

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉRMICA
DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO
CUSTO.**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Como parte dos requisitos para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Marcio Rodrigues Gomes

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza Có-orientador:
Prof. Dr. Fábio Barbosa Ferraz

Natal, Abril/2010

Catlogação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉRMICA
DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO
CUSTO.**

Marcio Rodrigues Gomes

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Dr.- Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN (orientador)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.- Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN

Prof. Dr.- José Ubiragi de Lima Mendes – UFRN

Prof. Dr.- Roberto Silva de Souza – IFRN

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Dedico este trabalho aos meus pais Marino e Marina Gomes, a meus irmãos Marcelo, Marcos e Maurício, a minha mulher Almerinda Andrea e aos meus filhos Felipe e João Pedro.

AGRADECIMENTOS

Ao IFBA por ter me proporcionado a oportunidade de fazer o Mestrado, e pelo apoio financeiro;
À Coordenação de Pós Graduação do IFBA, na figura de professora Núbia;
A Luiz Guilherme, meu orientador, que acreditou em mais um aluno do IFBA e, mesmo distante, esteve sempre disposto a ajudar. Um exemplo a ser seguido dentro e fora da universidade;

À minha mulher Almerinda Andrea, companheira, amiga e maior incentivadora do meu crescimento profissional;

Ao IFBA Santo Amaro, na figura da Diretora Marlene Socorro;

Aos colegas do IFBA Santo Amaro, pela compreensão durante esses dois anos que estive envolvido com o mestrado;

Ao meu colega e amigo Fabio Ferraz, co-orientador desse trabalho;

Ao técnico em Eletromecânica Danilo do IFBA Santo Amaro, braço forte e sempre ali disposto a contribuir e a aprender. Sem você o coletor não teria saído;

Aos professores do PPGEM - UFRN, na figura de seu coordenador Rubens Maribondo; Aos Professores Ubiragi (UFRN) e Roberto Silva (IFRN) por terem participado da banca de defesa da dissertação e por terem contribuído para o êxito trabalho;

E a todos não citados nominalmente que de alguma maneira contribuíram para a finalização desse trabalho. Os mais fraternos agradecimentos.

RESUMO

Estudou-se a viabilidades de utilização de um Sistema de Aquecimento Solar de Água (SAS) de baixo custo, para três configurações. Nas **configurações I e II** o coletor possui grade absorvedora composta por seis tubos de PVC em paralelo colocados sobre uma telha de fibrocimento de 2,44 m x 0,50 m, perfazendo uma área de 1,22 m². Na configuração II, os tubos de PVC receberam cobertura transparente confeccionadas em garrafas PETs. A **configuração III** utiliza um coletor composto por 12 tubos de PEAD preto, apoiados sobre quatro telhas de fibrocimento de 2,44 m x 0,50 m, sobrepostas duas a duas e intercaladas por um recheio de lã de vidro, perfazendo uma área exposta à radiação global incidente de 2,44m², com as duas telhas de cima pintadas de preto fosco. Nessa configuração, os tubos de PEAD substituem os convencionais tubos de PVC pintados de preto. O custo total desses SAS, para a configuração III, a mais econômica, ficou em torno de R\$ 150,00. Para as configurações testadas o regime de

funcionamento do coletor foi termossifão. O estudo demonstrou que os sistemas propostos têm boa eficiência térmica, são de fácil instalação e manuseio e, têm baixo custo em relação aos convencionais.

Palavras-chave: Energia solar, coletor solar, aquecedor solar, baixo custo.

