de acordo com as especificações técnicas de cada fabricante;
- Latitude do local: Quanto mais próximo da linha do Equador, a energia solar incidente é maior, portanto menor será a área dos coletores;
- Inexistência de sombras projetadas: Evitar a sombra de árvores, construções vizinhas, caixa d'água superior, casa de elevadores, entre outros, principalmente no inverno;
- Orientação do coletor: A trajetória virtual do sol de leste a oeste permite que o coletor orientado a norte (no hemisfério sul) receba potencialmente o sol o dia inteiro, reduzindo a área de coleta, ou o número de placas, sendo que valores  $15^\circ$  NE ou  $15^\circ$  NO, não afetam significativamente a eficiência do sistema;

- Inclinação do coletor: O posicionamento ideal é colocando o coletor perpendicular à altura solar média do inverno ao meio dia, ou seja, a latitude do local, acrescida de  $15^\circ$ , para garantir o aquecimento de água no inverno.

Para aplicações de energia solar, é sempre mais conveniente observar a radiação sob um plano inclinado, com ângulo igual à latitude local. O melhor aproveitamento dos coletores em cada estação ocorre quando estes estão perpendiculares à altura do sol, ao meio dia (Figura 45).

Figura 45 - Alturas diferentes do sol ao meio dia do solstício de verão e otimização dos coletores por estação.



Fonte: KRAUSE; MEDEIROS, 2005.

De acordo com Comgás e Abrinstal (2010) diversas metodologias internacionais, recomendam que a inclinação dos coletores seja equivalente à latitude da região onde será instalado o sistema solar, acrescentando-se mais  $10^\circ$ . Na cidade de Florianópolis, localizada a latitude aproximada de  $27^\circ$ , recomenda-se a instalação dos coletores com  $37^\circ$  de inclinação. Há fontes que possuem informações adaptadas para cada região referentes à melhor inclinação, para o melhor aproveitamento da radiação solar incidente.

Segundo Colle *et al.* (2005) o fator de eficiência de um coletor é a razão entre a energia que é transmitida ao fluido em relação à energia que chega na aleta. A eficiência de uma placa coletora deve respeitar alguns fatores:

- Material usado nos tubos e nas aletas deve ter alta condutibilidade térmica;
- A largura e espessura da aleta e o diâmetro do tubo devem ter suas dimensões cuidadosamente estudadas para que o fator de remoção de calor da aleta seja alto e para que se use o mínimo de material no absorvedor;
- A junção entre a aleta e o tubo não deve gerar resistência de contato;

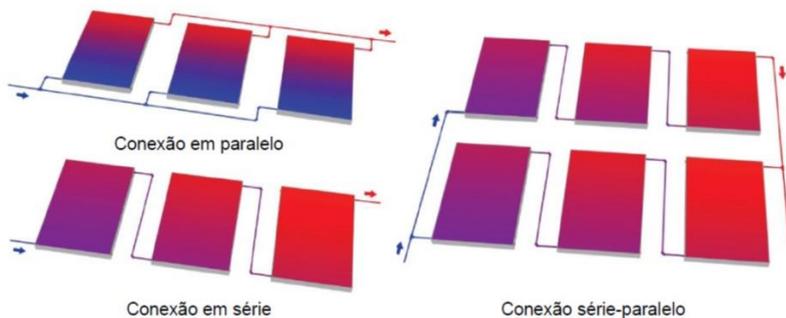
- A pintura do absorvedor deve ser de preferência seletiva, ou seja, deve absorver bem a energia solar e emitir pouca radiação térmica.

O mesmo autor afirma que o isolamento de um coletor solar deve garantir que a energia térmica absorvida seja transferida totalmente para o fluido de trabalho e não seja perdida pela caixa externa. O isolamento desta deve inibir as perdas pelas laterais do coletor e pelo fundo. Os materiais mais comuns empregados no isolamento de coletores solares são a lã de rocha, lã de vidro e poliuretano expandido, sendo que a capacidade do isolante depende também da sua densidade e espessura. É preciso considerar as perdas de calor pela cobertura de vidro, sendo necessário minimizá-las colocando o absorvedor a uma distância ideal da cobertura minimizando assim os efeitos da convecção dentro do gabinete (mecanismo de troca de calor entre absorvedor e vidro). Os coletores de tecnologia mais avançada que funcionam a temperaturas mais altas são evacuados na região entre a placa e a cobertura.

É importante prever na instalação um sistema anticongelamento para os dias muito frios, onde os coletores podem romper devido às baixas temperaturas, uma vez que se encontram externos à edificação. De acordo com Cabirol, Pelissou e Roux (1980), existem algumas soluções que podem ser adotadas, com o intuito de evitar estes problemas. A primeira delas é esvaziar o circuito nesses períodos; a segunda é utilizar um material que suporte bem às dilatações ocasionadas pelo congelamento no circuito, e a terceira é misturar um anticongelante no circuito, mas que tem como inconveniente deixar a água imprópria para o consumo humano. A solução para resolver este problema é a utilização de um trocador de calor, fazendo a água circular no coletor em um circuito fechado, com fluido anticongelante, passando por uma serpentina instalada no depósito de água quente, ou utilizando líquidos com baixo ponto de solidificação.

Conforme o manual Comgás e Abrinstal (2011) deve-se instalar os coletores solares interligando-os, conforme orientação do fabricante, verificando-se o sentido do fluxo da água e a configuração do sistema. Estes podem estar associados em paralelo, em série ou misto, conforme a Figura 46.

Figura 46 - Ligação dos coletores.



Fonte: COMGÁS; ABRINSTAL, 2010.

As ligações em série permitem que um determinado volume de água obtenha uma maior temperatura desta em função do maior tempo de percurso dentro dos coletores. Porém, temperaturas elevadas reduzem a eficiência de troca de calor entre a água e o coletor. Recomenda-se evitar muitos coletores ligados em série, combinando o sistema com fileiras de coletores em paralelo. Os critérios para a escolha da montagem dos coletores em série e paralelo são muito divergentes e variam conforme a referência utilizada, devido às diferenças das características específicas dos coletores solares ou dos sistemas de circulação adotados (características das bombas de circulação), sendo assim, necessária a consulta aos fabricantes de coletores solares para identificação da associação mais eficiente.

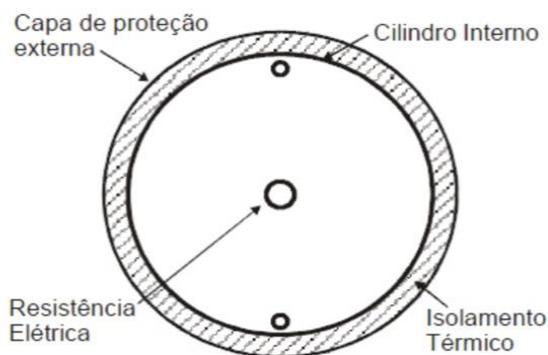
### 2.4.2 Armazenamento

O reservatório térmico ou boiler é o responsável pelo armazenamento da água aquecida pelos coletores solares. Seu volume precisa ser compatível com um dia de consumo de água e deve ser isolado termicamente para garantir que a água continue aquecida até que um novo ciclo de aquecimento pelo sol seja reiniciado. São equipados com resistências elétricas com acionamento automático por meio de um termostato ou ainda por meio de um controlador digital de temperatura (opcional) para os dias em que haja períodos de baixa radiação, baixas temperaturas

ambientes ou quando haja dias de consumo de água quente superiores ao projetado (SOLETROL, 2002).

Segundo Colle *et al.* (2005) os reservatórios térmicos possuem formato cilíndrico e em sua grande maioria são de aço carbono, com revestimento interno anticorrosivo (esmaltados). Podem possuir circulação direta e indireta do fluido de trabalho ou com serpentinas quando o fluido de trabalho não é o mesmo do consumo. Os reservatórios que utilizam fluidos anticongelantes são muito utilizados na Europa, em decorrência do clima frio. Os cilindros são constituídos de 3 partes: cilindro interno, isolante e capa de proteção (Figura 47 e 48).

Figura 47 - Detalhe do corte em reservatório térmico.



Fonte: COLLE *et al.*, 2005.

Figura 48 - Reservatório térmico.



Fonte: COLLE *et al.*, 2005.

- Cilindro interno – O cilindro interno ou tanque é o local onde a água é armazenada. Deve ser fabricado com material resistente à corrosão e resistir à pressão de trabalho do sistema. Os materiais utilizados na construção do cilindro interno, são: aço carbono com revestimento interno; aço inoxidável em suas diferentes ligas (AISI 304, 316L); cobre e termoplásticos de alta resistência.

- Isolante - O isolamento é o item mais importante para o bom funcionamento do reservatório térmico. Desse modo, o tipo e a espessura do isolamento utilizado devem ser analisados com cuidado. Os materiais mais utilizados como isolantes nos reservatórios são lã de vidro, lã de rocha e espuma de poliuretano expandido, sendo esta última a mais utilizada atualmente, já que possui boas características isolantes, grande rigidez estrutural e praticidade de aplicação.

- Capa de proteção - Serve para proteger o isolante do meio ambiente, garantindo sua integridade durante a vida útil do equipamento. A capa externa pode ter também função estrutural, pois se for constituída de material rígido auxiliará para manter a rigidez do conjunto.

O reservatório térmico pode ser alimentado por baixa ou alta pressão. Para Basso (2008), a alimentação do boiler com água fria, por baixa pressão, pode ser com uma ou mais caixas d'água que não necessitam ser exclusivas e que devem estar com suas bases acima

da parte superior do reservatório térmico, pelo menos 20 cm, sendo que a base deste deve estar pelo menos 10 centímetros acima da parte superior dos coletores. A altura das caixas d'água não deve ultrapassar a pressão máxima de trabalho do reservatório de 5mca. A tubulação de alimentação deve ser exclusiva, ter registro de gaveta e fazer um sifão de no mínimo 50 cm acima da sua parte mais baixa e próxima ao reservatório térmico, para que a água quente não retorne para a tubulação de alimentação. A tubulação de alimentação deve possuir registro de gaveta e uma queda mínima de 3% e deverá estar sempre subindo a partir deste ponto, com inclinação mínima de 3%. Já na alimentação do boiler com água fria, por alta pressão, a máxima de trabalho é de 40 mca. Deve possuir o sifão de 50 cm, igualmente ao do alimentado por baixa pressão. Antes do sifão, deve-se fazer um cavalete passando, no mínimo 30 cm acima do nível superior do reservatório térmico, onde haverá uma conexão em tê com sua boca central virada para cima. Nesta conexão, são ligadas uma válvula ventosa, uma válvula de retenção vertical ou uma válvula quebra-vácuo e uma válvula de alívio de pressão, jogando as descargas para fora do telhado. Antes do cavalete, deve-se colocar registro de gaveta. Deverá ser feito um respiro na saída para o consumo, como no sistema de baixa pressão e válvula ventosa, válvula de retenção vertical ou válvula quebra vácuo e registro de gaveta para entrada de ar, durante a drenagem do equipamento (BASSO, 2008).

Os reservatórios podem ser do tipo “sem trocador”, com trocador do tipo “serpentina interna” e com trocador do tipo “camisa”. No reservatório sem trocador a água de consumo é a mesma que passa pelo sistema de aquecimento, com exceção de quando são utilizados trocadores externos aos reservatórios. O reservatório com serpentina e o reservatório com camisa são sistemas de troca de calor do tipo indireto, onde a água quente que circula pela serpentina, ou pela camisa externa, troca calor por condução com a água destinada ao consumo (COMGÁS; ABRINSTAL , 2011) .

Na parte interna dos reservatórios térmicos, localizam-se uma ou mais resistências elétricas que são ligadas a um termostato para garantir o aquecimento de água mesmo nos dias em que as condições de radiação solar são desfavoráveis ou ainda utiliza-se sistemas de aquecimento auxiliar, como aquecedores de passagem a gás, que ficam acoplados ao Boiler.

De acordo com (ABNT,1993) os aquecedores, reservatórios de água quente e as tubulações devem ser projetados e executados de modo a racionalizar o consumo. O projetista deve considerar as perdas de calor nas instalações, de acordo com os materiais

utilizados, as técnicas de isolamento térmico recomendadas, para a temperatura da água com a qual a instalação deve funcionar corretamente.

Para Krause e Medeiros (2005) quando existe a possibilidade de se optar por telhados com bastante pé direito, o boiler vertical é ainda mais eficiente que o mesmo boiler colocado na horizontal.

### 2.4.3 Funcionamento

As instalações de aquecimento solar segundo Mesa Solar (2013), são classificadas como *circulação normal ou termossifão* e *circulação forçada*, onde a escolha entre uma ou outra está ligada ao volume diário de água a ser aquecida. A Tabela 14, mostra a classificação das instalações:

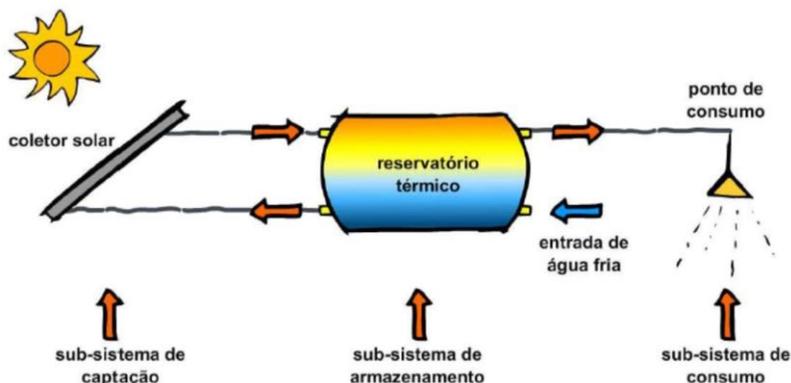
Tabela 14 - Classificação de uma instalação de aquecimento solar conforme seu volume.

<b>Instalação</b>	<b>Volume diário</b>	<b>Tipo</b>
Pequeno porte	$V < 1500$ litros	Termossifão
Médio porte	$1500 < V < 5000$ litros	Circ. forçada
Grande porte	$V > 5000$ litros	Circ. forçada

Extraída de MESA SOLAR, 2013.

A Figura 49 mostra que na circulação natural, há uma diferença de densidade entre a água fria e a água quente que ocasiona uma movimentação. É considerado um sistema simples, de pouca manutenção e muito confiável. A aplicação deste tipo de circulação é indicada para instalações residenciais e pequenas instalações comerciais e industriais. As vantagens são: não consumir energia para promover a circulação da água, e dispensar, quase que totalmente qualquer tipo de manutenção, ficando mais restrita à limpeza dos vidros (SOLETROL, 2002).

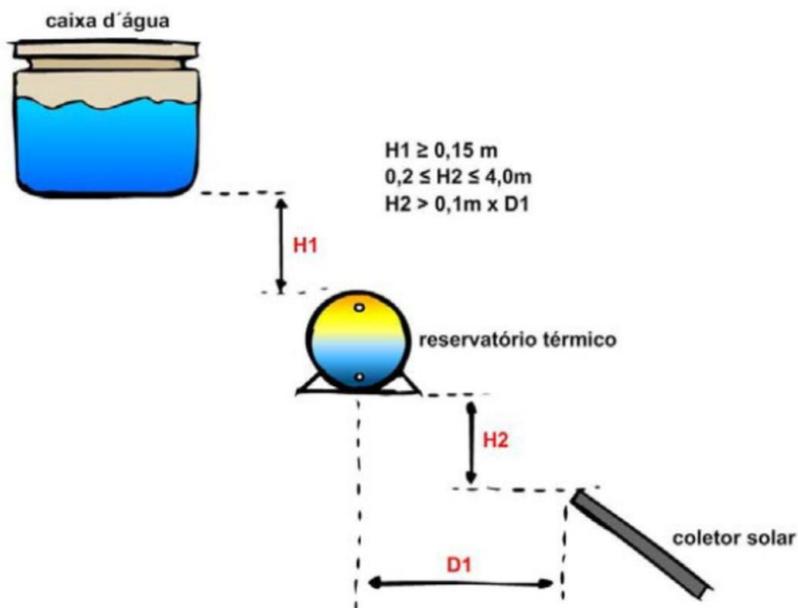
Figura 49 - Esquema de funcionamento do sistema.



Fonte: MESASOLAR, 2013.

Atualmente, no Brasil, grande parte dos sistemas de aquecimento solar em funcionamento são residenciais, de pequeno porte e operam por circulação natural (termossifão). Para a alocação dos coletores solares no telhado deve-se observar a disposição dos reservatórios de água quente e fria (Figura 50). Nesse caso, a circulação da água nos tubos de distribuição dos coletores é promovida apenas pela diminuição de sua densidade devido ao aquecimento da água nos coletores solares, efeito conhecido como *termossifão* (MESA SOLAR, 2013).

Figura 50 - Esquema simplificado de montagem do termossifão (sistema de circulação natural).



Fonte: MESA SOLAR, 2013.

Segundo Mesa Solar (2013) algumas observações devem ser feitas para garantir o correto funcionamento do sistema em termossifão. A primeira observação é em relação à perda de carga no sistema, uma vez que a força motriz deste é pequena. Se deseja-se um fluxo de água adequado durante um dia normal e operação do sistema, não se pode usar tubos de diâmetro muito pequeno, nem trechos de tubulações muito longos e/ou com excessos de curvas e conexões. Normalmente usa-se tubos de 22 mm (3/4") em instalações de até 8m<sup>2</sup> e 28mm para instalações acima disso, até um limite de 12m<sup>2</sup>. A segunda observação é em relação aos sifões e acúmulo de ar na tubulação, pois além de não poder ter um comprimento equivalente muito alto, o termossifão também não pode ter pontos onde ar e/ou vapor de água podem ficar presos, pois o sistema não tem força para empurrar bolhas, que podem crescer a ponto de interromper a circulação dentro dos tubos. Mesmo que não haja entrada de ar diretamente no sistema, sempre haverá acúmulo nesses pontos, pois a própria água possui um pouco de ar dissolvido.

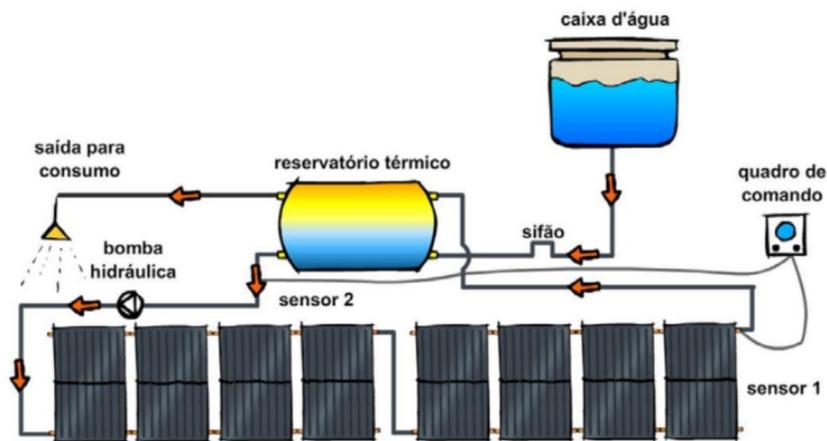
Ou seja, a própria água “traz” ar para esses pontos de sifonamento. Teoricamente, se houver um respiro ou eliminador de ar nesse ponto, a instalação pode operar sem problemas, mesmo com o ponto de sifonamento, porque o ar não ficaria retido. A última observação diz respeito à distância topo/fundo, entre caixa d’água e reservatório térmico. Essa distância ajuda na circulação do sistema e quanto maior seu comprimento, maior será o comprimento das colunas de água quente e água fria. Quanto maior as colunas, maior a força gerada na circulação do termossifão. Entretanto, quanto maior for essa distância, maior será também a perda de calor, uma vez que será mais longo o caminho que a água deverá percorrer e ainda a instalação ficará mais cara, pela maior quantidade de tubos usados. A distância topo/fundo também auxilia no combate da circulação inversa, que é a circulação de água pelos coletores no período noturno e que leva ao resfriamento da água. Quando os coletores esfriam à noite, também esfria a água contida no seu interior. A água mais fria provoca um diferencial de pressão no sentido inverso, provocando uma circulação no sentido contrário e que resulta, em última instância, no resfriamento da água que estava no reservatório. Ainda é necessário ressaltar que o isolamento das tubulações não apenas evita as perdas de calor como também ajuda na circulação do termossifão e sem, na medida em que o calor é perdido na tubulação de retorno dos coletores para o reservatório térmico, a água fica mais densa e diminui a diferença de pressão entre a coluna fria e a coluna quente, o que prejudica a circulação.

Na circulação forçada ou sistema bombeado a circulação ocorre através de uma moto-bomba hidráulica, colocada entre o reservatório térmico e os coletores. É um sistema indicado para médias e grandes instalações, onde uma manutenção periódica em função dos sistemas elétricos e do desgaste de peças pelo movimento constante é necessária (SOLETROL, 2002).

Este tipo de sistema possui como vantagens em relação ao termossifão o maior rendimento e o aspecto estético, devido à versatilidade de instalação (embora a utilização de bomba seja um gasto adicional de energia). O reservatório térmico é instalado dentro da edificação, separado dos coletores, resultando em perdas térmicas muito menores, sobretudo no inverno, e não fica visível do exterior (THERMOSOLAR, 2013).

Este sistema tem como desvantagens a necessidade de um espaço no interior da edificação, o preço mais elevado e a maior quantidade de equipamentos, necessitando de mais manutenção e maior probabilidade de danos. A Figura 51 mostra o esquema de instalação em circulação forçada.

Figura 51 - Instalação em circulação forçada.



Fonte: MESA SOLAR, 2013.

#### 2.4.4 Dimensionamento

De acordo com Abrava (2008) o dimensionamento adequado de um sistema de aquecimento solar (SAS) não é uma tarefa simples, exigindo o conhecimento prévio dos hábitos de consumo de água quente pelos usuários finais, com base em uma análise criteriosa do tipo da construção que receberá os coletores solares, disponibilidade de radiação solar nas condições específicas da obra, fatores climáticos locais e desempenho térmico dos produtos, dentre outros. O dimensionamento correto de uma instalação de aquecimento solar depende de quatro fatores: condições climáticas locais, hábitos de consumo dos usuários, vazão de água quente dos equipamentos definidos e temperatura da água aquecida.

O valor recomendado normalmente para o volume do reservatório térmico em um sistema de aquecimento solar, segundo ABNT (2008) é 75% do volume de água quente consumido diariamente. A fração solar é a relação entre a energia fornecida pelo sistema de aquecimento solar e a energia total gasta com aquecimento, ou seja, é a fração economizada de energia. A quantidade de placas coletoras estará diretamente ligada à fração solar desejada para o sistema. Porém aspectos relativos à disponibilidade de irradiação solar, posicionamento das placas, configuração de montagem, curva de eficiência e dimensões das

placas utilizadas modificarão a fração solar obtida para um mesmo caso.

#### 2.4.4.1 Considerações sobre o consumo de água quente.

O perfil de consumo de água quente é a variável principal na determinação do volume de água a ser aquecido. Este consumo se modifica de acordo com os hábitos das pessoas, classe social, estação do ano e uso final.

Para auxiliar no dimensionamento da demanda de água quente é necessário consultar as Normas Brasileiras de Instalação Predial de Água Quente NBR 128 e sua substituta NBR 7198, pois a segunda não contém estimativas sobre o consumo de água quente. É importante lembrar que os valores contidos na norma, necessitam ser avaliados criticamente em função do nível sócio econômico da família e seus hábitos atuais (ABRAVA, 2008).

A Tabela 15 mostra os valores de consumo médio diário estimado pela NB 128 - Instalações prediais de água quente (ABNT,1963).

Tabela 15 - Consumo médio estimado de água quente.

<b>Locais de consumo</b>	<b>Consumo diário</b>
Alojamento provisório de obra	24 Litros por indivíduo
Casa popular ou rural	36 Litros por indivíduo
Residência	45 Litros por indivíduo
Apartamento	60 Litros por indivíduo
Quartel	45 Litros por indivíduo
Escola (internato)	45 Litros por indivíduo
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36 Litros por indivíduo
Hospital	125 Litros por leito
Restaurantes e similares	12 Litros por refeição
Lavanderia	15 Litros por Kg de roupa seca

Extraída de (ABNT,1963).

As temperaturas usuais da água em função dos fins a que se destinam, estão expressas na Tabela 16, segundo Creder (2006):

Tabela 16 - Temperaturas usuais de água quente.

<b>Ponto de consumo</b>	<b>Temperatura</b>
Uso pessoal em banhos ou higiene	35° C a 50°C
Cozinhas (dissolução de gorduras)	60° C a 70° C
Lavanderias	75°C a 85°C
Finalidades médicas (esterilização)	100°C

Extraída de CREDER, 2006.

De acordo com NBR 7198 (ABNT,1993) é obrigatória instalação de misturadores se houver a possibilidade de a água fornecida ao ponto de utilização para uso humano ultrapassar os 40° C. Na instalação de misturadores deve ser evitada a possibilidade de inversão de água quente no sistema frio, ou vice-versa, em situações normais de utilização.

Segundo ABRAVA (2008) a forma de dimensionamento mais adequada pode ser desenvolvida com base na vazão e capacidade dos equipamentos de uso final, além do tempo e frequência de sua utilização. A ABNT (2008) recomenda que os valores de consumo sejam obtidos diretamente com os fabricantes das peças e que o padrão de utilização seja avaliado em função das condições específicas de cada instalação. A Tabela 17 mostra valores de referências de consumo baseadas no uso racional da água.

Tabela 17 - Consumo de pontos de utilização de água quente.

Peças	Consumo mín.	Consumo máx.	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15 L/min	10	39 - 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 - 40
Pia cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 - 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	Ciclo de lavagem	39 - 50
Lava-roupas	90 L	200 L	Ciclo de lavagem	39 - 40

Extraída de (ABNT, 2008).

2.4.4.2 Dimensionamento segundo NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto (ABNT, 2008).

O dimensionamento será baseado na metodologia de cálculo 2, em 4 etapas e que é recomendada para o sistema de aquecimento solar (SAS) em residências unifamiliares atendendo aos critérios estabelecidos na norma. Este método considera uma fração solar de 70% e desconsidera a existência de sombreamento nos coletores.

- Etapa 1

Apurar o volume de consumo para o atendimento dos vários pontos de utilização, de acordo com a Expressão (4), levando-se em consideração a vazão das peças de utilização conforme a Tabela 17, e o tempo de utilização, considerando a frequência de uso:

$$V \text{ consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$$

(4)

Onde:

$V_{consumo}$  é o volume total de água quente consumido diariamente expresso em metros cúbicos ( $m^3$ );

$Q_{pu}$  é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ );

$T_u$  é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

*Frequência de uso* é o número total de utilizações da peça por dia.

- Etapa 2

Calcular o volume do sistema de armazenamento por meio da Expressão (5):

$$V_{armazenamento} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armazenamento} - T_{ambiente})} \quad (5)$$

Onde:

$V_{armazenamento}$  é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos ( $m^3$ ) (sugere-se que  $V_{armaz.} \geq 75\% V_{consumo}$ );

$V_{consumo}$  é o volume total de água quente consumido diariamente expresso em metros cúbicos ( $m^3$ );

$T_{consumo}$  é a temperatura de consumo de utilização, expressa em grau Celsius ( $^{\circ}C$ ) (sugere-se que seja adotado  $40^{\circ}C$ );

$T_{armazenamento}$  é a temperatura de armazenamento da água, expressa em grau Celsius ( $^{\circ}C$ ) (sugere-se que  $T_{armaz.} \geq T_{consumo}$ );

$T_{ambiente}$  é a temperatura ambiente média anual do local de instalação.

NOTA: Para valores de  $T_{armazenamento}$  acima de  $60^{\circ}C$ , sugere-se que seja investigada a característica de eficiência do coletor solar.

- Etapa 3

Calcular a demanda de energia útil, de acordo com a Expressão (6):

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armazenamento} \times \rho \times C_p \times (T_{armazenamento} - T_{ambiente})}{3600} \quad (6)$$

Onde:

$E_{\text{útil}}$  é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (KWh/dia);

$V_{armazenamento}$  é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos ( $m^3$ ) (sugere-se que  $V_{armaz.} \geq 75\% V_{consumo}$ );

$\rho$  é a massa específica da água igual a 1000, expressa em quilogramas por metros cúbicos ( $kg/m^3$ );

$C_p$  é o calor específico da água, igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma Kelvin (KJ/KK);

$T_{armazenamento}$  é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}C$ ) (sugere-se que  $T_{armaz.} \geq T_{consumo}$ );

$T_{ambiente}$  é a temperatura ambiente média anual do local de instalação.

- Etapa 4

Calcular a área coletora por meio da Expressão (7):

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times IG} \quad (7)$$

Onde:

$A_{coletora}$  é a área coletora, expressa em metros quadrados ( $m^2$ );

$IG$  é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia ( $KWh/m^2.dia$ );

$E_{\text{útil}}$  é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia ( $KWh/dia$ );

$E_{\text{perdas}}$  é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia ( $KWh/dia$ ), calculada pela soma das perdas ou pela Expressão (8):

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (8)$$

$PMDEE$  é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado ( $KWh/m^2$ ), calculada através da Expressão (9):

$$PMDEE = 4,901 \times (Frr\alpha - 0,0249 \times FrUL) \quad (9)$$

Onde:

$Frr\alpha$  é o coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);

$FrUL$  é o coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional);

$FC_{\text{instal}}$  é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar dado pela Expressão (10):

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (10)$$

( para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$  )

Onde:

$\beta$  é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ( $^\circ$ );

$\beta_{ótimo}$  é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ( $^\circ$ ) ( sugere-se que seja adotado o valor de módulo da latitude local +  $10^\circ$ );

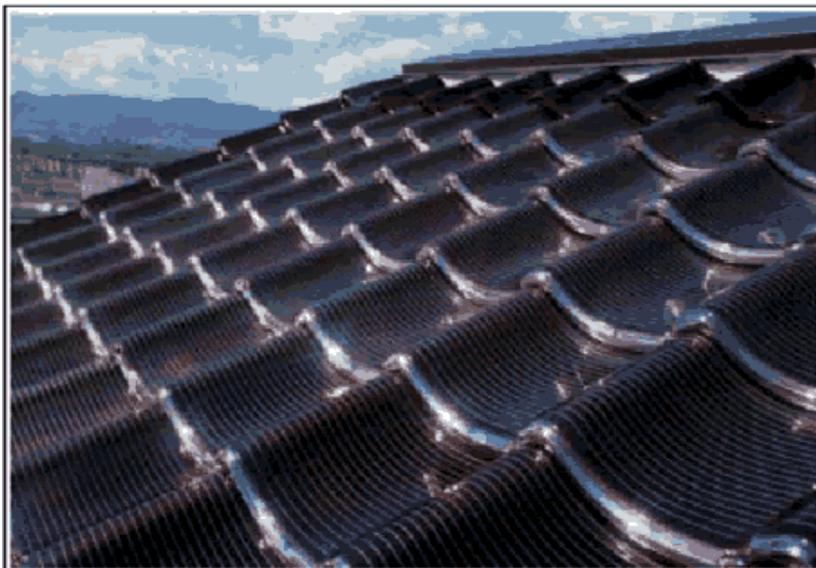
$\gamma$  é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus ( $^\circ$ ).

## 2.4.5 Alguns exemplos de integração arquitetônica de sistemas de captação solar

### 2.4.5.1 Sistema de captação solar fotovoltaico

De acordo com Rüther (2004) as tecnologias necessárias para incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional, do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil já são bem estabelecidas. A conexão elétrica dos painéis à rede e os dispositivos periféricos necessários à interconexão são comercialmente disponíveis no mercado, que oferece todos estes periféricos para qualquer tipo de configuração ou porte de instalação. O mesmo autor afirma que os painéis solares fotovoltaicos são inerentemente mais versáteis do que outros tipos de coletores solares para aquecimento de ar ou água, uma vez que fios e cabos elétricos são mais simples de instalar do que uma tubulação. A possibilidade de seu uso como material de construção está ligada a este fato, bem como, ao potencial baixo custo com a vantagem adicional de ser um gerador elétrico. Painéis solares de filmes finos fabricados sobre um substrato de vidro é basicamente o mesmo produto que painéis de vidro revestidos por películas que são comumente utilizados na construção civil. Em um curto prazo, existe a expectativa de que se produzidos em grande escala os custos venham a declinar de forma acentuada. As Figuras 52 e 53 exemplificam as diferentes formas de integração deste sistema com a arquitetura.

Figura 52 - Módulos solares fotovoltaicos diretamente sobre telhas de vidro curvas que substituem telhas convencionais em um sistema residencial descentralizado que produz energia elétrica junto ao ponto de consumo e sem ocupar área adicional.



Fonte: SANYO SOLAR INDUSTRIES apud RÜTHER, 2004.

Figura 53 - Painéis solares semitransparentes podem ser integrados a janelas em edificações urbanas, possibilitando ao mesmo tempo a entrada de luz natural e gerando energia elétrica para o consumo residencial, comercial ou industrial.



Fonte: SANYO SOLAR INDUSTRIES apud RÜTHER, 2004.

Para Ecoconstruct (2014) há usos bastante audaciosos do sistema de captação fotovoltaico que não apenas painéis instalados sobre o telhado de uma casa, como pode ser visto nas imagens da Figura 54.

Figura 54 - 01. Solar Power Office Complex / 02. Ponte Blackfriars / 03. Sanyo Solar Arc / 04. Estádio de Kaohsiung (Taiwan).



Fonte: ECOCONSTRUCT, 2014.

Solar Powered Office Complex - Maior edifício comercial alimentado por energia solar no mundo está localizado em Dezhou, província de Shandong, noroeste da China. O edifício possui 75 mil metros quadrados de área e abriga um hotel, centros de exposição, laboratórios de pesquisa e desenvolvimento científicos e espaçosas salas para reunião e treinamento. Sua cobertura é composta de painéis solares de 5 mil metros quadrados, onde 95% de suas necessidades energéticas são supridas por meio dessa fonte renovável. A cor branca da fachada ajuda a refletir a luz do sol, reduzindo o calor, assim como tem a intenção de simbolizar energia limpa.

Ponte Blackfriars - Construída na era do vapor, em 1886, a ponte de Blackfriars, sobre o rio Tâmesa, em Londres, é atualmente a maior ponte solar do mundo. A estrutura vitoriana é uma estação de trem movida pela energia gerada por de 4.400 painéis fotovoltaicos. São seis mil metros quadrados de teto solar, capaz de produzir 900 mil kWh anualmente. Metade da energia necessária para a

movimentação dos trens é suprida pela geração alternativa, o que evita a emissão de 511 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Sanyo Solar Arc - Estrutura em forma de asa abriga desde 2002 o Museu da Energia Solar, Sanyo Solar Ark, possui 315 metros de largura e 37 m de altura e localiza-se na Província de Gifu, centro do Japão. Este edifício possui 5 mil painéis solares e produz mais de 500 mil kWh de energia por ano. A fachada que também abriga centro de pesquisa em tecnologia solar da Sanyo é coberta por lâmpadas leds, que se iluminam à noite.

Estádio de Kaohsiung, em Taiwan - Primeiro estádio do mundo 100% movido a energia solar. Cobertura composta por 8.844 placas solares, que fornecem energia suficiente para as 3,3 mil lâmpadas que iluminam o estádio e mais dois telões gigantes que transmitem os jogos, evitando a emissão de 660 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera anualmente. Foi construído em formato de ferradura de cavalo pela Toyo Ito (empresa japonesa de arquitetura), para sedear os Jogos Mundiais de 2009, com capacidade para 55 mil pessoas.

#### 2.4.5.2. Sistema de captação solar para aquecimento de água

As soluções na área de aquecimento de água por energia solar não se encontram no mesmo patamar de desenvolvimento do sistema fotovoltaico no que diz respeito à integração arquitetônica, sendo raro encontrar bons exemplos de utilização do mesmo.

Em Laughton (2010), encontram-se algumas tentativas de integração com o sistema de aquecimento por tubo de vácuo, onde foram propostas inserções, conforme mostram as Figuras 55 e 56.

Figura 55 - Tubo de vácuo utilizado como guarda corpo em sacada.



Fonte: LAUGHTON, 2010.

Figura 56 - Tubo de vácuo utilizado para composição em fachada e como quebra sol.



Fonte: LAUGHTON, 2010.

O aquecedor de tubo de vácuo permite certa liberdade de composição devido ao formato dos tubos, pois dependendo da maneira como são dispostos lembram elementos utilizados na arquitetura, como as linhas de um guarda corpo ou um quebra sol para controle de entrada de iluminação nas aberturas. Já os coletores formados por placas, podem assumir o papel de coberturas devido à sua forma plana.

As Figuras 57 e 58 mostram outras tentativas de incorporar os coletores planos de maneira harmônica com a edificação. Na Figura 57 tanto os módulos fotovoltaicos, quanto os para aquecimento de água, foram levados em conta desde a fase de projeto e organizados de maneira bastante criativa. O resultado foi um conjunto harmônico entre planos de telhado e módulos, com a tecnologia passando de forma discreta, dando a impressão de que o plano formado por esta é parte de algum elemento do próprio telhado. Na Figura 58 subentende-se que os limites da residência foram projetados de acordo com as dimensões dos módulos (ou vice e versa) onde estes fazem o próprio papel de cobertura e neste caso, os coletores solares como são em menor número na edificação, foram utilizados para demarcar a parte do telhado localizado sobre a porta de acesso, ficando os fotovoltaicos responsáveis por cobrir o restante da edificação.

Figura 57 - Coletores solares para aquecimento de água, inseridos entre módulos fotovoltaicos.



Fonte: CONSTRUINDO MINHA CASA CLEAN, 2013.

Figura 58 - Coletores solares fotovoltaicos e para aquecimento de água servindo como cobertura em uma residência.



Fonte: LEROY MERLIN, 2013.

As imagens que compõem a Figura 59, exemplificam como são inseridos os sistemas de aquecimento de água atualmente nas edificações. O mais comum é os encontrá-los dispostos nos telhados ou terraços apenas com o critério de melhor posicionamento em relação ao norte sem comprometimento entre tecnologia e arquitetura.

Figura 59 - Aquecedores solares sobre telhados de forma convencional.



Fonte: SUNFLOWER, 2014; VIDA SOLAR, 2014; LAUGHTON, 2010; FOLHA DE CAMPO LARGO, 2014.

Ainda há um vasto campo de investigação no quesito integração de módulos solares para aquecimento de água em edificações e isto não exclui os conceitos de otimização de instalações e de perpetuação da tecnologia, vistos anteriormente. É possível que muitas das soluções a serem exploradas os hierarquizem de maneira diferente, mas é importante trabalhá-los conjuntamente para que consiga-se atingir uma forma sustentável de

inserção de novos produtos na construção civil e que também agreguem valor à boa arquitetura.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 EXPERIMENTO PARA AVALIAR A VIABILIDADE TÉCNICA

Antes da pesquisa ser iniciada de fato, foi elaborado um protótipo sem compromisso de utilizar os dados adquiridos, mas de verificar a aplicabilidade dos conceitos utilizados por Azambuja (2008).

Foram feitas algumas medições de temperatura da água quando exposta ao sol em uma caixa confeccionada com dimensões menores das que foram definidas no trabalho e com materiais semelhantes aos que se pretendia utilizar na proposta, por estes estarem disponíveis no laboratório ou serem de execução rápida, nos auxiliando no ganho de tempo sem despender de muitos recursos financeiros. Foram executados dois testes, com medições em dias diferentes devido algumas particularidades ocorridas durante o processo.

Os testes e seus resultados são descritos a seguir.

- Primeiro teste no protótipo

A intenção desta etapa foi a de verificar como se comportaria o aquecimento passivo da água quando exposta ao sol, possibilitando um direcionamento em relação à pesquisa quanto às dificuldades, erros e acertos, que se viessem se apresentar ao longo do caminho, caso o protótipo fosse construído. Constituiu-se de uma caixa de MDF de 18mm, com dimensões de largura, comprimento e altura, respectivamente de 30cm, 60 cm e 15 cm, pintada de preto internamente e impermeabilizada com um produto utilizado em vedação de caixas d'água (Figura 60). A capacidade da caixa em volume na parte interna era de aproximadamente 20 litros, levando-se em consideração suas medidas internas de L 26,4 cm C 56cm e H13,3 cm, conforme a Expressão (11):

$$V = 26,4\text{cm} \times 56,4\text{cm} \times 13,3\text{cm}$$

$$V = 19803,168 \text{ cm}^3 (\div 1000)$$

$$\mathbf{V = 19,80 \text{ Litros}}$$

(11)

Porém, foi preenchida com apenas 13 litros de água, pois havia o receio de que a pressão da mesma empurrasse o vidro e

pudesse ocasionar o descolamento deste. Foram deixados dois furos de aproximadamente 10 mm em um dos lados maiores da caixa, para possibilitar a passagem do fio do multímetro, com a finalidade de realizar as medições e também para que se pudesse colocar a mangueira para enchê-la com a água. Este primeiro protótipo era realmente bem simples e não continha as aletas. A ideia de se fazer uma caixa de madeira foi com o objetivo de agilizar o processo e também para se isolar a água de perdas térmicas. Finalmente, a caixa foi vedada com uma chapa de vidro liso comum de 4 mm, fixado nas bordas desta, com silicone (Figura 61). Com a caixa finalizada, foi exposta ao sol sendo depositada em um cavalete de madeira, com a inclinação igual à da latitude da cidade de Florianópolis, que é de 27°.

Figura 60 - Caixa do protótipo já impermeabilizada, recebendo pintura preta na parte interna.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 61 - Caixa finalizada, com fechamento superior em vidro fixo por silicone.



Fonte: Elaborada pela autora.

- Medições e conclusões

As medições desta primeira etapa ocorreram no período do inverno, no dia 24 de setembro de 2012, onde neste dia os termômetros não passaram da casa dos 25° e a mínima registrada foi de 15,9°. A insolação total diária foi de 9:40 horas, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Figuras 3 e 4 mostram o cavalete com a caixa de madeira foi colocado no estacionamento do prédio da Engenharia Civil, em uma área não idealmente ensolarada, com muitos obstáculos altos em sua volta, como edifícios, árvores, carros e alteração da luminosidade, uma vez que o dia apresentava condição de sol entre nuvens. Foi posicionado centralizando-se a caixa de madeira sob o sol no dia anterior à medição, tomando como base a posição deste no horário do meio dia.

Figura 62 - Caixa do protótipo sobre cavalete com inclinação 27°, exposto no estacionamento do prédio da Engenharia Civil da UFSC.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 63 - Detalhe da caixa do protótipo com água e fio do multímetro na parte interna.



Fonte: Elaborada pela autora.

A primeira medição foi feita com a água antes de ser exposta ao sol colocada em um balde de plástico, onde a temperatura inicial desta acusava 21°. Foi posta dentro da caixa e assim, as medições começaram a ser feitas com o multímetro da Figura 5 as 8:45 horas, sendo coletadas de hora em hora, onde foram obtidos os valores de temperatura expressos na Tabela 18.

Tabela 18 - Variação das temperaturas da primeira medição.

Dia 24/09/2012	
Tempo (h:min)	Temperatura (C°)
8:45	21°
9:45	22°
10:45	24°
11:45	26°
12:45	25°
13:45	25°
14:45	24°
15:45	23°
16:45	22°
17:45	21°

Fonte: Elaborada pela autora.

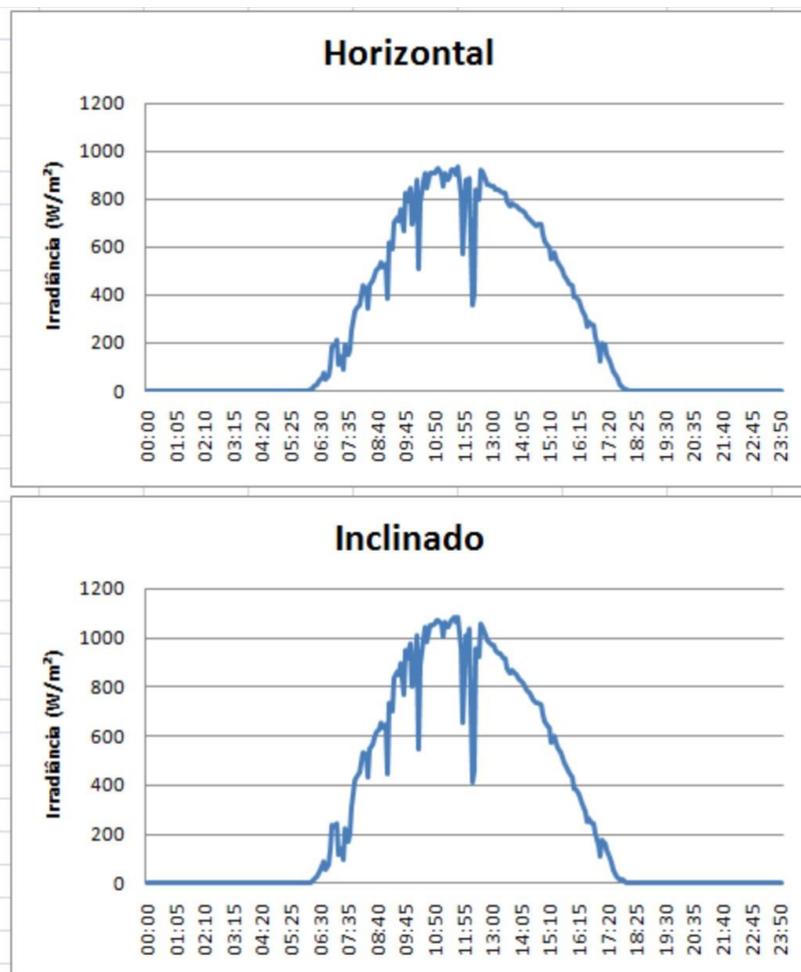
Figura 64 - Multímetro marcando a temperatura as 12:45 do dia 24/09/2012.