ABSTRACT

We studied the feasibility of using a system of Solar Water Heating (SAS) with low cost, for three configurations. In configurations I and II have the collector grid absorber composed of six PVC tubes placed in parallel on the tile cement. In configuration II, the PVC tubes were transparent cover made of plastic bottles. Configuration III uses a collector composed of 12 black HDPE pipes, supported on four cement tiles 2.44 m x 0.50 m, two by two overlapping and interspersed with a filling of glass wool, comprising an area exposed to the global radiation incident of 2.44 m², with the top two tiles painted matte black. In this configuration, the HDPE pipes replace conventional PVC pipes painted black. The total cost of SAS for configuration III, the most economical, was around \$ 150.00. For the configurations tested the system of operation was thermosyphon collector. The study showed that the proposed systems have good thermal efficiency, are easy to install and handle and have low cost compared to conventional.

Keywords: Solar energy, solar collector, solar heater, low cost.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo	Geral
.....	21
1.1.2 Objetivos específicos.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. Cálculo do consumo de energia elétrica de um chuveiro elétrico	25
2.2. As fontes renováveis no contexto da preservação ambiental	26
2.3. Sistema de aquecimento solar com coletores de placa plana	28
2.4. Os coletores alternativos no mundo	30
2.5. O cloreto de polivinila - PVC	37
2.6. O material PET (polietileno tereftalato) e suas características	40

2.2.1	Reação de obtenção do PET	41
2.7.	O PEAD	42
2.7.1.	Introdução	42
2.7.2.	Tipos de Polietileno	43
2.7.3.	Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE)	43
2.7.4.	Propriedades	45
2.7.5.	Aplicações	48
2.7.6.	Degradação térmica	49
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1.	Construção do SAS – CONFIGURAÇÕES I (PVC SEM COBERTURA), II (PVC COM COBERTURA) e III (PEAD SEM COBERTURA).	51
3.1.1	Configuração I	51
3.1.2.	Configuração II	52
3.1.3.	Configuração III	55
3.2.	Posicionamento do SAS	65
3.2.1	Orientação geográfica	65
3.3.2.	Ângulo de inclinação	65
3.3.	Calibração dos termopares.....	66
3.4.	Desenvolvimento teórico	70
3.4.1	Determinação dos parâmetros térmicos	70
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
4.1.	Ensaio das configurações I e II.	72
4.2.	Ensaio da configuração III.	76
4.2.1.	Rendimento do coletor	76
5.	CONCLUSÕES	86
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa da radiação solar global média típica (Wh/m ² . dia).....	25
Figura 2.2. Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.....	26
Figura 2.3 Esquema básico de um sistema de aquecimento solar convencional.....	31
Figura 2.4- Detalhe do princípio de funcionamento do coletor plano.....	32
Figura 2.5. Processo de desidrocloração do PVC.....	42
Figura 2.6. Processo de reação para obtenção do PET.....	43
Figura 2.7. Representação esquemática da estrutura do PEAD.....	46
Figura 3.1. Coletor solar alternativo em estudo (configuração I).....	53
Figura 3.2. Coletor solar alternativo em estudo (configuração II).....	56
Figura 3.3. Reservatório térmico alternativo proposto (configurações I e II).....	57
Figura 3.4. Detalhe das conexões dos tubos de PEAD com os três de PVC pintados de preto.....	57
Figura 3.5. Detalhes do isolamento térmico do coletor.....	58
Figura 3.6. Detalhes da montagem do suporte em alumínio.....	59
Figura 3.7. Detalhe dos 12 tubos de PEAD da grade absorvedora.....	59
Figura 3.8. Detalhe das conexões na parte inferior do coletor.....	60
Figura 3.9. Detalhes das conexões na parte superior do coletor.....	60
Figura 3.10. Detalhe das conexões de PVC pintadas de preto fosco.....	60
Figura 3.11. Tambor de PE para armazenamento de água quente.....	61
Figura 3.12. Detalhe dos furos vistos internamente.....	61