Fonte: Elaborada pela autora.

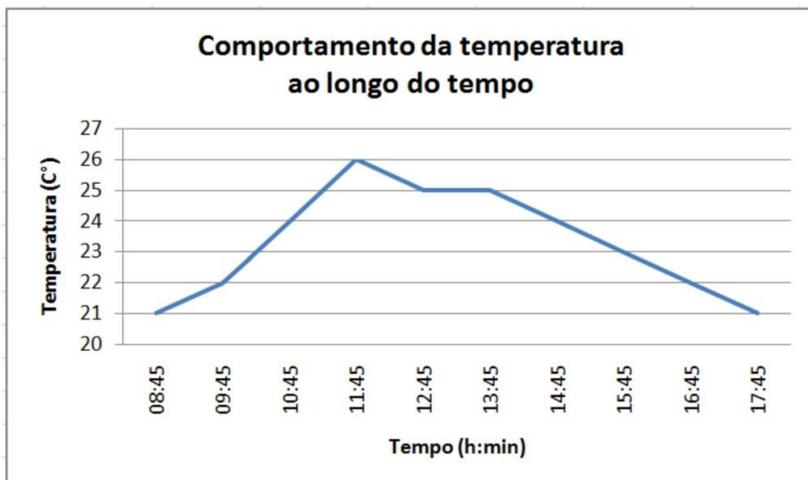
As médias de irradiação no plano horizontal e inclinado neste dia, segundo dados da estação solarimétrica do LABSOLAR, foram de 6,347 KWh/m<sup>2</sup> e 7,138 KWh/m<sup>2</sup> nos planos horizontal e inclinado respectivamente. Abaixo os gráficos das Figuras 65 e 66 mostrando a variação dos valores de irradiância solar nos planos horizontal e inclinado em W/m<sup>2</sup>.

Figura 65 - Irradiância nos planos horizontal e inclinado em 24/09/2012.



Fonte: LABSOLAR, 2013.

Figura 66 - Variação da temperatura ao longo do dia 24/09/2012.



Fonte: Elaborada pela autora.

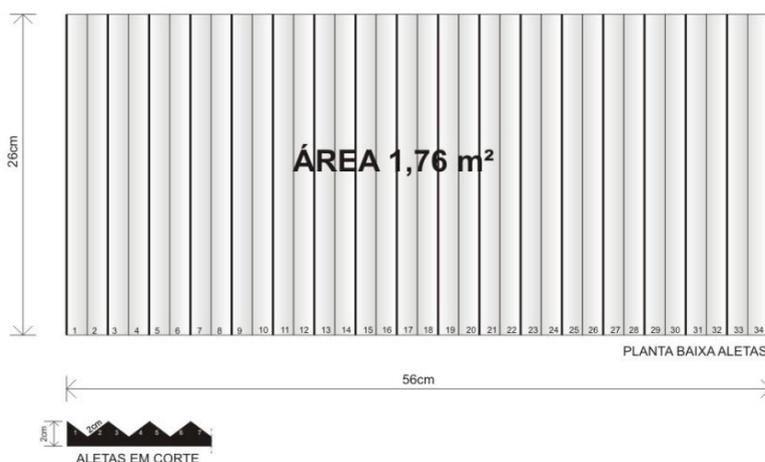
A conclusão por meio dos dados obtidos nesta primeira medição, é que mesmo longe das condições ideais como exemplo, expor a caixa em um terraço ou sobre um telhado com bastante incidência de sol e livre de obstáculos e sombreamentos e embora os valores da irradiância tenham variado bastante durante o dia, conseguiu-se um aquecimento de 5 graus da água. É preciso mencionar ainda, que quando a caixa ficou inclinada no cavalete, observou-se um pequeno vazamento ao longo do tempo na parte inferior, devido às juntas não estarem bem vedadas. Mesmo assim, acreditou-se no sucesso do protótipo se fosse executado e localizado de maneira correta.

- Segundo teste no protótipo

O segundo teste consistiu em melhorar o protótipo, deixando-o mais parecido com os princípios do desenho base e colocando-o sob uma condição de insolação mais adequada do que da primeira vez. Utilizou-se a mesma caixa já preparada internamente com o impermeabilizante e com a pintura preta, apenas aplicando-se desta vez o silicone para madeiras, em todas as juntas internas da mesma para garantir a estanqueidade, uma vez que foi observado um pequeno vazamento na primeira caixa nas juntas que ficavam na parte inferior desta, quando inclinada. Desta vez, foram colocadas as aletas, as quais foram confeccionadas em argamassa constituída de cimento, cal e areia, por ser um material que estava disponível no

laboratório. A forma triangular (em corte) foi conseguida por meio de um molde de acetato encaixado em uma fôrma de mdf de 6 mm, que recebeu a argamassa. Receberam pintura em tinta acrílica fosca para pisos, na cor preta, igualmente a que foi utilizada na parte interna da caixa. A área livre exposta à insolação foi de  $1,76\text{m}^2$ , referentes ao total de lados dos triângulos que compõem as aletas, conforme mostra a Figura 67 esquemática.

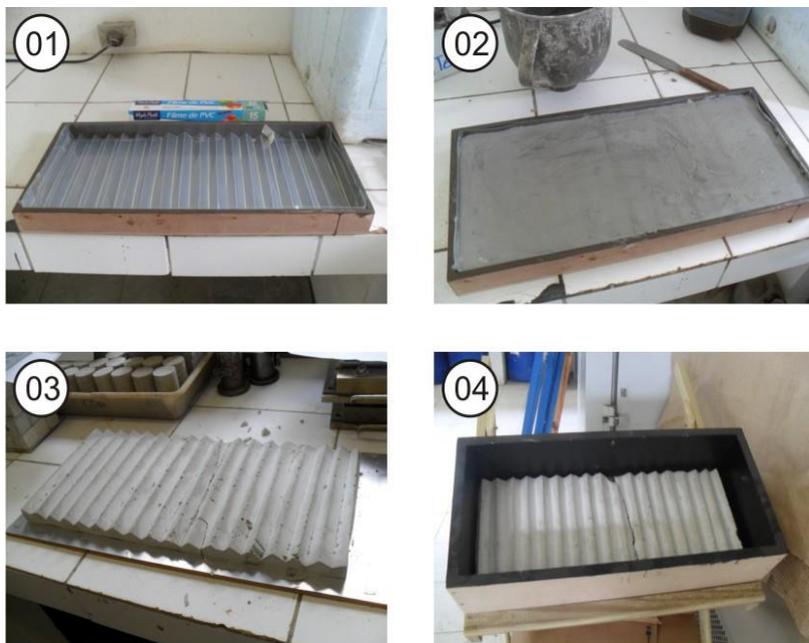
Figura 67 - Planta baixa das aletas em argamassa.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 68 mostra a sequência na qual as aletas foram executadas. Na etapa 01 tem-se a fôrma de acetato encaixada dentro da fôrma de mdf, na etapa 02 tem-se a fôrma preenchida com argamassa, a 03 mostra as aletas desenformadas e na etapa 04 pode-se vê-las posicionadas na caixa de madeira, apenas esperando para receber a pintura na cor preta.

Figura 68 - Etapas de confecção das aletas em argamassa.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foram colocados vidros duplos para vedação da caixa, formando um sanduíche e estruturados por montantes em alumínio, com 1 cm de espaço entre estes. A estrutura em alumínio foi colada com silicone para metais, já que era constituída por três partes, como pode ser visto na Figura 69 e também colada na caixa com o mesmo silicone como nos mostra a Figura 70.

Figura 69 - Esquadria em alumínio e vidros duplos para fechamento da caixa.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 70 - Caixa do protótipo finalizada.



Fonte: Elaborada pela autora.

Após a sua preparação e vedação, desta vez o protótipo foi levado para o terraço do prédio da engenharia civil (UFSC) para serem feitas as devidas marcações para o seu posicionamento sob o sol e assim, começarem as próximas medições.

- **Medições e conclusões**

No dia 21 de novembro de 2012, a segunda etapa de medições foi executada. A caixa foi levada para o terraço e preenchida com 13 litros de água, igualmente à primeira etapa. Neste dia, porém, a estação em vigor era a primavera sob regência do horário de verão, portanto o protótipo foi posicionado centralizado sob o sol da 1 hora da tarde do dia anterior, seguindo os mesmos princípios da primeira etapa de medições. A temperatura máxima registrada em Florianópolis no dia 21 foi de 27,5° e a mínima 19°, sendo a insolação total diária de 11 horas, segundo o site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com uma condição de céu limpo e predomínio de sol. Os dados de temperatura da água adquiridos estão expressos na Tabela 19, considerando-se que a medição das 8:45 horas, foi feita com a água antes de ser exposta ao sol, apenas coletada da torneira e armazenada em um balde de plástico.

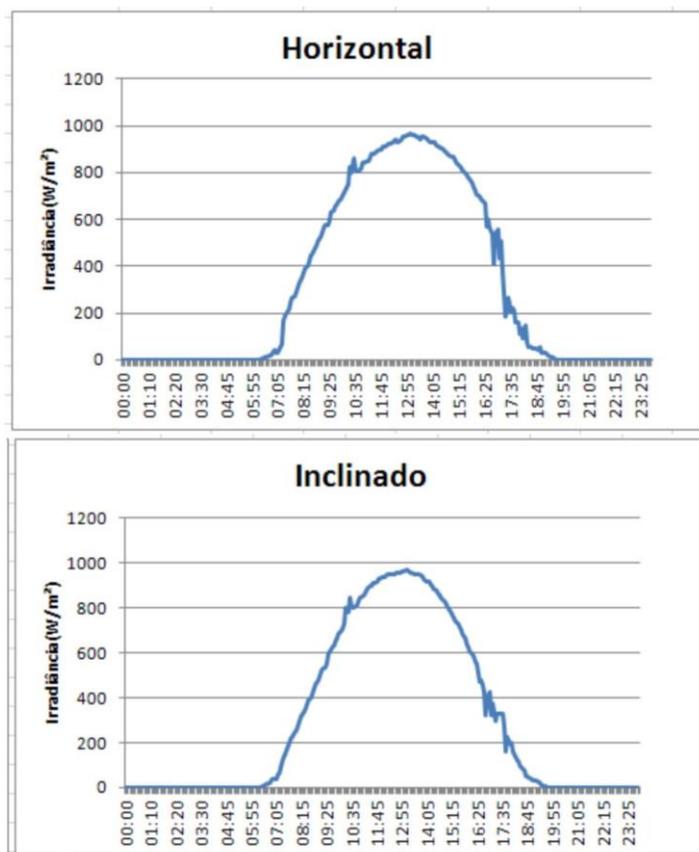
Tabela 19 - Variação das temperaturas da segunda medição.

<b>Dia 21/11/2012</b>	
<b>Tempo (h:min)</b>	<b>Temperatura (C°)</b>
8:45	23°
9:45	25°
10:45	28°
11:45	32°
12:45	36°
13:45	39°
14:45	40°
15:45	43°
16:45	43°
17:45	42°

Fonte: Elaborada pela autora.

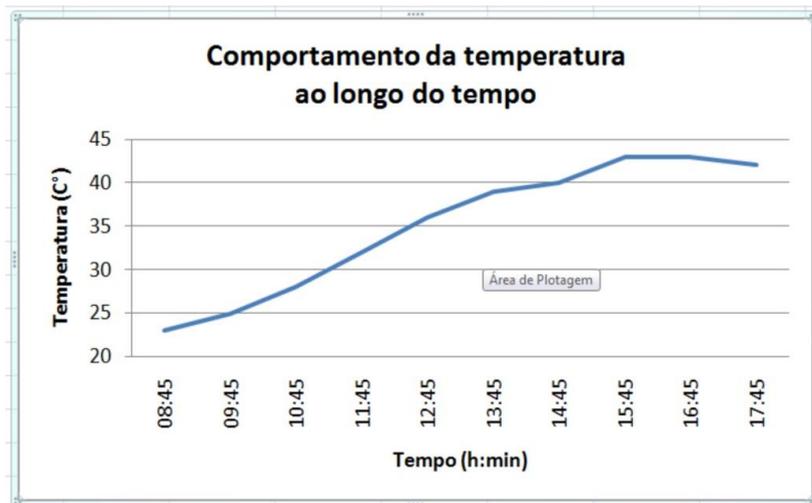
As médias de irradiação no plano horizontal e inclinado neste dia, segundo dados da estação solarimétrica do LABSOLAR, foram de 7,180 KWh/m<sup>2</sup>/dia e 7,461 KWh/m<sup>2</sup>/dia nos planos horizontal e inclinado respectivamente. Abaixo os gráficos das Figuras 71 e 72 nos mostram a variação dos valores de irradiação nos planos horizontal e inclinado em W/m<sup>2</sup>/dia.

Figura 71 - Irradiância nos planos normal e inclinado do dia 21/11/2012.



Fonte: LABSOLAR, 2013.

Figura 72 - Variação da temperatura ao longo do dia 21/11/2012.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com os resultados desta segunda medição, concluímos que as alterações feitas no protótipo contribuíram para um maior aquecimento da água, uma vez que a variação da temperatura desta passou de 5°C da primeira medição, para 20°C na segunda, atingindo 43°C. A faixa de temperatura ideal para banho fica entre 35°C e 50°C, segundo a literatura consultada, então haveria uma condição de uso real e confortável a partir das 11h da manhã. As condições climáticas melhores do dia 21 de novembro, se comparadas com as do dia 24 de setembro, também contribuíram para os resultados, uma vez que não houve grande variação da irradiância durante o dia.

No dia seguinte, a caixa também apresentava um pouco de vazamento. Mesmo assim, vedou-se a caixa com placas de poliestireno expandido para verificar sua influência no isolamento desta e também para fazer medições do decréscimo da temperatura ao longo do tempo durante a noite, porém, por causa do vazamento se tornar cada vez mais expressivo (desta vez na junção da esquadria com a caixa, o qual poderia influenciar nos valores uma vez que o volume de água não seria o mesmo) não foi possível finalizar os testes. Este vazamento pode ser visto na Figura 73.

Figura 73 - Protótipo vedado com chapas de poliestireno expandido, apresentando vazamentos de água.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.2 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa realizada teve uma abordagem teórica e qualitativa. Para Oliveira (2005) as abordagens qualitativas e quantitativas não são excludentes uma vez que, na opção por uma pesquisa qualitativa, pode-se recorrer a dados quantitativos para melhor análise do tema em estudo e vice-versa. O tipo de raciocínio lógico utilizado foi indutivo, o qual segundo Oliveira Netto (2006) parte do fato ou fenômeno singular, acumulando informações cada vez mais amplas para chegar a leis e teorias. Rodrigues (2007) explica que o método indutivo é um processo mental que, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas e realiza-se em três etapas: observação dos fenômenos, descoberta da relação entre eles e generalização da relação. Relacionando este pensamento ao caso da pesquisa desenvolvida, observa-se que no mercado não existem aquecedores solares de água que funcionem como parte dos telhados em que estão inseridos (existem apenas modelos com placas dispostas sobre estes) e com o reservatório

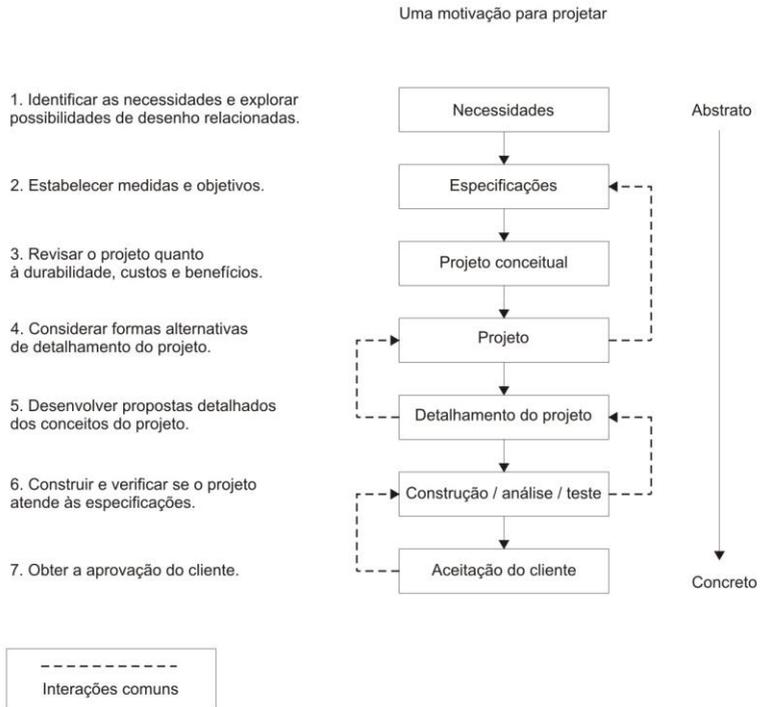
térmico na própria placa coletora. Por meio dos estudos sobre o tema descobre-se que é possível dimensionar um módulo de aquecimento (otimizando volume de água necessário + materiais que o compõem + dimensões do módulo) de maneira que este se encaixe entre os espaçamentos padrão das peças, sendo suportado por estas. Desse modo, conclui-se ser possível propor um modelo de aquecedor solar de água integrado à estrutura de um telhado, otimizando instalações e com o reservatório térmico na própria placa.

Oliveira Netto (2006) afirma que é imprescindível optar por um tipo de pesquisa conhecendo sua natureza, objetivo e procedimento. Dessa forma, pode-se dizer que a mesma é aplicada, descritiva e trata-se de um estudo de caso, respectivamente. Para o autor, quando é aplicada, objetiva o emprego do conhecimento básico, podendo ou não ser reservada e gera novas tecnologias e conhecimentos resultantes do processo de pesquisa, que poderá produzir produtos, processos e patentes, como é o caso da proposta do aquecedor solar desenvolvida nesta dissertação. Quando é descritiva, seu objetivo é a identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou processo. Finalmente quando se trata de um estudo de caso, é porque por meio deste é possível explicar ou descrever um sistema de produção ou sistema técnico no âmbito particular ou coletivo e tem a finalidade de explicar como e porque as coisas funcionam. Nas engenharias são necessários estudos anteriores para que se possa determinar como está funcionando ou como é o processo, para que posteriormente seja recomendado, desenvolvido e implantado um novo sistema, produto ou técnica de otimização.

### 3.3 METODOLOGIA SEGUNDO JACK (2013)

Como esta pesquisa desenvolve o projeto de uma nova tecnologia a ser utilizada na construção civil, é importante mencionar como foram organizados os passos desde suas ideias iniciais até a finalização da proposta. De acordo com Jack (2013) existem muitos modelos que tem como finalidade ilustrar o processo de criação de um projeto de engenharia, porém algumas etapas básicas são semelhantes e são descritas em 7 tópicos, como mostra a Figura 74.

Figura 74 - Os sete passos para a realização de um projeto.



Fonte: Adaptado de JACK, 2013.

Para o autor, as etapas de identificação do programa de necessidades e das especificações (etapas 1 e 2), resultam em uma idéia clara sobre o problema de projeto e quanto mais detalhadas forem estas etapas, maior a possibilidade de sucesso. As especificações levarão as etapas de conceituação e personificação do projeto (etapas 3 e 4). O resultado disso será um projeto que inclui componentes chaves, algoritmos, desenhos mecânicos e planejamento de seu processo. Um bom detalhamento do projeto (etapa 5) o transformará em algo concreto e atenderá as especificações e aos requisitos de qualidade. A etapa de construção e testes (etapa 6) varia de acordo com a área de atuação da engenharia, mas é importante para se chegar ao produto final, assim

como atender as especificações (etapa 7) é fundamental para o encerramento do projeto.

A proposta desenvolvida seguirá apenas até o 5º passo desta metodologia.

Alguns bons e maus atributos estão descritos abaixo em tópicos, segundo o autor, em relação as soluções técnicas adotadas na criação de projetos e servem como inspiração para o desenvolvimento da proposta do aquecedor solar de água.

Bons atributos de um projeto:

- O projeto satisfaz todas as necessidades e resolve todos os problemas;
- Possui fornecimento imediato e infinito de peças;
- Não necessita de manutenção, fiscalização ou peças de reposição;
- Não requer treinamento para sua utilização, nem sofre mudanças de comportamento;
- Não precisa de mão de obra especializada, materiais ou equipamentos para sua instalação.

Maus atributos de um projeto:

- Exige extrema precisão na sua fabricação e possui soluções extremamente complexas;
- Envolve soluções e métodos não testados;
- Possui excessiva, desnecessária ou limitada funcionalidade;
- Requer grande esforço e mudança por parte do usuário;
- Tem alto custo e disponibilidade limitada.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O projeto do aquecedor solar de água teve seu ponto de partida por meio de um croqui esquemático confeccionado por Azambuja (2011) com a síntese de seus conceitos. A ideia era criar um modelo de aquecedor que dispensa o reservatório térmico, sendo este integrado em suas placas coletoras, as quais seriam constituídas por Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (Glass Fiber Reinforced Concret – GRFC), com aletas internas do mesmo material, para manter a água aquecida por inércia térmica. A escolha deste material se deu por ele possuir grande capacidade de se moldar a formas variadas, já que é reforçado com fibras de vidro, por ser durável e também pela capacidade de maior atraso térmico, característica do concreto, devido à sua massa térmica. Além disso, deveria ter um custo menor do que os modelos existentes, justamente pela escolha

dos materiais que o compõem e também deveria integrar-se ao telhado das edificações.

Este trabalho descreve a evolução desta ideia e para tal conta com desenhos gráficos de plantas, cortes, elevações, detalhes e especificações para compreensão da proposta. Foram desenvolvidos vários estudos de possibilidades, na tentativa de melhor adaptar seus conceitos a um produto final, até chegar-se a um projeto de módulo que fosse adequado tanto para telhados com telhas cerâmicas romana e portuguesa quanto para telhados com telhas de fibrocimento ondulada. A proposta ainda tem muito a evoluir, entretanto acredita-se ser válida a tentativa de repensar a maneira convencional de inserção desta tecnologia na arquitetura com intenção de melhorá-la e melhor adequá-la ao usuário para que desse modo, esta fonte de energia renovável seja uma realidade viável dentro da construção civil.

A escolha por uma técnica de coleta de dados adequada ao seu propósito de investigação para armazenamento de informações é primordial para realização de uma pesquisa bem sucedida, porém muitas dúvidas causaram inquietação antes de se optar pela que parece ser a mais acertada. Desse modo, com a finalidade de organizar as etapas de desenvolvimento deste projeto desde sua concepção até sua forma final, trabalhou-se com uma metodologia baseada nos estudos de Jack (2013). Este autor afirma que embora existam muitos modelos que representem o processo de criação de projeto na engenharia, em geral os mesmos possuem algumas etapas que se assemelham entre si e assim, define sete etapas básicas a serem seguidas, as quais estão listadas a seguir:

- Etapa 1 - Identificação das necessidades do projeto;
- Etapa 2 – Especificações do projeto;
- Etapa 3 - Projeto conceitual;
- Etapa 4 - Projeto;
- Etapa 5 - Detalhamento do projeto;
- Etapa 6 - Construção/análise/ teste;
- Etapa 7 - Aprovação do cliente.

Com exceção da 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> etapas, a descrição das ações de projeto desenvolvidas neste escopo está baseada nas etapas de 1 a 5, as quais também intitulam os tópicos seguintes deste capítulo.

### 3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE PROJETO

Os produtos existentes no mercado são resultado de processos imperfeitos ou incompletos de projeto e esporadicamente passam por mudanças que tem como objetivo melhorá-los em relação

a vários aspectos, tais como economia, design, comprometimento com o meio ambiente, composição, materiais empregados, eficiência, entre outros, não imprescindivelmente contemplando todos esses itens. As necessidades de um projeto surgem de alguns motivos que podem ser desde melhorias incrementais, substituição total do mesmo ou de peças, e até de propostas de caráter especulativo da forma, função e estética (JACK, 2013).

A proposta do aquecedor solar surgiu de uma série de necessidades a serem repensadas com intenção de melhorá-lo, detectadas nos modelos existentes. Não há propriamente intenção de superar a todas elas e sim de propor inovações em relação a questões ainda não trabalhadas, porém, mantendo e reforçando características fundamentais. Desse modo, estabeleceu-se uma lista com os principais requisitos que o projeto visa atender.

- Dispensar o reservatório térmico para ganhar espaço no telhado;
- Otimizar instalações com o aquecedor fazendo papel de reservatório e de telhado;
- Dispensar o uso de metais com a utilização do GRFC para manter a água aquecida por inércia térmica;
- Baratear o custo do sistema;
- Integrar o sistema de aquecimento de água de maneira plena aos elementos que constituem os telhados das edificações;
- Ser de fácil de instalação;
- Possuir facilidade de limpeza e manutenção;
- Não necessitar de peças complexas para reposição;
- Possuir vida útil compatível com a da edificação;
- Obedecer à uma modulação;
- Possuir estanqueidade.

### 3.6 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Para atender às medidas e objetivos do projeto, de acordo com aspectos relacionados à estanqueidade, estética, fixação, integração entre as peças existentes do telhado, isolamento, acabamentos, foram definidas algumas especificações quanto à sua forma, materiais empregados, capacidade de armazenamento, acessórios, instalações, entre outros. A partir destas premissas e da revisão bibliográfica, decidiu-se pelas seguintes especificações:

Quanto à Forma - Para se encaixar nas medidas padrão das coberturas estudadas e para desempenhar a função de aquecer a água, mantê-la aquecida e possibilitar a manutenção:

- Retangular para se adequar às dimensões dos telhados estudados com dimensões externas  $L = 38 \text{ cm} \times C = 130 \text{ cm} \times H = 18 \text{ cm}$  e com dimensões internas  $L = 30 \text{ cm} \times C = 122 \text{ cm}$  e  $H = 13 \text{ cm}$ ;
- Aletas na parte interna em forma trapezoidal no sentido transversal com dimensões de  $L$  maior =  $2,4 \text{ cm}$ ,  $L$  menor =  $0,8 \text{ cm} \times C = 122 \text{ cm} \times H = 5 \text{ cm}$ , para ganho de área de absorção da radiação;
- Camada de isolamento na estrutura interna do módulo para melhor acabamento externo com  $3 \text{ cm}$  de espessura;
- Esquadria para vedação do módulo composta por vidros duplos, para garantir o isolamento da parte superior do módulo com  $1 \text{ cm}$  de espaçamento entre si;
- Moldura fixada com parafusos, para acabamento do módulo;
- Orifícios nas laterais e na parte inferior do módulo para entrada e saída de água –  $d = \frac{3}{4}''$ .

Quanto aos materiais:

- Concreto GRFC para dar a forma, manter a temperatura aquecida por tempo maior do que as placas convencionais e reduzir custos;
- Espuma de poliuretano para isolamento do módulo, com espessura de  $3 \text{ cm}$  entre duas camadas de GFRFC de espessura  $5 \text{ mm}$ ;
- Vidro liso comum incolor – espessura  $6 \text{ mm}$ ;
- Pintura impermeabilizante à base de resina de poliuretano no interior do módulo e nas aletas (mesma utilizada em caixas d'água) na cor preta, para absorção máxima da radiação;
- Aço carbono para estrutura de fixação (suportes) dos módulos, por ser bastante rígido para suportar o peso;
- Alumínio para moldura de acabamento do módulo, por ser leve e fácil de ser encontrado;
- Borracha de Monômero Etileno Propileno Dieno – EPDM para gaxetas, por ser uma solução para vedações consolidada no mercado;
- Chapa galvanizada para confecção do algeroz pintada com fundo preparatório e esmalte sintético na

cor da telha utilizada, para melhor acabamento entre telhado e módulos.

- Telhas cerâmicas romana e portuguesa por possuírem características e dimensões semelhantes, possibilitando maiores possibilidades de integração;
- Telhas de fibrocimento para possibilitar a inserção da tecnologia em telhados mais populares.

Quanto às instalações:

- Caixa plástica sanitária com abertura superior e boia de nível, ligada ao primeiro módulo da série;
- Entrada de água fria da caixa d'água na caixa de nível por tubulação de Policloreto de Vinila - PVC de  $d = \frac{3}{4}$ ';
- Entrada e saída de água quente entre módulos por tubulações de Policloreto de Vinila Clorado – CPVC de  $d = \frac{3}{4}$ ';
- Saída de água quente para a residência por tubulação de CPVC de  $d = \frac{3}{4}$ ';
- Duto de limpeza na parte inferior do módulo –  $d = \frac{1}{2}$ '.

Quanto aos acessórios:

- Suportes para fixação do módulo na estrutura de madeira dos telhados para telhas cerâmicas e para telhas de fibrocimento – dimensões:  $L = 3,81\text{cm}$  x  $E = 0,635\text{cm}$  e comprimentos variáveis de acordo com a estrutura de telhado.

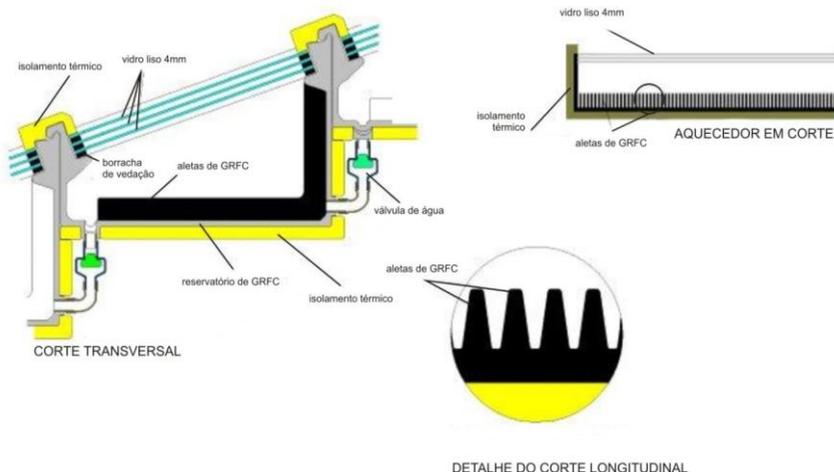
Quanto à capacidade:

- Capacidade total de armazenamento de água quente de 26L/dia, por módulo.

### 3.7 PROJETO CONCEITUAL DO AQUECEDOR SOLAR

O croqui da Figura 75 representa a ideia de Azambuja (2011), e resume os princípios do projeto do aquecedor.

Figura 75 - Esboço da proposta do aquecedor solar.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

A proposta do autor era a de desenvolver um aquecedor dividido em módulos ligados entre si, onde cada um tivesse uma determinada capacidade de armazenamento de água, pois buscava-se dispensar o reservatório térmico. Cada módulo seria alimentado pela água vinda do reservatório de água fria e ao atingir sua capacidade máxima, uma boia indicaria que o mesmo estaria repleto.

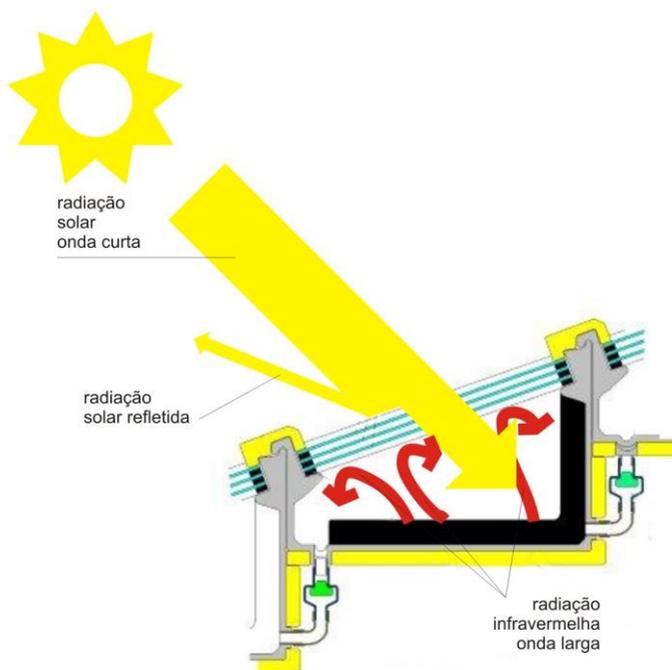
Os módulos seriam constituídos por GRFC, um material composto de concreto reforçado por fibras de vidro, que entre outras características, além de resistência à tração e à compressão, envelhece de forma mais lenta e ainda possui uma capacidade de se moldar a formas mais elaboradas sem haver quebras e com pouca incidência de fissuras. Internamente, os módulos seriam constituídos por aletas do mesmo material (GRFC), pelo concreto possuir capacidade de atraso térmico maior, devido à sua massa térmica. As placas convencionais onde as aletas são confeccionadas em metais, possuem massa térmica menor (e por isto, esquentam de modo acelerado com a incidência da radiação solar, mas também esfriam muito rapidamente) e em condições climáticas desfavoráveis, necessitam dispor de reservatório térmico para manter a água aquecida. A confecção da parte interna com aletas trapezoidais tinha a intenção de aumentar a área de absorção da radiação solar e de

transmissão, por convecção, de energia térmica para a água. Para tanto, seriam pintadas de preto, como toda a parte interna do módulo, funcionando com as propriedades do corpo negro.

A forma transversal dos módulos inicialmente foi idealizada para ser desenvolvida em “L” apenas com os vidros inclinados em relação ao sentido perpendicular da incidência dos raios solares. O isolamento ainda indefinido, contornaria toda a superfície externa dos módulos.

Os vidros triplos inclinados (com espaço entre eles) serviriam para captar a radiação luminosa e após sua passagem, aprisionariam a radiação infravermelha emanada pelas aletas e, assim, garantiriam que o calor ficasse retido dentro do módulo. A Figura 76 representa o funcionamento da radiação no interior do módulo.

Figura 76 - Comportamento da radiação solar incidente no módulo.



Fonte: Adaptado de AZAMBUJA (2011).

Para concluir, a proposta está baseada em conceitos consolidados e sintetiza ideias simples, reorganizadas de forma inovadora, as quais devem ser desenvolvidas e testadas. Segue os três conceitos básicos de sustentabilidade denominados otimização, perpetuação e integração, definidos pelo próprio autor em sua tese de doutorado.

### 3.8 PROJETO DO AQUECEDOR SOLAR

O projeto desenvolvido nesta dissertação preocupou-se de fato com o desenvolvimento de uma proposta voltada para a o desenho de produto a partir das informações do croqui esquemático apresentado anteriormente, sem realizar experimentos que comprovassem as teorias expostas por Azambuja (2011) a respeito dos materiais empregados.

#### 3.8.1 Forma do módulo

Algumas mudanças formais em relação aos conceitos apresentados pelo idealizador foram efetuadas com o intuito de aprimorá-la.

Optou-se por um formato retangular em vez de escalonado, para simplificá-lo. Com o formato original, seria possível encaixá-lo entre os caibros na largura, mas seu comprimento ficaria limitado e pequeno demais para comportar o volume de água compatível com uma pessoa, sendo necessário aumentá-lo no comprimento e assim, ocasionando o aumento de sua altura e conseqüente ocupação abaixo do telhado. Também, não seria possível adequar a inclinação dos vidros com a inclinação das telhas, porque o módulo teria que vir com a inclinação fixa. A caixa foi composta por duas camadas de GRFC com uma camada de poliuretano expandido entre elas, para melhor isolamento e estética.

A ideia foi trabalhar com um dimensionamento do aquecedor que contemplasse a quantidade de água quente por pessoa com apenas um, ou no máximo dois módulos. Estes deveriam se ajustar ao espaçamento entre os caibros, na situação do telhado com telhas cerâmicas, fator principal limitante para atingir-se o volume de água necessário, já que no telhado para telhas de fibrocimento esta peça da estrutura não é necessária.

A proposta de Azambuja (2011) incluía vidros triplos em sua parte superior, mas um deles foi retirado por se entender que o mesmo acarretaria apenas em mais custos e carga. Este fechamento por vidros também foi idealizado para ser removido quando da necessidade de limpeza dos módulos, sendo portanto contido em

uma esquadria de alumínio fixada no módulo por meio de gaxetas que sofrem pressão de uma moldura também em alumínio, parafusada no topo e que faz o acabamento do módulo.

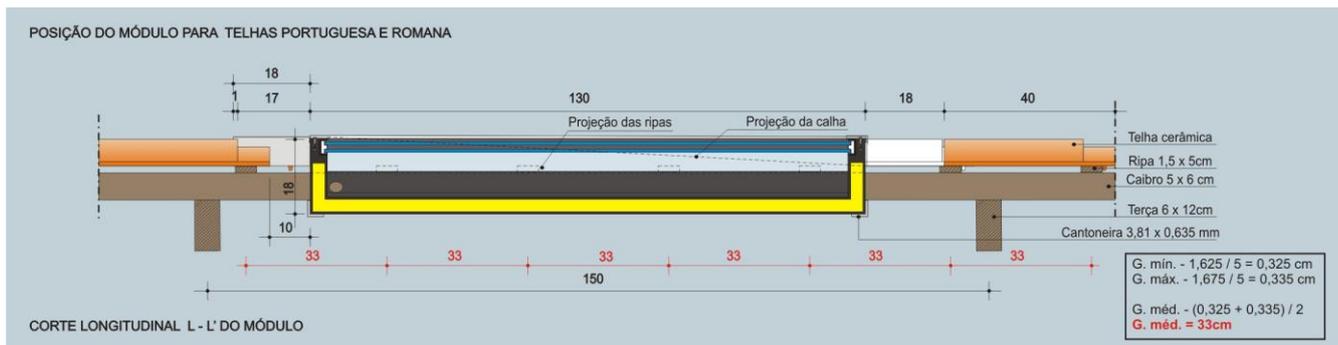
### **3.8.2 Módulo versus estruturas dos telhados**

#### **3.8.2.1 Telhados com telhas cerâmica portuguesa e romana**

Há uma variedade de modelos de telhas cerâmicas no mercado as quais possuem diferentes formatos e dimensões. Este foi um dos fatores que mereceu atenção especial no processo de projeto, pois a adequação dos módulos de forma integrada à parte interna do telhado estava totalmente condicionada às particularidades da estrutura de madeira que suporta os diversos tipos de telhas. Embora a NBR 15310 (2009) estabeleça valores de tolerância para telhas cerâmicas que podem variar em mais ou menos 2% nas dimensões da largura de fabricação, comprimento de fabricação e posição do pino ou furo de amarração, não é raro encontrar peças à venda as quais não obedecem esta regra, assim como bibliografias onde também não há padronização de medidas dos modelos existentes. Por esta questão resolveu-se limitar o estudo às telhas cerâmicas portuguesa e romana, uma vez que esses dois modelos possuem dimensões e formatos bastante similares. Saber antecipadamente as informações e particularidades da telha com a qual se pretende trabalhar, é importante para prever o ripamento de madeira que vai suportá-la, pois é necessário estabelecer no sentido longitudinal do telhado a galga média de acordo com a mesma.

Para chegar-se a um tamanho de módulo que se adequasse às possibilidades de espaçamentos, reuniu-se informações sobre as telhas encontradas destes modelos e trabalhou-se com uma média entre as galgas possíveis conforme seus comprimentos para que o módulo pudesse se adequar ao espaço das ripas empregadas. A tabela com os dados sobre as telhas cerâmicas encontra-se no Capítulo 2 – no item 2.1.5.1.1. A Figura 77, mostra a galga média encontrada de 33 cm e como se dá a inserção do módulo entre as ripas.

Figura 77 - Posição do módulo na estrutura de telhado com galga média de 33cm (cm).

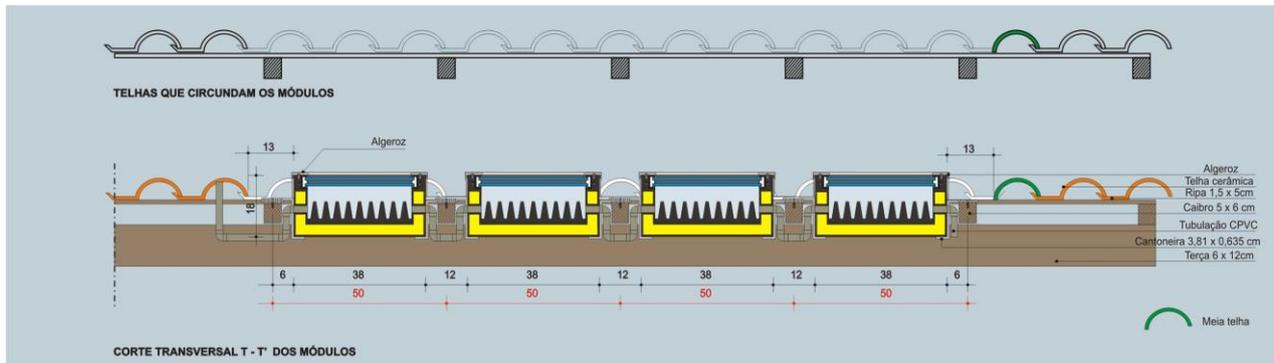


Fonte: Elaborada pela autora

Para exemplificar as situações de inserção do módulo entre ripas foi utilizada a telha portuguesa, onde o exemplar utilizado para estudo possuía 40 cm de comprimento (um dos menores, sendo o menor comprimento de telha encontrado de 39 cm) ficando a galga média definida em 33 cm. Conseguiu-se encaixar o módulo entre as ripas que comportariam 5 telhas tomando o cuidado para que tanto na parte superior, como na inferior o comprimento da algeroz ficasse com a mesma proporção, que no caso foi de 20 cm. É importante mencionar que o afastamento mínimo usual entre terças de 1,50 m também foi um fator influenciável na definição do comprimento do módulo.

No sentido transversal, dimensionou-se o módulo para ser encaixado entre o espaçamento usual de 50 a 60 cm entre caibros, que é o mínimo utilizado normalmente, para seções de 5 x 6 cm, tendo seu topo coincidindo com a altura final das telhas. As bitolas utilizadas nos caibros podem variar sem que haja alteração do posicionamento do módulo. As variações de medidas das larguras das telhas influenciam no acabamento em algeroz nas laterais e para que fiquem proporcionais e com tamanho de calha no mínimo igual ao do canal da telha (para garantir o bom escoamento da água da chuva), é necessário prever o posicionamento do módulo na estrutura de madeira, fazendo a paginação da configuração das telhas mediante projeto, sabendo de antemão seu modelo e dimensões. Na lateral direita do módulo, utiliza-se meia telha como acabamento antes da algeroz. A Figura 78 mostra o corte transversal.

Figura 78 - Corte transversal do módulo na estrutura de telhado (cm).

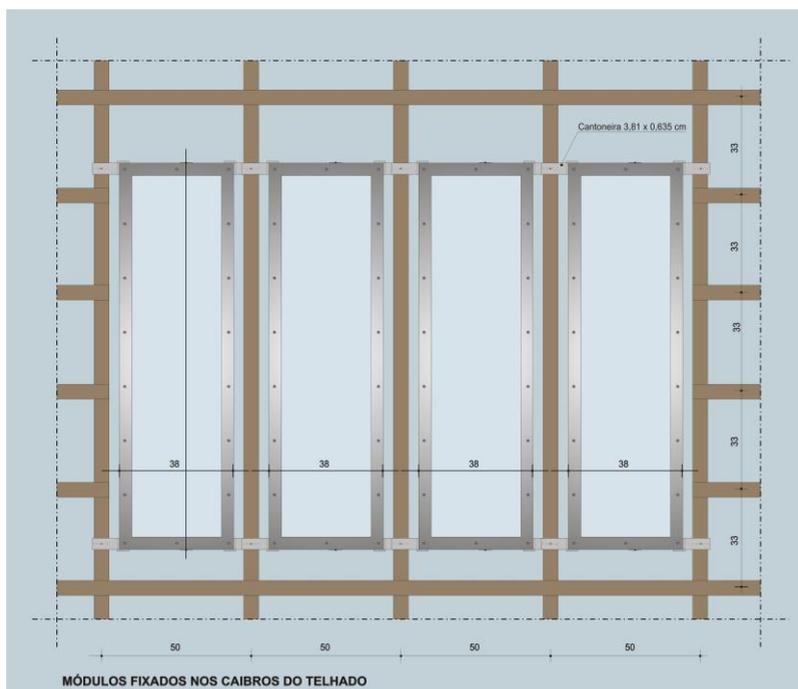


Fonte: Elaborada pela autora.

As cantoneiras que seguram os módulos e fazem a fixação do mesmo nos caibros, possuem graduações para o parafuso e consideram a largura baseada no espaçamento entre caibros de 60 cm, podendo ser cortado seu excedente, no caso deste espaçamento ser menor.

A Figura 79 mostra os módulos fixos na estrutura dos caibros, com interrupção das ripas no espaço ocupado por eles.