Figura 3.13 Detalhe dos furos no reservatório, vistos frontalmente.....	62
Figura 3.14. Detalhe dos furos no reservatório, vistos lateralmente.....	62
Figura 3.15. Termopar tipo K (cromel-alumel).....	64
Figura 3.16. Detalhes da instalação dos termopares.....	65
Figura 3.17. Detalhes da instalação dos termopares e da válvula solenóide.....	66
Figura 3.18. Termômetro tipo datalogger.....	66
Figura 3.19. Orientação geográfica dos coletores.....	67
Figura 3.20. Orientação geográfica do coletor em estudo.....	67
Figura 3.21. Ângulo de inclinação dos coletores.....	68
Figura 3.22. Termopares fixados ao termômetro de mercúrio.....	69
Figura 3.23. Ebulidor utilizado para aquecer a água.....	69
Figura 3.24. Curvas de calibração dos termopares.....	71
Figura 4.1. Comparação das médias das temperaturas nas superfícies superior e inferior da placa absorvedora entre os dias 13 e 18/01/2010.....	83
Figura 4.2. Comparativo dos parâmetros térmicos das três configurações de coletores ensaiados.....	88
Figura 4.3. Comparativo das perdas térmicas das três configurações de coletores ensaiados.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais propriedades do PVC.....	40
Tabela 2.2. Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.....	48
Tabela 2.3. Comparação as principais características do PEAD e do PEBD.....	51
Tabela 3.1. Dados de localização da cidade de Santo Amaro/Ba.....	68

Tabela 3.2. Relação entre as temperaturas medidas pelo termômetro de referência (termômetro de mercúrio) e os termopares.....	70
Tabela 3.3. Erros dos termopares em relação ao termômetro de referência.....	70
Tabela 4.1. Resultados médios gerais para os três dias ensaiados (configuração I).....	75
Tabela 4.2. Resultados médios gerais para os três dias ensaiados (configuração II).....	75
Tabela 4.3. Valores dos parâmetros de perda térmica para as configurações I e II.....	76
Tabela 4.4. Resultados dos testes realizados com o reservatório térmico alternativo proposto.....	78
Tabela 4.5. Resumo dos dados do coletor no dia 13/01/2010.....	79
Tabela 4.6. Resumo dos dados do coletor no dia 14/01/2010.....	80
Tabela 4.7. Resumo dos dados do coletor no dia 15/01/2010.....	80
Tabela 4.8. Resumo dos dados do coletor no dia 16/01/2010.....	80
Tabela 4.9. Resumo dos dados do coletor no dia 17/01/2010.....	81
Tabela 4.10. Resumo dos dados do coletor no dia 18/01/2010.....	81
Tabela 4.11. Resumo dos dados do coletor no período de 13 a 18/01/2010.....	81
Tabela 4.12. Valores dos parâmetros de perda térmica para a configuração II.....	82
Tabela 4.13. Valores dos parâmetros de perda térmica para as três configurações.....	84
Tabela 4.14. Média dos dados coletados do reservatório no dia 13/01/2010.....	85
Tabela 4.15. Média dos dados coletados do reservatório no dia 14/01/2010.....	85
Tabela 4.16. Média dos dados coletados do reservatório no dia 15/01/2010.....	85
Tabela 4.17. Média dos dados coletados do reservatório no dia 16/01/2010.....	86
Tabela 4.18. Média dos dados coletados do reservatório no dia 17/01/2010.....	86
Tabela 4.19. Média dos dados coletados do reservatório no período de 13 a 17/01/2010.....	86

Tabela 4.20. Resultados médios gerais para cada configuração estudada.....87

SÍMBOLOS

ΔT	Gradiente de temperatura entre entrada e saída do fluido	[°C]
$m\cdot$	Vazão mássica	[kg/s]
A	Área do coletor (área exposta à radiação solar)	[m ²]
c_p	Calor específico da água	[KJ/kg · K]
g	Constante da aceleração da gravidade	[m/s ²]
I	Radiação solar global	[KW/m ²]
k_{ar}	Condutibilidade térmica do ar	[W/m. K]
$P_{abs.}$	Potência absorvida pelo coletor	[W]
P_p	Potência perdida pelo coletor	[W]
P_u	Potência transferida ao fluido de trabalho	[W]
T_{amb}	Temperatura ambiente	[°C]
T_e	Temperatura média da superfície superior da placa absorvedora	[°C]
U_{loss}	Coefficiente global de perda térmica	[W/m ² .K]
PEAD	Polietileno de Alta Densidade	
PVC	Cloreto de Polivinila	

Alfabeto grego

α	Coefficiente de dilatação térmica	[1/ K]
σ	Constante de Stefan-Boltzman (5,67 x 10 ⁻⁸).	[W/m ² . K ⁴]
ρ	Peso específico	[g/cm ³]
ν	Viscosidade cinemática	[m ² /s]
δ	Espessura da camada de fluido	[m]
η_t	Rendimento térmico do coletor e/ou sistema	[%]
ϵ_{placa}	Emissividade da placa absorvedora	

1. INTRODUÇÃO

As previsões mais pessimistas dos cientistas ambientais estão se tornando realidade e, assim torna-se imprescindível a substituição de fontes fósseis por energias limpas e abundantes.

O aquecimento solar de água, a geração indireta de energia elétrica através do uso de concentradores solares e a conversão direta da energia solar em energia elétrica através do uso das células fotovoltaicas representam aplicações extremamente viáveis e suas utilizações têm crescido exponencialmente em todo o mundo, principalmente nos países mais desenvolvidos.

O Brasil é um país privilegiado em relação ao potencial solar disponível, e a região nordeste apresenta um potencial médio em torno de 600w/m^2 , chegando a picos em torno de 1200W/m^2 . Esse potencial coloca a região nordeste como uma região extremamente viável para a implantação de quaisquer instalações solares, para suas várias aplicações.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2007, 45 % do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações, sendo 80 % correspondente a empresas e residências e 20 % a administração pública, com cifras alcançando 13,8 % do Produto Interno Bruto do país (VARELLA, 2004).

O setor residencial responde por 23 % do consumo nacional de energia e o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência, correspondendo a 25%, perdendo apenas para o refrigerador/freezer que corresponde a 30%. Sua utilização atinge, no horário de pico, das 18:00 às 19:00 horas, o correspondente a 8,5 % da demanda nacional de energia neste horário (VARELLA, 2004).

Estes dados apontam a importância das energias alternativas para o aquecimento de água destinada ao banho em substituição aos chuveiros elétricos para propiciar a diminuição do consumo de energia elétrica, trazendo alívio à matriz energética brasileira.

Preocupado com a situação econômica das famílias brasileiras que têm renda entre um e três salários mínimos, e que têm gasto significativo com a utilização do chuveiro elétrico resolveu-se estudar um sistema solar de aquecimento de água alternativo, visando à redução do gasto doméstico com energia elétrica.

Capítulo 1 - Introdução

Numa experiência de sucesso, implementada pelo governo de Minas Gerais, através do Programa Lares Habitação Popular (PLHP), comprovou-se uma redução do consumo de energia elétrica entre 30% e 40%. Esse é o percentual aproximado da economia que a instalação do aquecedor solar proporciona a uma família de quatro pessoas, dois adultos e duas crianças, moradora de um conjunto habitacional do PLHP.

Em dinheiro, a economia mensal pode chegar a até R\$ 80,00, e a família beneficiada pode usar esta economia em outras despesas domésticas, melhorando a sua qualidade de vida na alimentação, compra de material escolar, vestuário, no pagamento da prestação da casa e até na aquisição de aparelhos eletroeletrônicos.

A moradora de Dolores de Campos (MG), Fernanda Aparecida da Silva Lourenço, por exemplo, consumiu em outubro de 2007 136 kWh e pagou uma conta no valor de R\$ 101,82. Após a instalação do aquecedor solar, a sua conta chegou a R\$ 23,98 por um consumo de 45 kWh. A moradora garante que o aquecedor solar favoreceu muito a vida dela e do marido Eduardo José Lourenço.