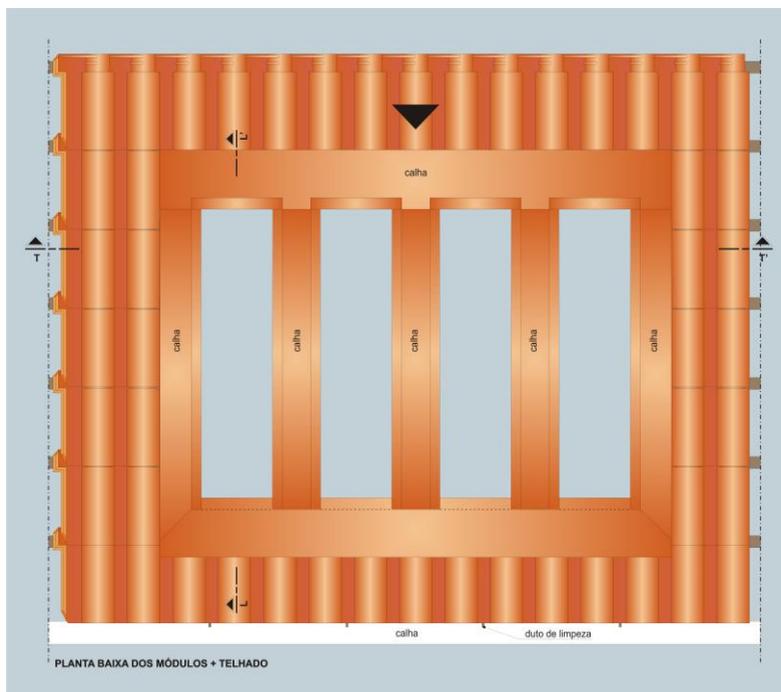
Figura 79 - Fixação dos módulos nos caibros do telhado (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 80 apresenta a configuração final do telhado com todos os seus componentes.

Figura 80 - Planta baixa do telhado com a configuração final.



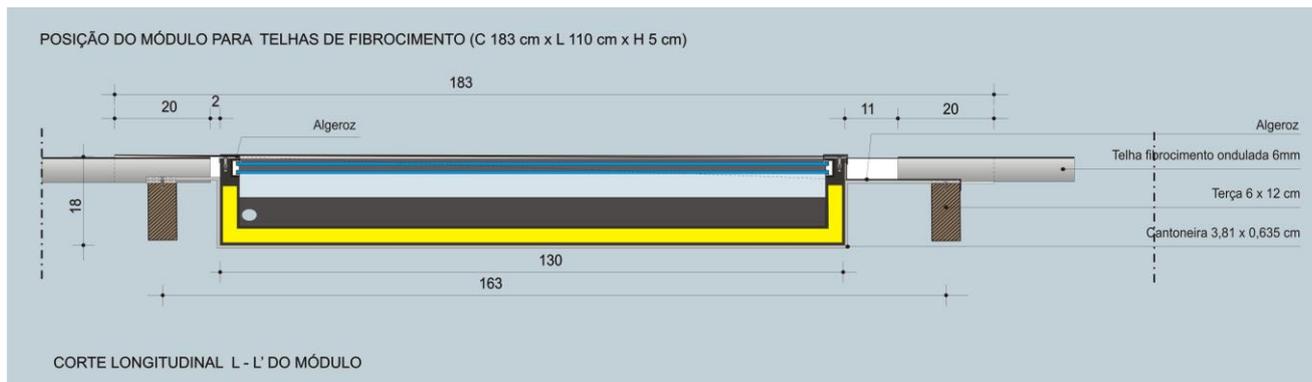
Fonte: Elaborada pela autora.

A disposição dos módulos permite que se formem calhas entre estes, nas laterais e na parte superior, o que auxilia no escoamento da água da chuva. Também o duto de limpeza que sai da parte inferior dos módulos, escondida no forro, deságua na calha geral.

### 3.8.2.2 Telhados com telhas de fibrocimento

Nesta proposta trabalhou-se com o modelo de telha do tipo ondulada de 6 mm, porém, o aquecedor pode ser inserido em qualquer outro modelo, já que este tipo de telhas, ao contrário das cerâmicas, possui medidas de largura e comprimento rigorosamente padronizadas e a altura e design destas não influencia em sua inserção.

Figura 81 - Posição do módulo no sentido longitudinal das telhas (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

O módulo foi desenvolvido para se adequar ao espaço das medidas fixas de largura e de comprimento econômico de 1,83cm, por ser o maior utilizando apenas dois apoios, como pode-se ver na Figura 81.

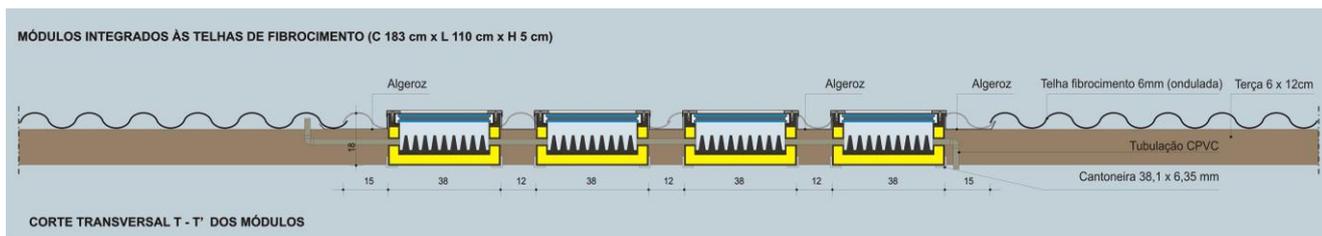
Trabalhou-se com a situação do maior recobrimento de 20 cm (pior situação) recomendado pelo fabricante para o caso de inclinações menores, onde para posicioná-lo, deixou-se um espaço de 2 cm da telha da parte inferior, e assim, o acabamento na calha de algeroz ficou com 11 cm na parte superior do aquecedor, e de 22 cm na parte inferior, para que fique no mesmo alinhamento das telhas laterais que se sobrepõem à fiada de telhas que segue abaixo do módulo.

Os modelos de telhas de fibrocimento possuem variadas dimensões em relação ao seu comprimento, porém, possuem apenas duas dimensões em relação à largura, de 90 cm ou 110cm e portanto, o projeto foi trabalhado para se inserir nestas medidas.

#### 3.8.2.2.1 Módulo integrado às telhas com L 110 cm

Os módulos inseridos na largura de 110 cm, são centralizados entre duas telhas e espaçados 12 cm para que haja proporção entre os acabamentos em algeroz de aproximadamente 15 cm nas laterais, como mostra a Figura 82. Em caso de necessidade de sobrepor a última onda das telhas na telha vizinha, é possível diminuir o espaço entre módulos para adequar-se à nova largura.

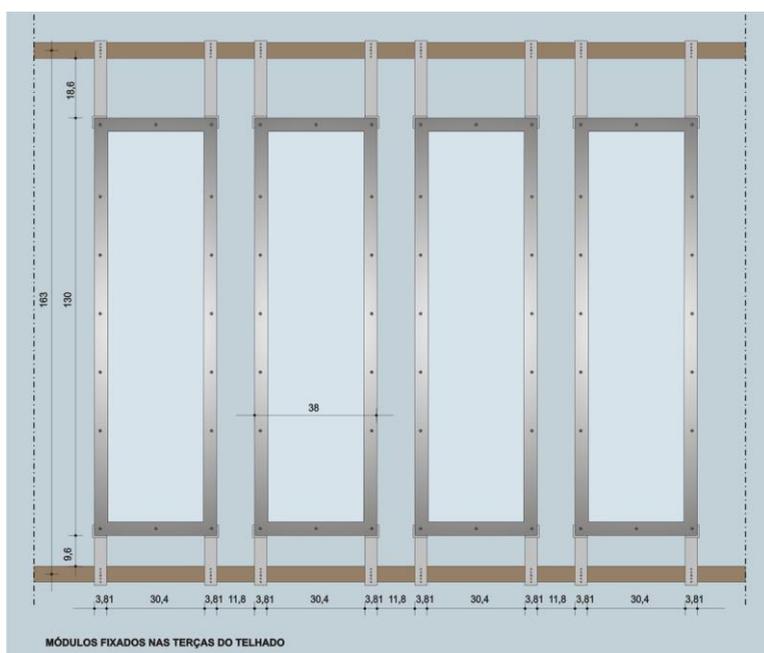
Figura 82 - Posição do módulo no sentido transversal das telhas (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

Os suportes que fixam os módulos na estrutura de madeira (Figura 83), são dispostos no sentido longitudinal para serem fixados nas terças, já que este tipo de telhado não necessita de caibros e ripas. Têm o comprimento total de 175 cm (podendo ser recortado o excedente), pois são feitos para serem encaixados em um espaço fixo entre terças de 163 cm ou 169 cm que é o utilizado para as telhas de 183 cm de comprimento, de acordo com os recobrimentos necessários de 20 cm ou 14 cm respectivamente. Também possuem graduações para fixação dos parafusos.

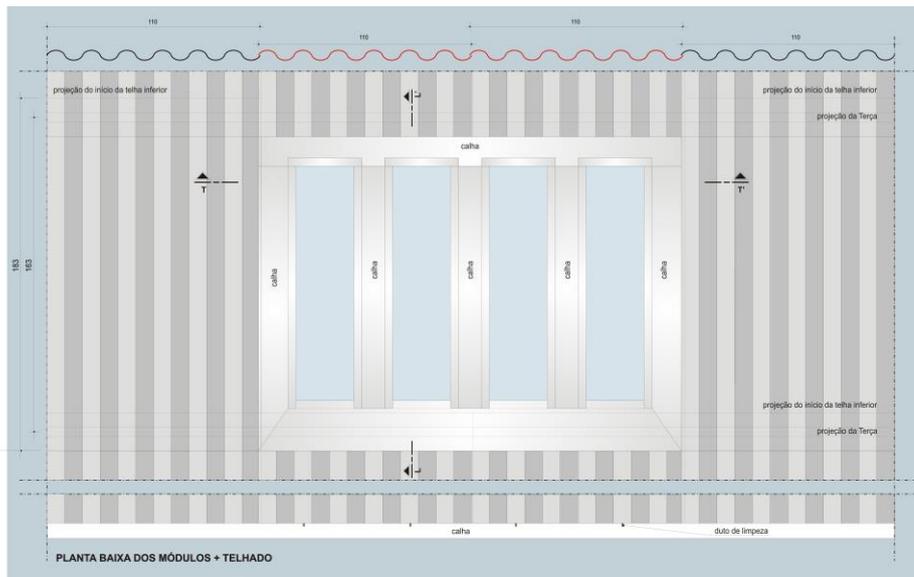
Figura 83 - Fixação dos módulos nas terças (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

A configuração final dos módulos e seus acabamentos inseridos no telhado é vista na Figura 84, onde pode-se ver as calhas entre estes, nas laterais e na parte superior e os dutos de limpeza que deságuam na calha geral.

Figura 84 - Planta baixa do telhado com a configuração final (cm).

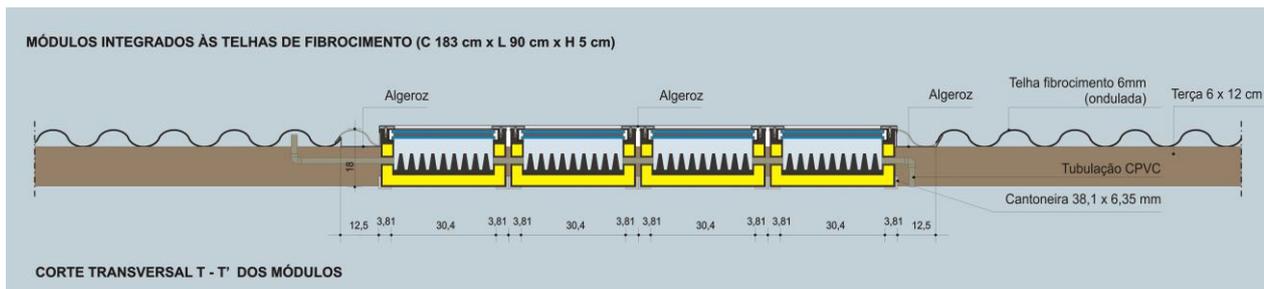


Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.8.2.2.2 Módulo integrado às telhas com L 90 cm

A Figura 85 mostra que neste caso, os módulos inseridos na largura de 90 cm são centralizados entre duas telhas de L 90 cm e o único espaço entre estes é o da espessura dos suportes. O acabamento em algeroz nas laterais possui 12,5 cm.

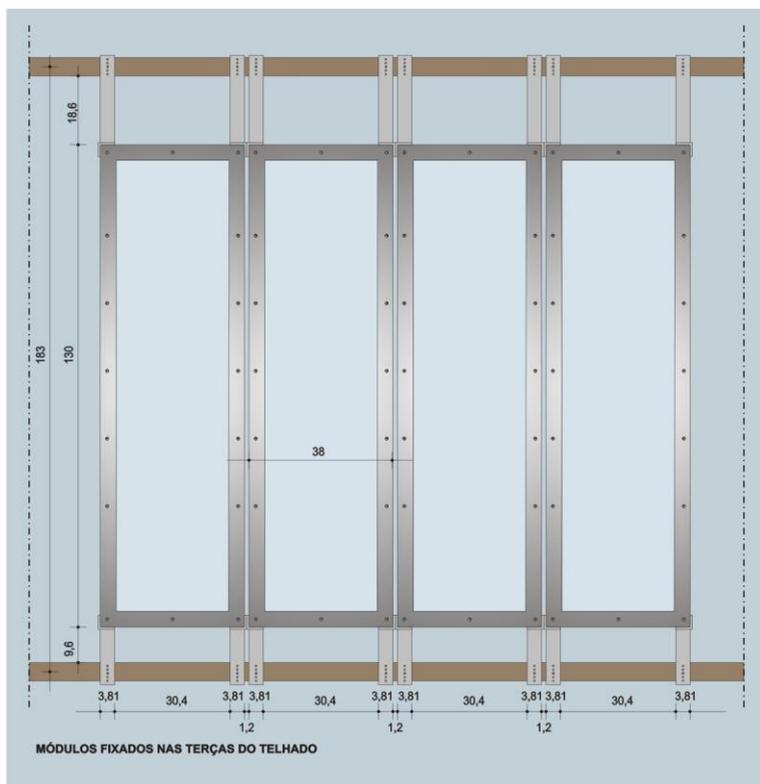
Figura 85 - Posição dos módulos no sentido transversal das telhas (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

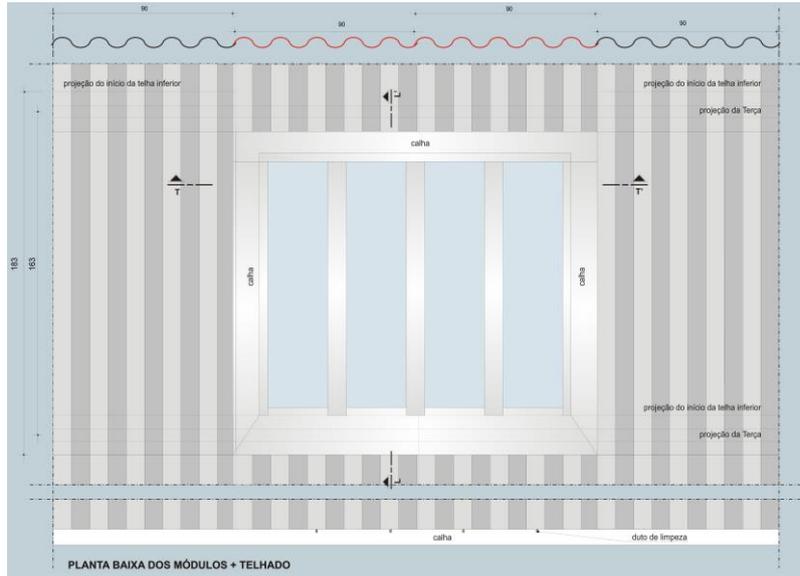
A Figura 86 mostra a disposição dos módulos juntos, fixados nas terças e a Figura 87 mostra a composição final do telhado para essa largura de telha.

Figura 86 - Fixação dos módulos nas terças.



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 87 - Planta baixa do telhado com a configuração final (cm).



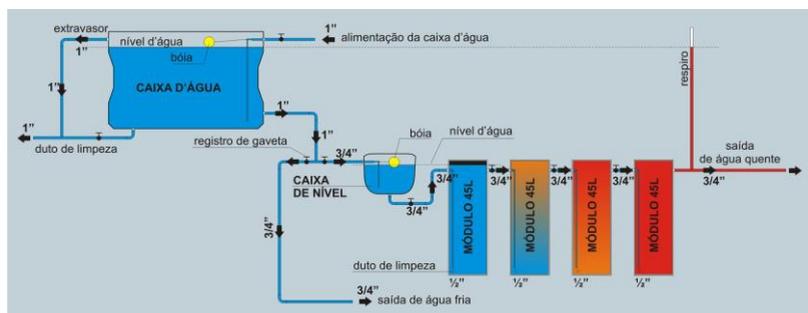
Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.9 DETALHAMENTO DO PROJETO

#### 3.9.1 Funcionamento do sistema

O aquecedor solar foi concebido para utilizar dois módulos por pessoa. A tubulação de água fria que vem da caixa d'água (que se encontra em um nível mais elevado) se ramifica em duas partes onde uma delas alimenta a residência e a outra vai para a caixa plástica com boia de nível. A partir daí, a água entra no primeiro coletor pela parte superior, por um sistema similar ao da torneira de boia, sendo preenchido de baixo para cima. Os coletores são ligados em série e portanto, os demais seguem o mesmo princípio, com a água passando de um para o outro conforme seu antecessor vai ficando repleto. A radiação solar incidirá igualmente sobre todos os coletores, que vão aquecendo a água ao longo do tempo e exposição, porém, em seu ponto final no último coletor, a tendência é a de que ela esteja mais aquecida por ser o ponto mais distante da entrada de água fria. A Figura 88 mostra como se dá o funcionamento do sistema.

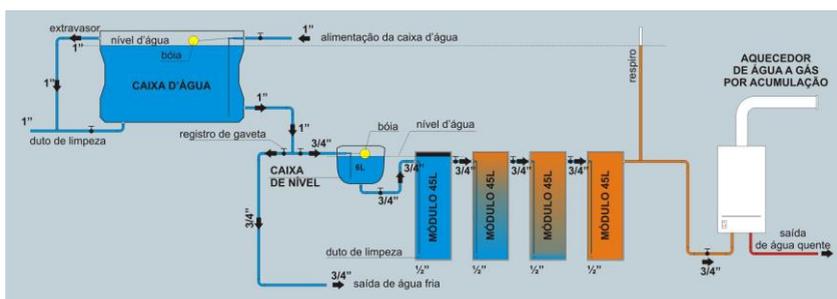
Figura 88 - Funcionamento do sistema de aquecimento solar.



Fonte: Elaborada pela autora.

Em caso de dias com pouca insolação ou muito frios é possível conectá-lo a um sistema auxiliar, como um aquecedor de água a gás por acumulação de acordo com a Figura 89.

Figura 89 - Funcionamento do sistema de aquecimento solar conectado à aquecedor de água à gás por acumulação.



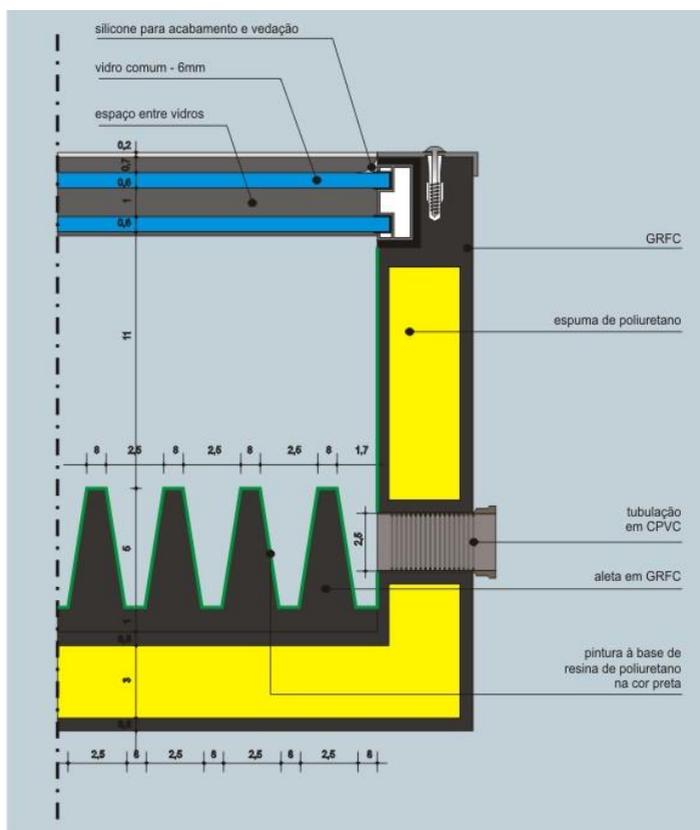
Fonte: Elaborada pela autora.

O sistema ainda possui na parte inferior dos módulos, uma saída para limpeza a qual deságua por meio de tubulação direto na calha do telhado.

### 3.9.2 Materiais empregados

Seguindo a ideia original de Azambuja (2011), os materiais utilizados no módulo do aquecedor, são o GRFC por ser mais leve que o concreto convencional, facilmente moldável em qualquer forma estética e por isso, uma boa solução não somente para a caixa externa, mas para as aletas trapezoidais. É um material altamente resistente à penetração de água, não apodrece e é resistente à ataques químicos e erosão e portanto, exige pouca manutenção. Também proporciona melhor acabamento por fissurar menos a superfície. O vidro liso e transparente de 6mm foi utilizado com uma modificação em relação à ideia original que previa o uso de 3 deles. Nesta proposta decidiu-se utilizar apenas duas lâminas para baratear ainda mais o sistema, mantendo o espaçamento de 1 cm entre eles. O isolamento térmico escolhido foi o poliuretano expandido, por ser um material de baixo custo e já consagrado no mercado como isolante. Para finalizar, foi prevista impermeabilização interna do módulo e aletas, por meio de pintura à base de resina de poliuretano, a qual garante a potabilidade da água, e é corriqueiramente utilizada em caixas d'água. A resina é fabricada na cor preta, para absorção máxima da radiação. A composição final entre estes materiais pode ser vista no detalhe em corte da Figura 90.