Outra beneficiada foi Maria Aparecida de Assis, moradora do Conjunto Habitacional São Francisco em Itatiaiuçu. “Estou adorando. A luz abaixou bastante. Agora eu tomo meu banho mais a vontade, antes eu não podia fazer isso”, disse. Ela também conta que toma 12 remédios por dia e usa o dinheiro que economiza com a conta de energia elétrica para pagar a farmácia.

O chuveiro elétrico é responsável por cerca de 25% do consumo de energia elétrica de uma residência (COELBA, 2008). Hoje em dia, a maioria dos chuveiros é fabricado com potência média de aproximadamente 5.500W para a chave no inverno ou quente, e de aproximadamente 3.850W para a chave no verão ou morno (LORENZETTI, 2008). Isso quer dizer que um chuveiro elétrico consome cerca de 5500 ou 3850 joules de energia elétrica por segundo. Logo, concluímos que quanto mais tempo o chuveiro fica ligado, mais se gasta energia elétrica.

Os dispositivos utilizados para a produção de água quente através da utilização da energia solar são os coletores que podem ser divididos em dois grupos: os convencionais e os alternativos, sendo os convencionais mais utilizados. Tais coletores geralmente são

Capítulo 1 - Introdução

constituídos por tubos absorvedores de cobre, chapa absorvedora de cobre ou alumínio, cobertura de vidro, isolamento térmico de lã de vidro e a grade absorvedora é confeccionada na configuração em paralelo.

Os sistemas de aquecimento são geralmente constituídos por mais de um coletor, ligados geralmente em paralelo, trabalhando em regime de termossifão ou fluxo forçado, sendo a primeira opção a mais empregada, utilizando-se um armazenador térmico geralmente de cobre ou aço inoxidável e de tubos para a condução de calor, também de cobre ou CPVC. Tais sistemas são de preço ainda relativamente caro, não estando acessível à maioria da população. Para uma residência com quatro pessoas, o sistema fica acima de R\$ 2.000,00.

Buscando-se formas para baratear o custo dos sistemas de aquecimento, vem-se estudando a mais de 15 anos no âmbito do LES/UFRN sistemas alternativos para tornar viável o uso da energia solar para o fim proposto tornando-a acessível a uma maior parcela da população, como forma de socializar o seu uso.

Esse trabalho apresenta as viabilidades térmica e econômica de três sistemas de aquecimento solar de água que utilizam um coletor construído a partir da utilização de telhas de fibrocimento usadas em coberturas de residências e tubos absorvedores de PVC e PEAD.

Serão apresentados resultados relativos a duas configurações do coletor com tubos absorvedores de PVC: com e sem cobertura transparente. A cobertura transparente, principal inovação do trabalho, é composta por garrafas PET'S, em substituição ao vidro plano transparente convencionalmente utilizado. O coletor com tubos de PEAD apresenta apenas uma configuração, sem cobertura transparente.

Esses coletores poderão ser usados para constituírem o telhado de uma residência, proporcionando o aquecimento da água a ser consumida pelos seus habitantes.

Outra inovação do presente trabalho é a utilização de um novo tipo de reservatório térmico para o armazenamento da água aquecida pelo coletor, em substituição aos reservatórios convencionais de cobre ou inox, de elevado custo, em torno de R\$ 1.000,00 para 200 litros.

Capítulo 1 - Introdução

Serão analisados dados relativos ao sistema de aquecimento proposto, composto pelo coletor e reservatório térmico, trabalhando em regime de termossifão, com grades absorvedoras formadas por seis tubos de PVC e doze tubos de PEAD em paralelo.

Quando se opta pelo uso do plástico (PVC e PEAD), como elemento absorvedor e condutor, tem-se que investigar os efeitos das degradações térmica e por ultravioleta, inerentes à exposição de tubos plásticos aos efeitos da radiação solar.