Figura 90 - Detalhe do módulo em corte com os materiais empregados (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

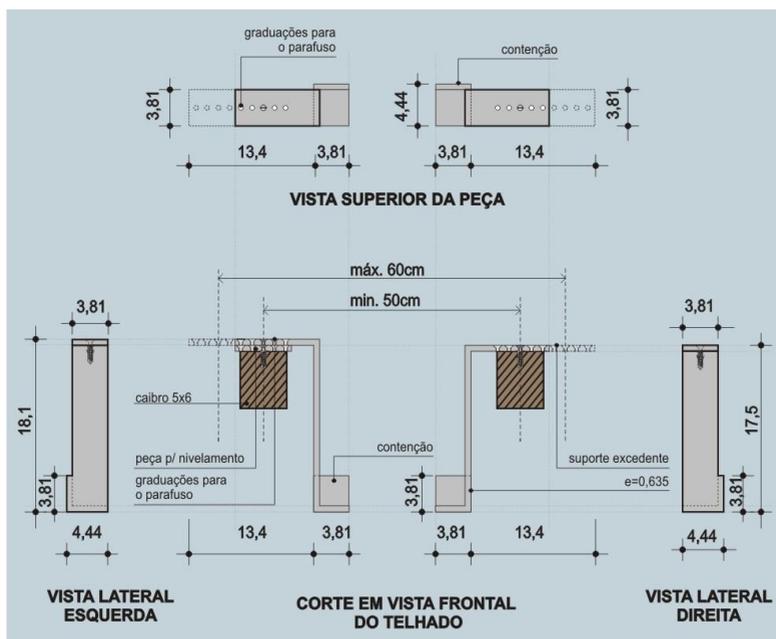
### 3.9.3 Acessórios

Os elementos que diferem a inserção do módulo na estrutura de telhado para telhas cerâmicas ou na estrutura para telhas de fibrocimento, foram chamados de suportes. São constituídos por aço carbono com bitolas de  $L = 3,81$  cm x  $E = 0,635$  cm e comprimentos variando de acordo com o tipo de estrutura.

O suporte para fixação do módulo em telhados com telhas cerâmicas, consiste em 4 peças com contenções ora pela esquerda, ora pela direita da peça para segurar o módulo pela parte superior e inferior no sentido do caimento do telhado. São fixados nos caibros

por meio de parafuso com bucha e possuem graduações para sua colocação, pois o suporte pode se ajustar aos diferentes vãos entre caibros, respeitando o vão mínimo de 50 cm (onde é possível recortar o excedente do suporte) e o máximo de 60 cm. Os que ficam à direita (olhando-se o telhado de frente) possuem altura menor do que os da esquerda, justamente para receber sobre eles o suporte esquerdo do módulo ao lado. No lado esquerdo, há uma peça para nivelamento. Ver Figura 91.

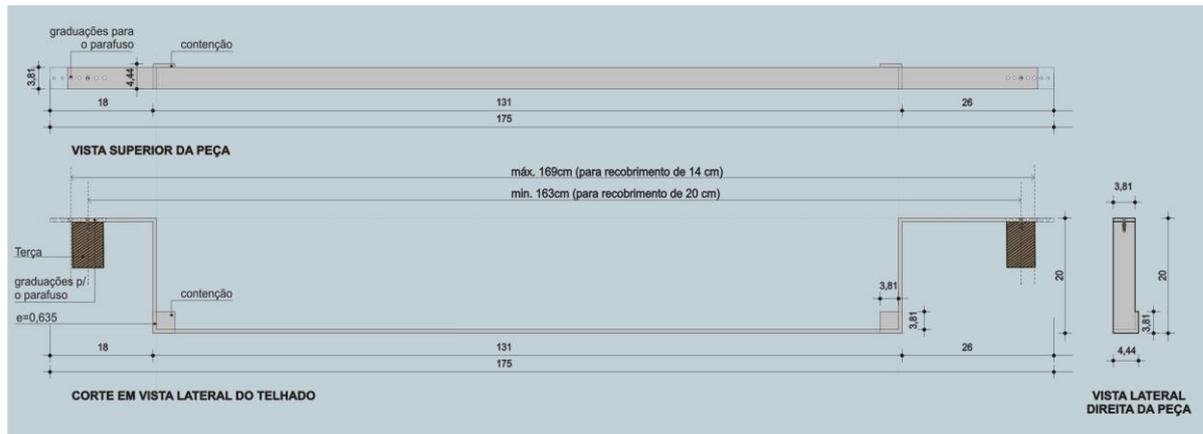
Figura 91 - Suporte para telhados com telhas cerâmicas (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

No caso dos suportes para telhas de fibrocimento, são constituídos por apenas duas peças também com contenções na parte superior e inferior no sentido do caimento do telhado, que são fixadas nas terças por meio de parafuso com bucha. Como foram baseados no comprimento de telha econômico de 183 cm, se ajustam ao espaçamento entre terças de acordo com o comprimento de recobrimento requerido (14 cm ou 20 cm), apenas cortando-se o excedente no caso de ser utilizado o maior. Ver Figura 92.

Figura 92 - Suporte para telhados com telhas de fibrocimento (cm).



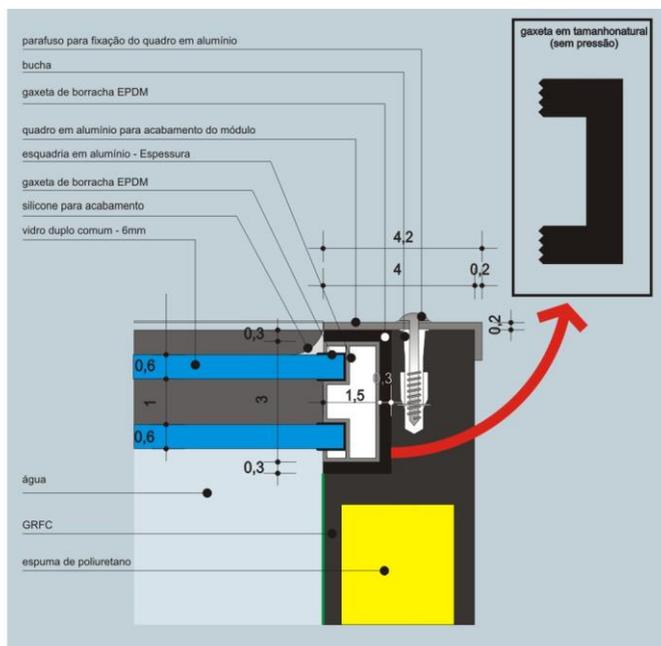
Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.9.4 Sistema de vedação

Um dos fatores que mereceu atenção no desenvolvimento da proposta do projeto foi a necessidade de manutenção e limpeza dos módulos. Pensou-se em um sistema de vedação o qual pudesse ser retirado periodicamente para higienização da parte interna. Dessa forma, adotou-se uma solução também estabelecida no mercado a qual se utiliza de gaxetas de (Monômero Etileno Propileno Dieno) EPDM que quando pressionadas, vedam a esquadria de alumínio que contém os vidros. Esse sistema pode ser removido de maneira simples apenas desaparafusando-se a moldura que dá acabamento ao módulo, sendo recolocada após a limpeza, seguindo o procedimento de ajustar os parafusos corretamente.

A Figura 93 mostra a gaxeta contornando a esquadria e sobre elas a moldura também em alumínio, que ao ser parafusada exerce a pressão na gaxeta, garantindo a estanqueidade do módulo e faz o acabamento deste.

Figura 93 - Esquadria com gaxeta de vedação (cm).



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.9.5 Caixa plástica para nivelamento de água

Ao definirmos o sistema geral, optou-se por utilizar uma caixa de descarga plástica de 6L como a da Figura 94, com o intuito de simplificar a manutenção da boia de nível d'água. Consiste em uma solução simples, a qual aproveita um produto barato e existente no mercado, pois utilizando-a, não há necessidade de colocar a boia dentro do primeiro módulo e assim, em caso de qualquer problema detectado com a mesma, não há necessidade de esvaziá-lo para troca ou reparo. A caixa plástica facilita a manutenção porque possui abertura na parte superior, ou pode ser trocada por outra, já que fica presa por um sistema simples de cabos de aço um pouco mais acima dos módulos na estrutura do telhado, tendo seu nível d'água na mesma altura do nível da água do primeiro módulo.

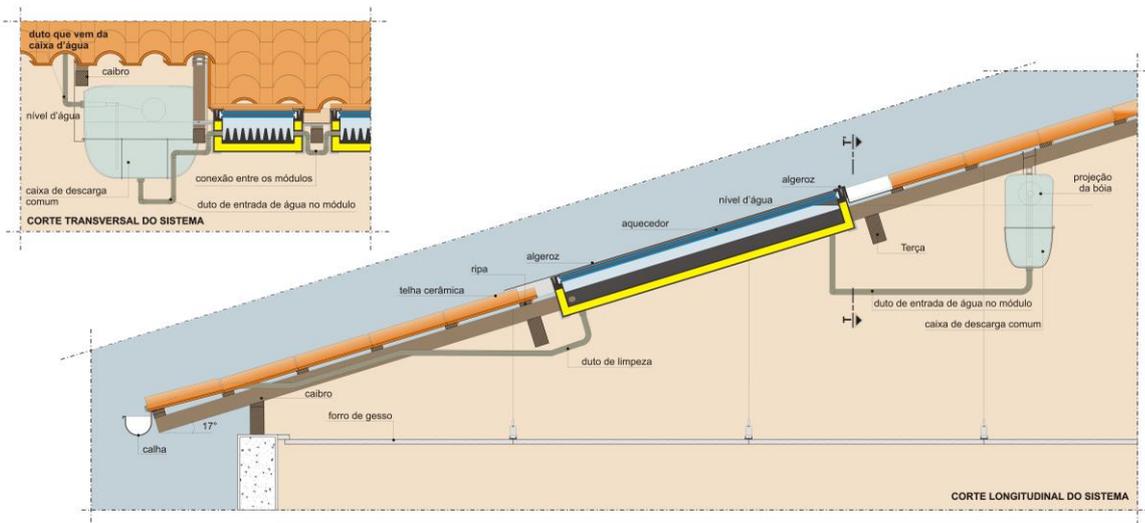
Figura 94 - Caixa plástica de descarga com capacidade para 6 litros.



Fonte: ASTRA, 2014.

A Figura 95 mostra a inserção do sistema de aquecimento solar de água integrado ao telhado com telhas cerâmicas portuguesas

Figura 95 - Sistema de aquecimento solar integrado ao telhado.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.9.6 Previsão de custos do aquecedor

A título de prever o custo de apenas um módulo do aquecedor de maneira breve e sucinta, para lidar-se com valores próximos da realidade, organizou-se as informações mais importantes sobre os materiais empregados no projeto em uma planilha, facilitando a orçamentação com os diversos fornecedores. As médias dos valores consultados encontram-se apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Custos dos materiais empregados no módulo e acabamentos.

<b>Materiais</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Valores (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Esquadria e moldura de acabamento em alumínio + vidros + gaxeta + parafusos (unidade)	1,00	300,00	300,00
Concreto GRFC (Kg)	59,5	1,50	89,25
Espuma de poliuretano - (kg)	0,71	16,00	13,44
Algeroz (L 30 cm / e 4mm) - m	4,00	30,00	120,00
Pintura eletrostática (até L 30 cm) - m	4,00	11,00	44,00
<b>Total</b>			<b>566,69</b>

Elaborada pela autora.

É importante enfatizar que os materiais foram orçados para atender apenas a um módulo e não estão incluídas a mão de obra, nem os custos de tubulações, da caixa plástica com boia de nível e dos suportes. A esquadria de vedação do módulo foi calculada como uma peça inteira e o valor expresso na Tabela 18 é da peça pronta. Dessa forma, estão incluídos no serviço os vidros, a moldura de acabamento, gaxeta de EPDM e parafusos. A espuma de poliuretano é vendida em embalagem de 5kg, sendo o custo da mesma de R\$ 80,00 e seu rendimento proporciona a confecção de aproximadamente 7 módulos. A calha em algeroz que faz o acabamento entre a estrutura de telhado e o aquecedor, é de alumínio com largura de 30 cm e espessura de 4mm e seriam necessários 16 metros para contemplar os 4 módulos. Sobre esta, há a previsão de pintura eletrostática na cor da telha, onde o valor exposto no orçamento, contempla calhas com largura máxima de 30 cm. Com estas informações, chegou-se ao montante de R\$ 566,69, por módulo.

No trecho onde o aquecedor será localizado, não haverá necessidade de colocação das telhas cerâmicas e nem das ripas de madeira. O valor de uma telha cerâmica portuguesa é em média de R\$ 2,50 e no espaço ocupado por um módulo seriam necessárias uma média de 10 telhas, totalizando R\$ 25,00. Somando-se os quatro segmentos de ripas no trecho, tem-se aproximadamente 2 metros. O valor de uma ripa de angelim de 1,5 cm x 5 cm é de R\$ 3,50. Sendo assim, descontando-se R\$ 25,00 mais R\$ 3,50 do valor encontrado para o custo do módulo de R\$ 566,69, tem-se um montante final de R\$ 538,19.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões das ações para o desenvolvimento deste trabalho, em resposta às questões norteadoras propostas para atender aos objetivos do mesmo.

### **4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

#### **4.1.1 Capacidade, rendimento e dimensões do módulo**

De acordo com ABNT NB 128 (1963) são necessários 45 litros de água quente por dia para suprir a demanda de uso de uma só pessoa. Após várias tentativas de desenho, chegou-se a um módulo cujas dimensões externas máximas eram de  $L = 38\text{cm}$  e  $C = 130\text{cm}$  e as internas  $L = 30\text{cm}$  e  $C = 122\text{cm}$ , para que este pudesse se encaixar entre os caibros na pior situação, no caso do telhado de telhas cerâmicas. Restava saber qual altura deveria ter para que atendesse a demanda de água quente por pessoa com eficiência. Estudadas as possibilidades de alturas por meio de cálculo de volume ideal, chegou-se a 26 litros por módulo, o que resultou em medidas finais externas de  $L = 38\text{cm}$ ,  $C = 130\text{cm}$  e  $H = 18\text{cm}$  e internas de  $L = 30\text{cm}$ ,  $C = 122\text{cm}$  e  $H = 13\text{cm}$ . Observou-se que quanto mais profundo fosse o desenho do aquecedor, menos eficiente ele seria. Os 26 litros encontrados garantiam uma eficiência na faixa de aquecedores solares classificados como de nível A pelo INMETRO, os quais ficam em torno de 50% e portanto, ao se adotar este volume, seriam necessários dois módulos para atender a demanda por pessoa. Em uma residência constituída por duas pessoas, o total de água quente por dia seria de 104 litros, supridos por 4 módulos. A área disponível de captação solar individual dada pelas dimensões dos vidros ( $L = 0,30\text{m}$  x  $C = 1,22\text{m}$ ), era de  $0,37\text{m}^2$ .

Com o intuito de verificar se o volume de consumo e volume de armazenamento atenderia a esta residência na cidade de Florianópolis, conforme a ABNT 15569 (NBR,2008) e os dados de consumo nos pontos de utilização dados pelas Tabela 17, simulou-se a seguinte situação:

- Dois moradores;
- Água quente no chuveiro, lavatório e cozinha (com lava louças);
- Temperatura média anual da cidade de Florianópolis: 21°
- Temperatura de consumo da água: 40°C
- Temperatura de armazenamento da água: 50°C

Dados dos pontos de utilização:

- Ducha – Vazão: 3 litros/min – tempo de utilização: 10 min – frequência de uso: 2 vezes/dia;
- Lavatório – Vazão: 3 litros/min – tempo de utilização: 2min – frequência de uso: 2 vezes/dia
- Pia – Vazão: 2,4 litros/min – tempo de utilização: 3 min – frequência de uso: 2 vezes/dia;
- Lava louças: 1 ciclo de utilização por dia = 18 litros.
- Aplicando os dados nas Expressões (12) e (13) da norma, tem-se:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{consumo}} &= \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \\
 V_{\text{consumo}} &= (3 \times 10 \times 2) + (3 \times 2 \times 2) + (2,4 \times 3 \times 2) + 18 \\
 V_{\text{consumo}} &= 60 + 12 + 14,4 + 18 \\
 V_{\text{consumo}} &= 0,1044 \text{ m}^3 \text{ ou } 104,4 \text{ litros}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{armazenamento}} &= \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armazenamento}} - T_{\text{ambiente}})} \\
 V_{\text{armazenamento}} &= \frac{0,1064 \times (40 - 21)}{(50 - 21)} \\
 V_{\text{armazenamento}} &= 0,0697 \text{ m}^3 \text{ ou } 70 \text{ litros}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Com os valores do volume de consumo de 104,4 litros por dia e volume de armazenamento de água quente de 70 litros por dia, concluiu-se que de acordo com a norma, o dimensionamento dos módulos atenderia as necessidades de uma residência com duas pessoas. A área de captação total para aquecer os 104 litros é de 1,48m<sup>2</sup> (0,37m<sup>2</sup> x 4 módulos).

O cálculo do rendimento pode ser visto por meio da Expressão (14), adaptada da norma:

Energia solar por dia = Energia da água por dia

$$IG \times A_{coletora} \times \eta = V_{armazenamento} \times C_p \times \Delta T$$

$$\eta = \frac{V_{consumo} \times C_p \times \Delta T}{IG \times A_{coletora}}$$

$$\eta = \frac{26 \cdot 0,0011 \cdot 29}{4,2 \times 0,36}$$

$$\eta = 0,548 \text{ ou } 55\%$$

(14)

Onde:

$$IG = 4,200 \text{ KWh} / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$$

$$A_{coletora} = 0,36 \text{ m}^2$$

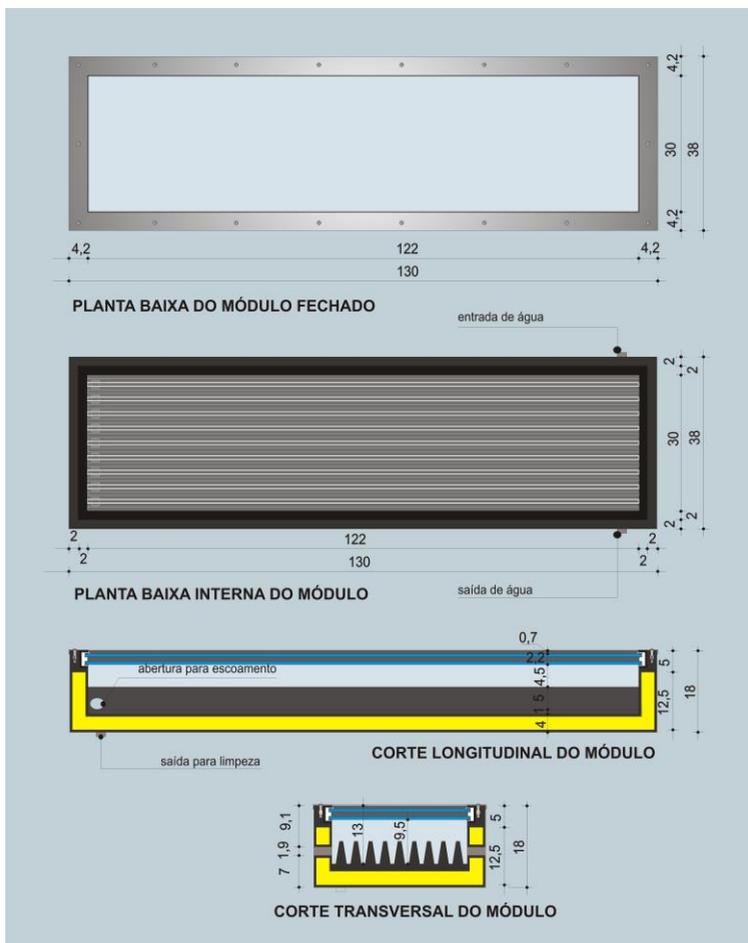
$$V_{consumo} = 26 \text{ L} / \text{dia}$$

$$\Delta T (T_{armazenamento} - T_{ambiente}) = 50 \text{ }^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}$$

$$C_p = 4,18 \text{ Kj} / \text{Kg} \cdot \text{K} \text{ ou } 0,0011 \text{ Kwh} / \text{Kg} \cdot \text{K}$$

Na Figura 96 encontra-se o desenho final do módulo e suas dimensões. Possui 4 orifícios, sendo 2 nas laterais superiores para entrada e saída de água entre módulos, e também um orifício na parte inferior para escoamento da água quando for necessário o seu esvaziamento. Há ainda um orifício interno que corta as aletas no sentido transversal, na parte inferior do módulo, para conduzir o escoamento da água acumulada entre estas até a saída de limpeza.

Figura 96 - Módulo do aquecedor solar.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.2 ADEQUAÇÃO DO AQUECEDOR À MODULAÇÃO DOS TELHADOS

O projeto buscou investigar as possibilidades de modulação existentes em relação as estruturas de telhados de madeira para telhas cerâmicas e para telhas de fibrocimento, de maneira a integrar o aquecedor nas particularidades destas. A intenção foi a de

desenvolver um único módulo onde suas dimensões fossem tais, que o mesmo se encaixasse não apenas entre as peças destas estruturas, como também pudesse servir para ambos os tipos, otimizando a solução, com instalação e acabamento simples.

#### **4.2.1 Telhados com telhas cerâmicas**

A primeira limitação ocorreu por conta dos muitos modelos de telhas existentes no mercado. Inicialmente o projeto se propunha contemplar a todos, mas embora neste tipo de telhado a configuração terças + caibros + ripas seja sempre a mesma, suas dimensões e formas variam muito. Essas medidas influenciam tanto no espaçamento entre as ripas, chamado de galga, assim como na disposição e acabamento das telhas sobre o telhado.

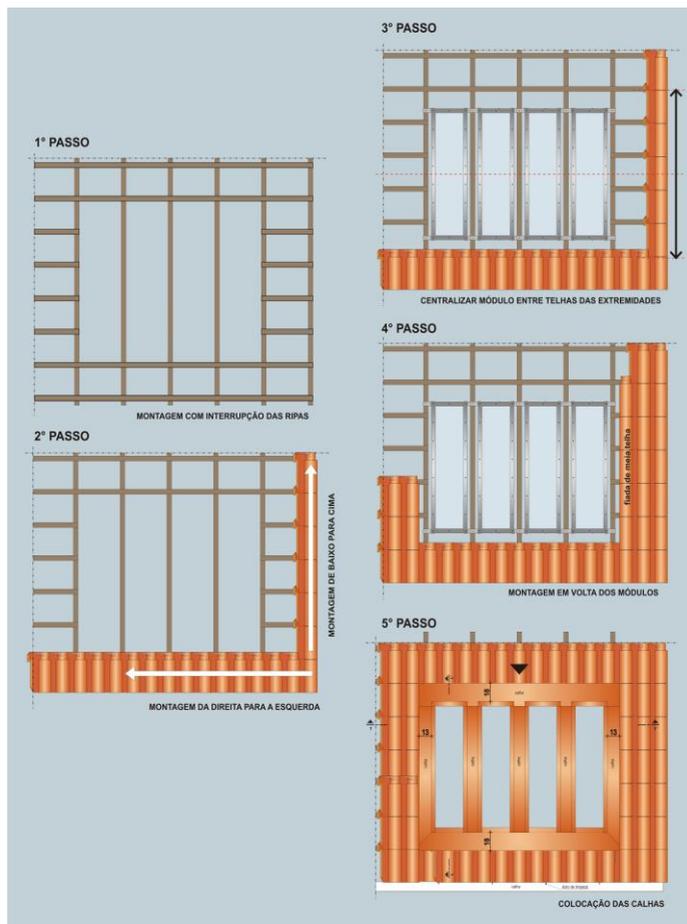
Sendo assim, decidiu-se limitar o trabalho aos modelos romana e portuguesa, por estes possuírem dimensões e formas parecidas, facilitando o dimensionamento do módulo, devido as galgas entre ripas variarem dentro de uma faixa previsível e as calhas em algeroz seguirem a mesma orientação de montagem, resultando em um acabamento satisfatório nas interfaces. Isso não significa que aquecedor não possa se adequar a outros tipos de telhas, como a francesa, por exemplo, que tem dimensões parecidas com as das estudadas, mas com o formato diferente. Ele também pode compor com telhas constituídas por partes separadas de capa e canal que possuírem galgas até 39 cm, mas neste caso as variações de dimensões nos dois sentidos são ainda maiores e seria necessário analisar cada caso de maneira isolada, por isso não fizeram parte deste estudo. Entendeu-se que este trabalho se estenderia demasiadamente se fossem averiguadas as muitas particularidades de encontro entre o módulo e cada modelo de telha. Porém, mesmo no caso estudado, a mais importante observação a ser feita é que a inserção do aquecedor na estrutura de telhado deve ser prevista no projeto arquitetônico, para melhor adequação da disposição das telhas a serem empregadas, mediante paginação e melhor forma de proporcão nos acabamentos em algeroz.

Para o melhor rendimento do módulo, orienta-se considerar na fase de projeto o posicionamento do pano que o conterà voltado para o norte (hemisfério sul), sendo que a inclinação deverá obedecer à recomendação do modelo de telha utilizado.

A Figura 97 mostra uma planta baixa de telhado com um exemplo de paginação, seguindo o procedimento padrão de montá-las da direita para a esquerda na primeira fiada e de baixo para cima

nas fiadas subsequentes e os passos seguintes até a conclusão do mesmo.

Figura 97 - Planta baixa do telhado com esquema de montagem do módulo.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.2.2 Telhados com telhas de fibrocimento

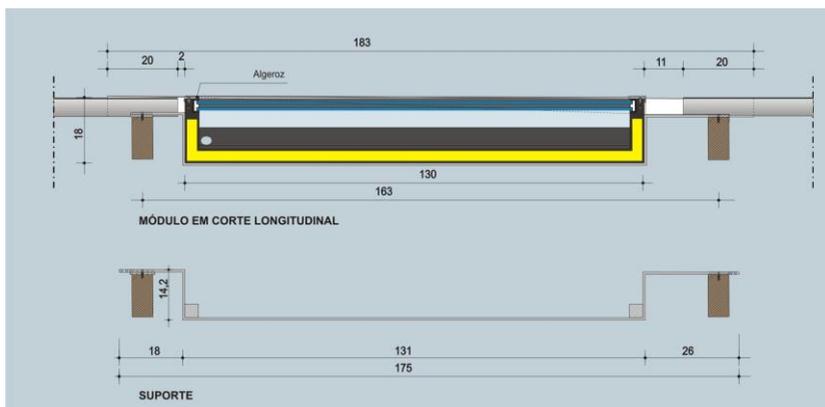
O módulo foi desenvolvido visando atender aos dois tipos de telhados. No caso das telhas de fibrocimento foi trabalhado o modelo de telha ondulada, com comprimento de 183 cm, não contemplando

os demais, uma vez que o limitador neste caso era o tamanho do módulo. Contudo, este pode ser colocado nas duas larguras padrão de 110 cm e 90 cm. Também é possível sua integração com outros modelos de telhas, mas é necessário contar com uma previsão de calço nas terças para os suportes, para que o topo do módulo fique no mesmo nível da crista da onda da telha escolhida

Sua inserção nesta situação foi mais fácil de ser solucionada, pois não há a necessidade de centralização do aquecedor na hora da montagem, uma vez que os suportes, já vem no tamanho exato para instalação no sentido longitudinal, apenas necessitando de recortes, dependendo do recobrimento. A orientação principal é observar as distâncias de 13 cm das laterais que fazem interface com as telhas e entre os módulos, quando forem inseridos na largura de telha de 110 cm. Quando estes forem inseridos na largura de 90 cm, onde não haverá espaço entre os mesmos, e a recomendação é deixar as distâncias das laterais com 12,5 cm.

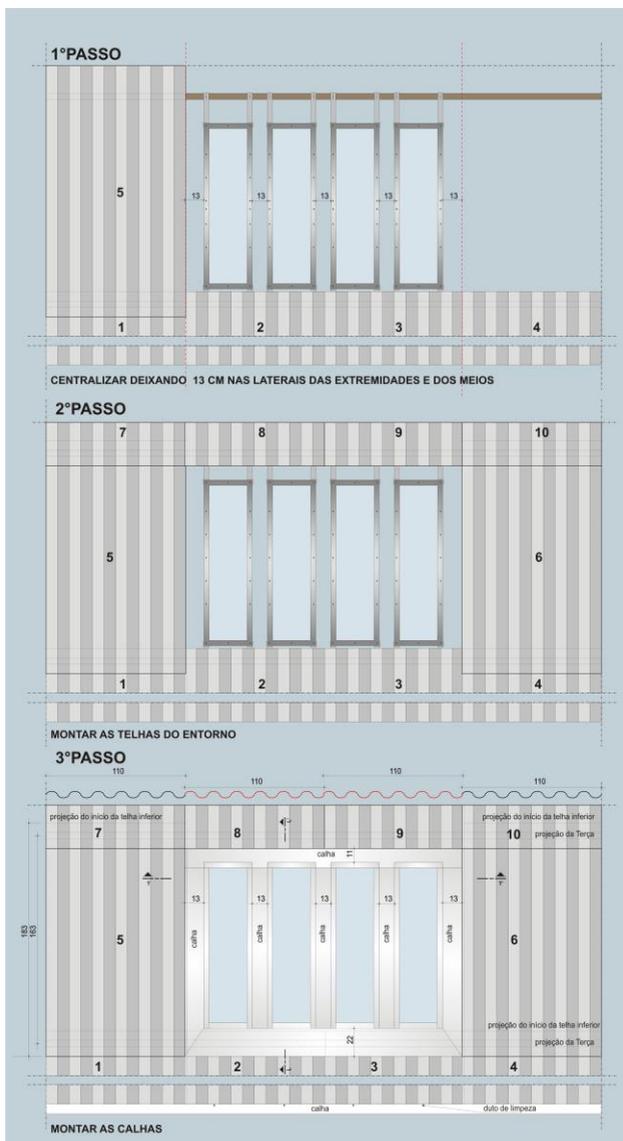
A Figura 98 mostra o módulo em corte longitudinal com o suporte no tamanho de instalação. Na Figura 85, o esquema de montagem.

Figura 98 - Módulo em corte longitudinal e suporte.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 99 - Etapas de montagem dos módulos com telhas de fibrocimento.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nas duas situações de telhados foi possível conseguir a inserção do módulo nas particularidades das estruturas. Todavia, o resultado final para telhas cerâmicas teve melhor sucesso estético, já que todos os lados do acabamento em algeroz ficaram mais proporcionais entre si do que na outra situação. Mesmo assim, não foi possível abordar muitos modelos de telhas neste caso, devido a variabilidade das dimensões das mesmas. Já os módulos inseridos na estrutura para telhas de fibrocimento tiveram maior sucesso na montagem das instalações, pois não tem um fator limitante no sentido transversal, como os caibros, e dessa forma as tubulações de entradas e saídas de água tem maior folga de espaço. Observa-se ainda que a instalação dos módulos em outros modelos de telhas desse tipo é bastante viável, ao contrário das cerâmicas.

### 4.3 PESO DO AQUECEDOR

Para verificar se a estrutura de telhado seria capaz de suportar o peso do aquecedor, tomou-se como exemplo a estrutura para telhas cerâmicas, por esta caracterizar a pior a situação entre os dois tipos de telhado. Nesta, os suportes do módulo são fixados nos caibros, que tem seção menor do que as das terças da estrutura para telhas de fibrocimento, além de dois módulos descarregarem metade de suas cargas em um caibro só, quando este se encontra entre módulos. Na estrutura para telhas de fibrocimento, as terças além de terem seções maiores, suportam apenas a metade da carga do aquecedor.

Utilizando o exemplo de um caibro padrão de madeira de 5 cm x 6 cm verificou-se se o mesmo suportaria a carga total de um módulo. Porém, para tanto, foi necessário saber algumas informações sobre o este e sobre os materiais empregados em sua composição. Para se alcançar um valor aproximado, calculou-se apenas o peso dos materiais mais importantes e de maior volume, ou seja, o do GRFC, o do vidro e o da água, para assim poder se estimar a carga atuante na estrutura. Entendeu-se que o peso do poliuretano expandido, do alumínio da moldura de acabamento e do aço carbono dos suportes são desprezíveis em relação a esses materiais principais e influenciariam muito pouco na carga final. Os valores então encontrados para os volumes dos principais materiais foram:

- Vol. GFRC = 0,0238m<sup>3</sup>
- Vol. Água = 0,026 m<sup>3</sup>
- Vol. Vidros =0,0044 m<sup>3</sup>

Multiplicando-se esses valores pelos das densidades dos respectivos materiais, obteve-se o peso de cada um. É importante

esclarecer que embora o GRFC seja mais leve que o concreto armado (sua densidade média é em torno de  $2100 \text{ Kg/m}^3$ ), adotou-se a densidade do segundo de  $2500 \text{ Kg/m}^3$ , como medida de segurança. A densidade do vidro também é de  $2500 \text{ Kg/m}^3$  e a da água de  $1000 \text{ Kg/m}^3$ . Sendo assim, encontrou-se os seguintes resultados para os pesos, de acordo com a Expressão (15):

$$P = V \times d \quad (15)$$

Onde:

$P$  = peso (Kg)

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

$d$  = Densidade ( $\text{Kg/m}^3$ )

- Peso GRFC:  $0,0238 \times 2500 = 59,50 \text{ Kg}$
- Peso da água:  $0,0256 \times 1000 = 25,6 \text{ Kg}$
- Peso dos vidros:  $0,0044 \times 2500 = 11 \text{ Kg}$

Somando-se os três valores, encontrou-se o valor aproximado para o peso do módulo de  $96,12 \text{ Kg}$ .

O próximo passo foi encontrar a tensão máxima de flexão da madeira utilizada, de acordo com a Expressão (16), calculando-se o momento fletor e o momento de inércia de uma sessão retangular, de acordo com a fórmula:

$$\sigma_f = M_f / I \quad (16)$$

Onde:

$\sigma_f$  = Tensão de flexão (Mpa).

$M_f$  = Momento fletor (N.mm).

$I$  = Momento de inércia de uma sessão retangular (mm).

Para se saber o momento fletor, tem-se a Expressão (17):

$$M_f = (N / 2) \times (L / 2) \quad (17)$$

Onde:

$M_f$  = Momento fletor (N.mm).

$N$  = Carga distribuída (N).

$L$  = Vão (mm).

O momento de inércia de uma sessão retangular é dado pela Expressão (18):

$$I = (b \cdot h^3) / 12 \quad (18)$$

Onde:

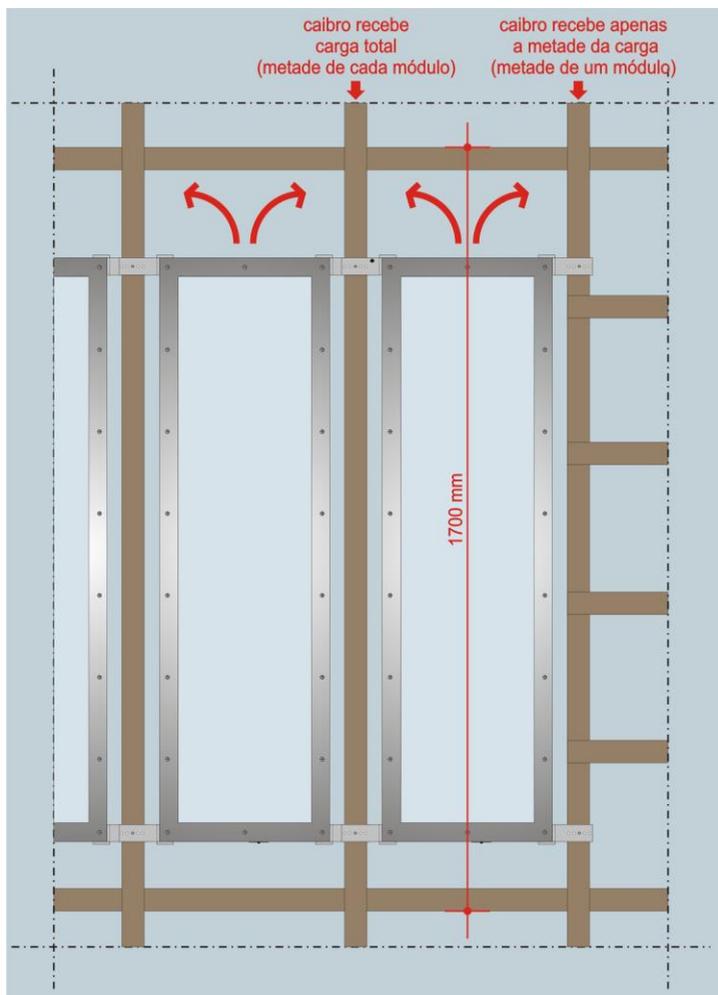
$I$  = Momento de inércia de uma sessão retangular (mm).

$b$  = É a base da sessão (mm).

$h$  = É a altura da sessão (mm).

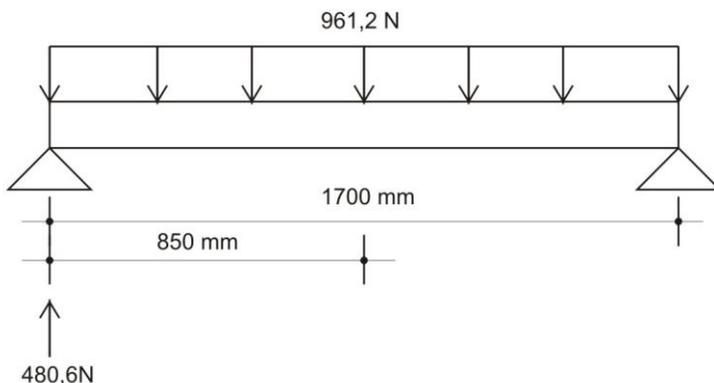
A Figura 100 mostra o trecho de referência do caibro de onde o módulo estaria inserido e a Figura 101 a distribuição das informações da carga distribuída atuante no caibro, de 96,12 Kg ou 961,2 N.

Figura 100 - Trecho de referência onde os caibros estão inseridos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 101 - Carga distribuída aplicada no caibro.



Fonte: Elaborada pela autora.

Colocando-se os dados apresentados nas expressões definidas, tem-se:

- Momento fletor
 
$$M_f = (961,2 / 2) \times (1700 / 2)$$

$$M_f = 480,6 \times 850$$

$$M_f = 408.510 \text{ N.mm}$$
- Momento de inércia de uma sessão retangular (seção do caibro)
 
$$I = (50 \times 60^3) / 12$$

$$I = 900.000 \text{ mm}^4$$
- Tensão de flexão máxima
 
$$\sigma_f = 408510 / 900000$$

$$\sigma_f = 0,45 \text{ Mpa}$$

A Tabela 21 mostra as tensões admissíveis em alguns tipos de madeiras. Tomou-se como exemplo o *Eucalipto Citriodora* por este possuir um dos menores valores para tensão de flexão máxima ( $\sigma_f$ ).

Tabela 21 - Tensões admissíveis em algumas madeiras.

Madeiras		Procedência do corpo de prova ensaiado (unid. da Feder.)	Peso específico (a 15% de umidade) kg/m <sup>3</sup>	Módulo de elasticidade (flexão) E <sub>m</sub> kgf/cm <sup>2</sup>	Tensões admissíveis (Peças de 2ª categ.) kgf/cm <sup>2</sup>					
					Compressão		Flexão e tração $\sigma_f = \sigma_t$	Cisalhamento		
					∥ $\sigma_c$	⊥ $\sigma_n$		Ligações	Vigas	
Maçaranduba	Manikara	PA	1200	183 000	130	39	220	25	17	
Ipê tabaco ou Ipê amarelo	Tecoma eximia	SP	1030	153 800	124	37	219	20	13	
Eucalipto citriodora	Eucalyptus citriodora	SP	1000	136 000	100	30	170	22	15	
Ipê roxo ou Ipê preto	Tecoma irpeticinosa	SP	960	165 000	138	41	231	22	14	
Gonçalo Alves ou Guarita	Astronium fraxinifolium	ES	910	141 000	126	38	181	28	19	
Canafistula	Cassia ferruginea	SP	870	122 400	115	35	154	19	13	
Peroba Rosa ou Peroba	Aspidosperma polyacuron	SP	780	94 250	85	25	135	18	12	
Andiroba	Carapa guianensis	AM	720	116 000	75	22	120	15	10	
Peroba de Campos ou Ipê Peroba	Paralecoma peroba	BA	720	119 600	93	28	148	18	12	
Pinho do Paraná ou Pinho Brasileiro	Araucaria Angustifolia	PR	540	105 225	51	15	87	9	6	

//  $\sigma_c$  ... Tensão de compressão paralela às fibras (peças curtas  $\lambda < 40$ )  
 ⊥  $\sigma_n$  ... Tensão de compressão normal às fibras (podem ser majoradas de acordo com a extensão da carga — Cap. 4)  
 $\sigma_f = \sigma_t$  ... Tensão de tração obtida do ensaio a flexão simples  
 Para compressão oblíqua ver Cap. 4 — Fórmula de Hankinson

Extraída de MOLITERNO, 2006.

Comparando-se o valor da tensão máxima admissível do *Eucalipto Citriodora* ( $\sigma_f$ ) de 170 Kg/cm<sup>2</sup> ou 17 Mpa, com o valor encontrado de  $\sigma_f = 0,45$  Mpa no trecho do caibro onde o módulo estaria inserido, pode-se concluir que este suportará à solicitação de carga. Sendo assim, as dimensões definidas do aquecedor solar para comportar o volume necessário para atender à demanda de água quente por pessoa, respeita os limites de carga suportados pelos caibros do telhado e não precisará de reforço no trecho.

#### 4.4 INSTALAÇÃO DO AQUECEDOR

A solução encontrada para a instalação do aquecedor é bastante simples se observados alguns cuidados. O principal é em relação à sua localização entre os acabamentos em algeroz da parte superior e inferior que fazem sua interface com o telhado, para que haja proporção entre ambos, centralizando-o de acordo com as instruções da Figura 91, no caso das telhas cerâmicas portuguesa e romana. Da mesma forma deve-se ressaltar a importância de ser

prevista a inserção dos módulos na fase de projeto, para se saber o melhor posicionamento destes na estrutura e para que haja paginação das telhas, garantindo melhor proporção também entre as calhas das laterais. No telhado de fibrocimento, o suporte já possui o tamanho exato de fixação na estrutura, sendo necessário apenas respeitar as medidas de afastamentos laterais indicadas na Figura 93.

O procedimento de instalação consiste em marcar os suportes nos caibros (cerâmica) ou terças (fibrocimento) após a verificação de proporções das algerozes e conferir se haverá necessidade de recorte do excedente, em caso de espaçamentos entre caibros menores que 60 cm e espaçamentos menores do que 169 cm entre terças respectivamente. Deve-se parafusar os suportes na graduação mais próxima do centro da peça de madeira e encaixar o módulo já pronto nestes, dando início à colocação das tubulações necessárias. A caixa plástica com boia deve ser colocada sob o telhado, um pouco acima da parte superior do primeiro módulo para nivelar a água contida nos dois. A fixação desta caixa nos caibros ou nas terças se dá por meio de cabos de aço.

Para concluir, pode-se afirmar que o método de instalação do aquecedor não necessita de mão de obra especializada para tal. Com um projeto que contenha orientações claras, é possível que os próprios construtores consigam realizá-la.

#### 4.5 COMPARATIVO DA PREVISÃO DE CUSTOS DO AQUECEDOR EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA EXISTENTES

Foram orçados equipamentos para aquecimento solar de água de categoria A em eficiência, de acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e os quais visam atender ao mesmo número de usuários estipulados neste trabalho (de duas pessoas), na cidade de Florianópolis, com placas coletoras do tipo planas e reservatórios térmicos em aço inoxidável. É importante esclarecer que custos de mão de obra, bem como, de instalações e acessórios, não fizeram parte dos totais apresentados. Os valores encontrados para os equipamentos podem ser vistos na Tabela 22.

Tabela 22 - Custos de reservatórios e placas existentes no mercado.

Fornecedores	Capacidade (litros)	Reservatório (R\$)	Placa (R\$)	Nº de placas	Total
Empresa 1	200	1.180,00	480,00	2un (1,4 x 1 = 1,4m <sup>2</sup> ) Total = 2,8m <sup>2</sup>	2.140,00
Empresa 2	300	1.048,00	370,00	3un (2 x 0,8 = 1,6 m <sup>2</sup> ) Total = 4,8m <sup>2</sup>	2.158,00
Empresa 3	200	1.532,00	510,00	2un (1,5 x 1 = 1,5 m <sup>2</sup> ) Total = 3 m <sup>2</sup>	2.552,00

Elaborada pela autora.

Um dado importante é o de que todas as empresas baseiam-se no valor mínimo para reserva de água quente de 100 litros por pessoa/dia, valor bem acima do mínimo estabelecido em norma, que é de 45 litros por pessoa/dia e o qual foi utilizado como base deste trabalho. Sabe-se que estes valores majorados tem intenção de dar margem de segurança para o usuário que adquire o equipamento, evitando problemas para ambas as partes. A capacidade de armazenamento total dos reservatórios dos fornecedores contatados é de 200 litros por dia. Apenas uma das empresas considera este valor ainda mais alto, de 300 litros por dia, para suprir a demanda de duas pessoas.

O valor encontrado para o custo de um módulo do aquecedor proposto neste trabalho é de R\$ 538,19, com capacidade para 26 litros, que quando multiplicado por 4 módulos (2 por pessoa), atinge o montante final de R\$ 2.152,76, totalizando 104 litros e com área coletora total de 1,48m<sup>2</sup>. Para se igualar aos produtos oferecidos pelas empresas consultadas e fornecer os 200 litros de água quente por dia da margem de segurança, esses números aumentariam para 8 módulos, com valor total de 4.305,52, porém com a área coletora semelhante às dos fornecedores de 2,96m<sup>3</sup>.