O PEAD utilizado nesse trabalho é pigmentado com negro-de-fumo com tamanho de partícula de 25 nm, que confere maior proteção contra a degradação por ação dos raios UV. Se considerarmos uma temperatura de exposição de 60°C e uma tensão circunferencial de 6,19 MPa, a vida útil desse material será de 6 anos (**Tigre SA - Tubos e Conexões**).

Os sistemas de aquecimento em estudo são destinados à obtenção de água quente destinada ao banho de uma família com quatro pessoas em substituição ou complementação ao chuveiro elétrico.

O estudo proposto está dividido em cinco capítulos que têm as seguintes abordagens:

O capítulo 1 apresenta os sistemas de aquecimento propostos, suas inovações e características, e os objetivos do estudo.

O capítulo 2 apresenta um estudo sobre o estado da arte nos campos da energia, dos coletores alternativos e das degradações inerentes à exposição do PVC e PEAD à radiação ultravioleta e ao calor, e as propriedades mecânicas e físicas dos materiais utilizados na fabricação do sistema de aquecimento proposto.

O capítulo 3 apresenta a proposta em estudo, mostrando o coletor construído, seu princípios de funcionamento e processos de fabricação e montagem, e suas diferenças em relação aos coletores convencionalmente utilizados. Apresenta, também, um reservatório térmico alternativo de baixo custo para a substituição dos reservatórios usuais, de cobre ou aço inoxidável, de custo elevado. Apresenta também a metodologia experimental empregada.

Capítulo 1 - Introdução

O capítulo 4 mostra os resultados e as discussões dos dados obtidos no levantamento de desempenho do sistema proposto.

O capítulo 5 trata das conclusões e sugestões, em função da análise dos resultados obtidos.

O capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas.

O capítulo 7 mostra os anexos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar as viabilidades térmica e econômica da utilização de três sistemas solares de aquecimento, alternativos e de baixo custo, destinados ao aquecimento de água para banho para uma família de quatro pessoas, comparando-os.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Projetar e construir os três sistemas de aquecimento solar de água;
2. Ensaiar os tipos de coletores construídos;
3. Determinar seus parâmetros térmicos;
4. Demonstrar sua viabilidade para o fim proposto;
5. Comparar os resultados entre as configurações estudadas;
6. Avaliar os níveis de temperatura dos tubos absorvedores para diagnóstico da propensão à degradação inerente ao uso do PVC e PEAD como elemento absorvedor de radiação solar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Olhando para o futuro, percebe-se que as energias renováveis (solar, eólica e geotérmica) contribuirão de forma crescente com matriz energética mundial. O custo da energia tenderá a ser sempre maior e a crise de combustíveis fósseis e de madeira tornar-se-á mais e mais aguda. Nessa tendência, as formas de suprimento de energia estão determinando o curso dos desenvolvimentos social e econômico. O suprimento de energia será a base para um elevado e sustentável nível de segurança e conforto. A energia também determinará o balanço ecológico.

As tecnologias e fontes energéticas que se usam nos dias atuais influenciarão significativamente o amanhã. Há também uma grande evidência de que a maioria das tecnologias energéticas em uso não é ecologicamente apropriada e tem o potencial de provocar sérias e irreversíveis mudanças climáticas, bem como a constatação de que a quase totalidade destas fontes energéticas não é renovável e estão se esgotando rapidamente. Em função dessas percepções, o direcionamento às fontes renováveis de energia é inevitável. As fontes de energia eólica, solar e de biomassa são abundantes, amplamente distribuídas e ecologicamente atrativas. Essas fontes não poluem a atmosfera e não contribuem para o aumento da temperatura do planeta.

As características especiais das energias renováveis que as tornam atrativas são: uso e produção descentralizada, envolvendo um grande número de produtores e consumidores e custo inicial relativamente mais alto comparado a sistemas convencionais, mas de baixo custo de manutenção.