Essas informações, quando relacionadas aos orçamentos da Tabela 20, expressam em um primeiro momento, que as mudanças propostas por meio da utilização de materiais não convencionais, não promoveu diminuição de custo do sistema e ainda forneceu metade da água quente. Embora a área captadora seja equivalente, o número de módulos aumentou o dobro. Este dado faz com que se ocupe mais área de telhado para os coletores, tendo como consequência o aumento do seu preço final, o qual duplicou, ao contrário do que se almejava quando da idealização do projeto.

Entretanto, algumas observações devem ser feitas a respeito destas constatações iniciais. A primeira, seria estudar o comportamento do aquecedor por meio da realização de medições em protótipos para poder avaliar a real necessidade de armazenamento de água quente acima do recomendado pela norma para suprir a demanda com folga, no caso de ser autossuficiente e não contar com sistema auxiliar de aquecimento por acumulação a gás. Também é importante lembrar que as informações adquiridas para este comparativo norteador inicial, está baseada em custos para sua produção caseira, com valores de materiais que contemplam a confecção de um produto isolado, ao contrário dos sistemas orçados que já tem valor final de produção industrial em larga escala, pois acredita-se que a fabricação do aquecedor solar em níveis industriais fará com que seu valor diminua a ponto de ser competitivo e mais barato que os convencionais. Ainda é relevante mencionar que mesmo oferecendo um número maior de módulos para suprir a demanda em uma instalação convencional, a proposta deve ser entendida de modo mais abrangente, pois neste caso aquecedor e cobertura da edificação serão parte um do outro, mesclando suas funções, e sua melhor adequação ainda está sob processo de evolução.

#### 4.6 MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO AQUECEDOR.

A questão da manutenção e limpeza do aquecedor sempre esteve presente em todo o processo de criação do projeto. O fato de ter o reservatório de água na própria placa o diferencia dos modelos convencionais onde a limpeza é feita apenas na parte externa dos coletores. Precisava-se de uma solução que possibilitasse higienizar também a parte interna, evitando uma possível acumulação de bactérias e material orgânico, sem necessitar retirar os módulos do telhado, o que acarretaria em custos e trabalho.

Isto posto, as soluções encontradas para a limpeza dos módulos do aquecedor inspiraram-se nos mesmos procedimentos

adotados em coletores solares planos e caixas d'água. Na parte externa, o método deverá ser igual ao empregado nos modelos existentes no mercado, onde a recomendação é limpar periodicamente os vidros dos módulos com água e sabão neutro, para garantir a qualidade da entrada de luz solar nestes. Para limpar a parte interna deve-se esvaziar os módulos, retirar as esquadrias com os vidros e utilizar apenas pano e escova de cerdas macias para retirada da sujeira mais incrustada. Realizadas essas ações, deve-se recolocar as esquadrias e depositar na caixa plástica a proporção de 0,026 litros água sanitária por módulo, obedecendo a recomendação sanitária de 1 litro do produto para cada metro cúbico de água. O produto escoará da caixa para dentro dos módulos iniciado o processo de enchimento. Deve-se deixar a solução agir por cerca de duas horas, para poder esvaziá-los e reutilizá-los.

Para que seja possível realizar estes procedimentos, a algeroz de acabamento do topo dos módulos foi idealizada como uma peça separada, a qual deve ser retirada para que seja possível acessar a esquadria e separá-la do módulo, podendo ser recolocada após a finalização da limpeza.

Em caso de necessidade de troca ou reparo do módulo, este poderá ser retirado dos suportes individualmente e retornar ao seu local de origem sem grandes problemas, já que não implica em alterações estruturais do telhado e na configuração das telhas. Adverte-se apenas para o fato de que seu peso vazio é de aproximadamente 70 Kg, e devem ser adotadas medidas de segurança para seu manuseio. Também é necessário lembrar que os acabamentos em algeroz de parte do local talvez necessitem ser retirados e podem ficar comprometidos a ponto de não poderem ser reutilizados, ocasionando custos extras. Este aquecedor solar foi concebido para ter vida útil semelhante a de uma edificação, já que o material principal que o constitui é o concreto, estabelecido e consolidado na construção civil. Uma vez industrializado, se observadas as devidas recomendações de impermeabilização, manuseio, instalação, entre outros, poderá durar por muito tempo sem necessitar ser substituído. Portanto, acredita-se que a necessidade de sua retirada do local não será algo corriqueiro, carecendo apenas as esquadrias de reparos com alguma frequência.

Sendo assim, pode-se afirmar que a limpeza e manutenção do aquecedor é viável.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Após os estudos realizados nesta dissertação com o intuito de alcançar os objetivos propostos para um projeto otimizado de aquecedor solar de água integrado ao telhado, é possível afirmar que a sua materialização é viável.

Encontrou-se uma solução onde suas dimensões finais pudessem ficar integradas entre as peças das estruturas dos telhados, com volume de água que atendesse a duas pessoas e eficiência na faixa de aquecedores de nível A. Porém, embora a proposta integre reservatório e coletor em um só módulo, necessita do dobro de placas para aquecer a metade de litros quando comparado aos aquecedores pesquisados. A instalação do aquecedor pode ser realizada de modo simples, porém deve estar prevista a paginação das telhas e o seu melhor posicionamento na estrutura, por meio de projeto específico. O resultado estético de acabamentos da integração foi mais satisfatório no telhado de telhas cerâmicas, embora nesta proposta não tenha sido possível trabalhar com outros modelos. A inserção do aquecedor no telhado para fibrocimento teve melhor resultado na inserção das instalações hidráulicas, as quais possuem mais folga para manuseio. Também neste caso, pode ser inserido em outros modelos de telhas desde que com as mesmas dimensões de comprimento e largura da estudada na proposta, apenas sendo necessária a previsão de calço nos suportes para acertar sua altura em relação ao nível das cristas das ondas.

O peso do aquecedor não prejudica as estruturas onde é fixado, pois a solicitação de carga nas peças fica muito abaixo da capacidade de suporte das mesmas, e desse modo, não necessitam de reforço para comportá-lo.

A instalação do aquecedor é realizada de modo simples, não necessitando de mão de obra específica, porém, deve seguir o projeto de paginação das telhas para centralizá-lo e marca-lo na estrutura de modo a garantir a proporção dos acabamentos em algeroz, no caso das telhas cerâmicas. Para fibrocimento, esta preocupação não se faz necessária, pois o suporte tem o tamanho específico do vão onde será colocado.

A previsão de custos inicial do aquecedor solar ficou acima do esperado, quando comparada aos modelos existentes no mercado que foram pesquisados. Acredita-se que com uma tomada de orçamentos mais aprofundada, tanto de materiais como de produtos

finais em uma situação real, conjuntamente com a industrialização de sua produção, possa chegar a valores abaixo dos encontrados, a ponto de concorrer com as empresas consultadas.

É possível afirmar que a limpeza dos módulos pode ser realizada com grau de dificuldade médio, uma vez que as esquadrias devem ser retiradas para se ter acesso a sua parte interna e neste caso, seria interessante avaliar o período máximo para tal. Em relação a manutenção, acredita-se que salvo em situações específicas, não haja necessidade de substituição e retirada dos módulos do seu local de origem, por um longo período.

Para finalizar, é importante lembrar que a inclinação e orientação do aquecedor depende da inclinação e orientação do telhado (cobertura), podendo não serem as mais eficientes se não forem planejadas.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho surgiram algumas indagações relativas ao assunto da pesquisa e ficam como sugestão para trabalhos futuros:

- Explorar as possibilidades de integração com outras telhas cerâmicas de maiores dimensões compostas de capa e canal, como a paulista e colonial, e também outros modelos de telhas, como as de concreto.
- Propor soluções para estruturas de telhado para telhas metálicas e lajes;
- Elaborar um protótipo do projeto e fazer medições de aquecimento e resfriamento da água, para verificar a real eficiência;
- Aprimorar a inserção de conceitos de sustentabilidade aos materiais utilizados em relação ao seu uso e descarte;
- Explorar o design da proposta visando ampliar a capacidade por módulo, aumentando ou diminuindo o número de vidros, investigando a melhor direção para as aletas (transversal ou longitudinal), bem como a altura e largura destas;
- Estudar novas possibilidades de cobertura do módulo, tais como telhas de vidro;
- Propor melhorias para o sistema de vedação, com intuito de facilitar sua remoção para a limpeza e manutenção;
- Elaborar uma análise minuciosa de custos de produção a nível industrial do aquecedor;

- Estudar novas formas de integração do sistema de aquecimento solar de água na arquitetura, como sua inserção em fachadas por exemplo.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. Edição Abril de 2008. 138p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 128. Instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro: 1963.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6023. Informação e documentação – Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro: 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7198. Projeto e execução de Instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro: 1993.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10520. Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação** . Rio de Janeiro: 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12269. Aquecimento solar**. Rio de Janeiro: 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12225. Informação e documentação – Lombada – Apresentação** . Rio de Janeiro: 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724. Informação e documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro: 2011.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15210. Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios - Parte 1: Classificação e requisitos.** Rio de Janeiro: 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15310. Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 15569. Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto.** Rio de Janeiro: 2008.

ABREU, S. L. de. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Introdução à energia solar.** 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 14 p.

ASTRA. **Caixa de descarga elevada.** Disponível em: [http://www.astra-sa.com.br/produtos-astra.asp?id\\_linhaastra=14&id\\_produtoastra=79&nome\\_linha=Sistemas%20de%20descarga](http://www.astra-sa.com.br/produtos-astra.asp?id_linhaastra=14&id_produtoastra=79&nome_linha=Sistemas%20de%20descarga)>. Acesso em: 20 de junho de 2014.

AZAMBUJA, J. A. **Proposta de aquecedor solar integrado.** Documento para discussão interna, UFSC, 2011.

AZAMBUJA, J. A. **Incompatibilidade entre o paradigma atual de construção de edificações e princípios de sustentabilidade: proposição de novo paradigma.** Tese de Doutorado, Norie / Ppgec – UFRGS, 2013.

AZEREDO, H. A. de. **O edifício até sua cobertura.** São Paulo: E. Blucher, 1997

BARBOSA, C. **Telhas de fibrocimento**. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Católica de Goiás. Goiânia, GO. 2010 (apresentação).

BASSO, Luis Henrique. **Utilização de energia solar em sistemas de aquecimento de água residencial**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2008. 105p; 30 cm.

BELOSOL AQUECEDOR SOLAR. **Manual técnico**. Tubarão: 2010. 16p.

BRASILIT. **Catálogos Técnicos**. Disponível em: <  
<http://www.brasilit.com.br/>> Acesso em: 15 de outubro de 2013.

BUDIHardjo, I.; MORRISON, G. L.; BEHNIA, M. **Natural circulation flow trough watter-in-glass evacuated tube collectors**. Great Britain. Solar Energy, v.81, p.1460-1472, 2007.

BURBERRY,P.; ALDER-WILLIAMS, A. **Ahorro de energía**. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1983.

CABIROL, T.; PELISSOU, A.; ROUX D. **O aquecedor solar de água**. Lisboa: Cetop, 1980.

CASTOR, T. Madeiramento de telhado. **Jornal Construção e Cia**. Curitiba. Edição 18, ano 2. Disponível em: <  
<http://www.construcaoecia.com.br/conteudo.asp?ed=18&cont=42> >  
Acesso em: 27/11/2013.

COLLE, F.; ABREU, S. L. de; BORGES, T. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Aquecimento solar integrado ao projeto**. 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 58 p.

CHING, F. D. K. **Dicionário Visual de Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2000. 319 p.

COMGÁS NATURAL; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PELA CONFORMIDADE E EFICIÊNCIA DE INSTALAÇÕES (ABRINSTAL). **Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação energia solar e gás natural**. Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar e gás natural. 2011. 61p.

CONSTRUINDO MINHA CASA CLEAN. **Aquecedor de água solar**. Disponível em: <<http://construindominhacasaclean.blogspot.com.br/2013/06/aquecedores-de-agua-gas-solar-e-eletrico.html>> Acesso em: 01 de abril de 201

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 423 p .

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito**. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/content.php?catid\[\]=2&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/content.php?catid[]=2&catid[]=5). Acesso em: 05 de abril de 2012.

CRESESB. **Energia solar - princípios e aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

DUFFIE, J.A. ;BECKMAN, W.A. **Solar engineering of thermal processes**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, Incorporated, 1991. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/54801024/Solar-engineering-of-Thermal-processes-Duffie-Beckman>> Acesso em: 4 de abril de 2013.

ECOCONSTRUCT BRAZIL. **Eficiência Energética**. Disponível em: <http://portal.ecoconstruct.com.br/Portal/iConteudo/Default.aspx?p=90&i=6> Acesso em: 01 de abril de 2014.

ECO D. **Energia renovável pode atender 95% da demanda em 2050, aponta WWF**. Energia, 2011. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2011/fevereiro/energia-renovavel-pode-atender-95-da-demanda-em?tag=energia>> Acesso em: 29 de maio de 2013.

ELETROBRAS. **Regulamentação e incentivos às energias renováveis no Brasil**: VI Encontro Fórum Permanente de Energias Renováveis. Brasília, DF, 2007.

ELETROSUL. **Casa Eficiente**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente>. Acesso em: 10 dezembro, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Secagem de grãos para a produção de ração**. Disponível em: <[http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2011/abril/1a-semana/secagem-de-graos-para-producao-de-racao-e-tema-do/?searchterm=Paulo Armando de Oliveira](http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2011/abril/1a-semana/secagem-de-graos-para-producao-de-racao-e-tema-do/?searchterm=Paulo%20Armando%20de%20Oliveira)> Acesso em: 15 de abril de 2013.

ETERNIT. **Catálogos Técnicos**. Disponível em: <<http://www.etsnit.com.br/>> Acesso em: 15 de outubro de 2013.

FOLHA DE CAMPO LARGO. **Financiamento**. Disponível em: <<http://www.folhadecampolargo.com.br/vernoticia.php?id=16335&do=aviso>> Acesso em 01 de abril de 2014.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia solar: fundamentos e tecnologias de conversão heliotérmica e fotovoltaica**.: Ed universitária da UFPE. Recife, 1995.

GHISI, E. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Cálculo de propriedades térmicas e desempenho térmico de elementos e componentes das edificações.** 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 26 p.

GOULART, S.; PAPST, A. L. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Clima, homem e arquitetura.** 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 18 p.

GOULART, S.; PAPST, A. L. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Edificações eficientes.** 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 9 p.

GRUPO DE ESTUDOS EM ENERGIA (GREEN) – **Como funciona o aquecimento solar.** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <[http://www.pucminas.br/green/index\\_padrao.php?pagina=3480&PHPSESSID=0d4154e8e5e01c39db779d9b38750faf](http://www.pucminas.br/green/index_padrao.php?pagina=3480&PHPSESSID=0d4154e8e5e01c39db779d9b38750faf)> Acesso em: 23 de abril de 2013.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de materiais de construção básicos.** Instituto Federal Sul Rio-Grandense / Universidade Aberta do Brasil. Programa de Fomento ao Uso das Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação – TICS. 2011.

HINRICHES, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 527 p. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=brw6Px76Zf8C&pg=PA133&lp\\_g=PA133&dq=sistemas+ativos+para+aquecimento+de+ambientes+por+energia+solar&source=bl&ots=p\\_WPHCrcmS&sig=KTbszOrwA4lc2BO-Bhm7kvVyMk&hl=ptBR&sa=X&ei=64RIUbKEIjJnOgG114CoCA&ved=0CEcQ6AEwAA#v=onepage&q=sistemas%20ativos%20ara%20aquecimento%20de%20ambientes%20por%20energia%20olar&f=false](http://books.google.com.br/books?id=brw6Px76Zf8C&pg=PA133&lp_g=PA133&dq=sistemas+ativos+para+aquecimento+de+ambientes+por+energia+solar&source=bl&ots=p_WPHCrcmS&sig=KTbszOrwA4lc2BO-Bhm7kvVyMk&hl=ptBR&sa=X&ei=64RIUbKEIjJnOgG114CoCA&ved=0CEcQ6AEwAA#v=onepage&q=sistemas%20ativos%20ara%20aquecimento%20de%20ambientes%20por%20energia%20olar&f=false)> Acesso em: 10 de abril de 2013.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/sim/gera\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php)>. Acesso em 20 de fevereiro de 2013.

INMETRO – **Informação ao consumidor**. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/ferroeletrico.asp>>. Acesso em: 17 de junho de 2013.

ITAIPÚ BINACIONAL. **Geração**. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em: 23 de abril de 2013.

KRAUSE, C. B.; MEDEIROS, D. D. C. **Instalação para coletor solar. Dicas para arquitetura**. Apostila da disciplina conforto ambiental e eficiência energética. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em arquitetura. UFRJ, 2005. 15p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**: PW Editores. São Paulo, 1997.

LAUGHTON, Chris. **Solar Domestic Water Heating: the earthscan expert handbook for planning, design and installation**. London, 2010. 245 p.

LEROY MERLIN. **Economia e sustentabilidade com o uso de aquecedores solares de água**. Disponível em: < [http://www.leroymerlin.com.br/atitudes\\_sustentaveis/economia-e-sustentabilidade-uso-aquecedor-solar-de-agua](http://www.leroymerlin.com.br/atitudes_sustentaveis/economia-e-sustentabilidade-uso-aquecedor-solar-de-agua)> Acesso em: 01 de abril de 2014.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.

MARTINS, R.R; FRANCO, J. B. da R.; OLIVEIRA, P. A. V. de; GOMES, J. F. da S.; FRANZOZI, C. D. P. **Secador de grãos com uso de energia solar**. Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.3. n.1, jan/mar 2002. P. 29 – 35.

MESA SOLAR. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar**. Disponível em:< <http://www.mesasolar.org.uy/archivos/Nocoos.pdf>> Acesso em: 28 de maio de 2013.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

MONTANARI, V. **Pelos caminhos da água**. São Paulo: Moderna, 2003. 64p.

MOURA, J. P. **Construção e avaliação térmica de um fogão solar tipo caixa**. [www.canalenergia.com.br](http://www.canalenergia.com.br), Grupo Canal Energia, p. 1 - 209, 26 out. 2009.

NEVES, L. de O. **Chaminé Solar como elemento indutor de ventilação natural em edificações**. Campinas, SP, 2012. 142 p. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer projetos, relatórios, monografias, dissertações e teses**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 200p.

OLIVEIRA NETTO, A. A. **Metodologia da pesquisa científica: guia prático para apresentação de trabalhos acadêmicos**. Florianópolis: Visual Books, 2006. 176p.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Carga de demanda**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/historico/carga\\_propria\\_de\\_demanda\\_out.aspx](http://www.ons.org.br/historico/carga_propria_de_demanda_out.aspx)> Acesso em: 23 de abril de 2013.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Curitiba, PR: Hemus, 2002. 358p.

PAPST, A. L.; GHISI, E.; COLLE, F.; ABREU, S. L. de; GOULART, S.; BORGES, T. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação**. 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 170 p.

PAPST, A. L.; GHISI, E. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Iluminação natural e artificial**. 1. ed. Florianópolis/SC, 2005. 31 p.

PELUSO, J. M. **Análise da influência de características físicas de sistemas coletores solares de placa plana para aquecimento de água**. Florianópolis, SC, 2002. 251p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1. ed. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. v. 1. 60 p.

PORTAL DIA DE CAMPO (EMBRAPA). **Silo secador movido à energia solar**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=24438&secao=Pacotes%20Tecnol%F3gicos#null>> Acesso em: 15 de abril de 2013.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N.G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física**. v.3. São Paulo: Moderna, 2007. 508p.

RIBEIRO, F.A.P. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. Macapá, 2009. CEAP - Centro de Ensino Superior do Amapá. (Apostila). Disponível em: <[http://www.ceap.br/v2/artigos\\_docentes.php](http://www.ceap.br/v2/artigos_docentes.php)>. Acesso em: 26 de novembro de 2013.

RODRIGUES, W.C. **Metodologia científica**. Paracambi: FAETEC/IST, 2007.

ROMAN, H.R. **Técnicas de construção civil II**. Florianópolis: UFSC, 2013. (Apresentação da disciplina de Técnicas de construção civil II)

RÜTHER, R. **Energia Solar Fotovoltaica**. Florianópolis: UFSC, 2012. (Apostila da disciplina ECV4219)

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.

SALGADO, J.C.P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. São Paulo: Érica, 2012.

SANTOS, Ì. P. dos. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. Florianópolis, SC, 2009. 110f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

SANTOS, C. A. dos. **A descoberta do efeito fotoelétrico**. Instituto de Física. UFRGS, 2002. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricodecoberta.html>>. Acesso em: 09 de abril de 2013.

SOLARBOOK. **Solar Radiation on the Earths Surface**. Disponível em: <<http://www.solarbook.ie/solar-panel-physics.html>> Acesso em: 27 de maio de 2013.

SOLETROL. **Aquecedores solares de água**. Manual técnico. São Paulo: 2002. 32 p.

SOUZA, L. F. **Dessalinização como fonte alternativa de água potável**. Norte Científico. Boa Vista, v.1, n.1, dezembro de 2006. p. 85 – 97.

SUNFLOWER RENEWABLE ENERGY. **Informações sobre projeto de energia solar De aquecimento de água**. Disponível em: <[http://www.sunflower-solar.com/index\\_pt.php?act=content&scheduler\\_id=8037](http://www.sunflower-solar.com/index_pt.php?act=content&scheduler_id=8037)> Acesso em 01 de abril de 2014.

THERMOSOLAR. **Sistemas de circulação forçada**. Disponível em: <<http://www.thermosolar.com.pt/htm/Sistemas.htm> > Acesso em: 28 de maio de 2013.

TRANSEN. **Manual de aquecimento solar**. São Paulo: Senac, 2004. 44p.

TRANSEN. **Como funciona o aquecedor solar para piscinas**. Disponível em :< <http://www.transsen.com.br/seu-projeto> > Acesso em: 16 de abril de 2013.

TECNOSOL. **O que é um aquecedor solar?**. Disponível em: <[http://www.tecnosol.ind.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=67&Itemid=87](http://www.tecnosol.ind.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=87)> Acesso em: 22 de abril de 2013.

TOP TELHA. **Inclinação do telhado**. Disponível em: [http://www.toptelha.com.br/inclinacao\\_telhado.php](http://www.toptelha.com.br/inclinacao_telhado.php)>. Acesso em: 09/10/2013.

UFRGS. **Radiasol**. Porto Alegre: Laboratório de Energia Solar-GESTE-PROMEC 2001.

VIDA SOLAR. **Coletor solar metaliplast**. Disponível em: <<http://www.vidasolar.com.br/coletor-solar-metaliplast> >. Acesso em 01 de abril de 2014.