A radiação solar é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, podendo ser aproveitada sob várias formas, tais como a captura pela biomassa, o aquecimento de ar e água para fins domésticos e industriais, fotoeletricidade para pequenos potenciais e fontes para ciclos termodinâmicos variados (Pereira et al, 2002).

Os países tropicais, devido a suas posições geográficas, possuem grande potencial energético, sendo, portanto, bastante favoráveis ao uso de equipamentos solares. O Brasil, como mostra a Figura 2.1, possui significativo potencial solar com disponibilidade

equivalente a $1,13 \times 10^{10}$ GWh, em quase todo o ano, como acontece no nordeste (QUEIROZ, 2005).

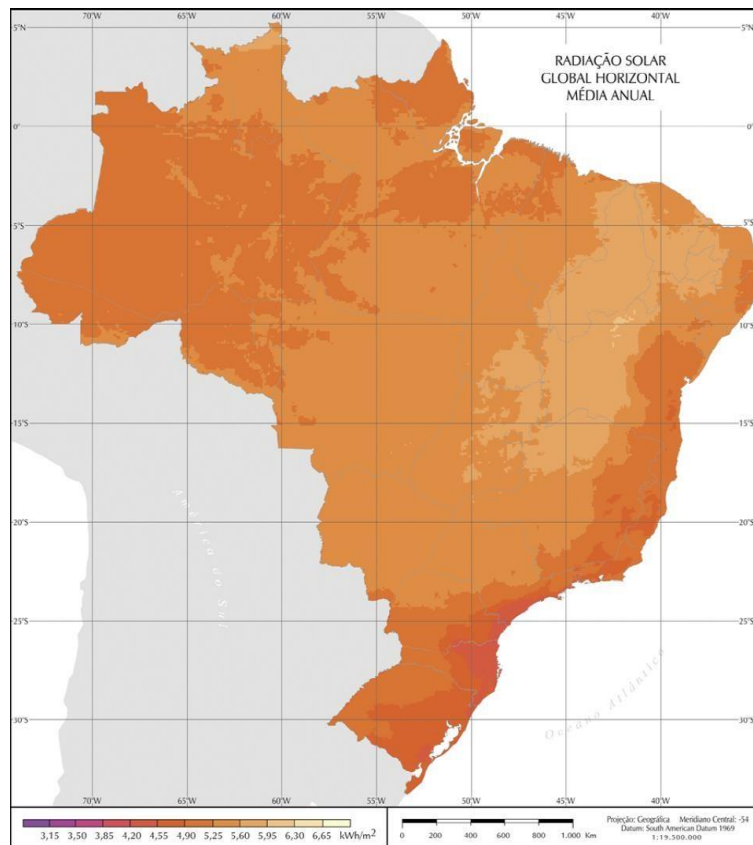


Figura 2.1. Mapa da radiação solar global média anual típica ($\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$) – Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2006).

Os maiores índices de radiação são observados na Região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco, onde a média anual é de aproximadamente $6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$. Os menores índices são observados no Litoral Sul-Sudeste, incluindo a Serra do Mar, e na Amazônia Ocidental, respectivamente. No Amapá e Leste do Pará, onde também se observam índices inferiores à média nacional. É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético (www.inpe.gov.br).

Tratando-se do Rio Grande do Norte, considera-se uma Radiação Solar Global média entre $0,5$ e $0,7 \text{ kWh/m}^2$, com nível de insolação médio da ordem de nove horas por dia e com picos de radiação em torno de $1,2 \text{ kWh/m}^2$ (Lopo, 2010).

A Figura 2.2 apresenta um diagrama com os principais processos de interação da radiação solar e da radiação térmica na atmosfera. Trata-se de um esquema bastante simplificado dos processos envolvidos no balanço radiativo do planeta, onde apenas o efeito médio global de todos os processos está representado. O valor de cada componente pode variar significativamente de uma região para outra do planeta e de um período do ano para outro (Lopo, 2010).

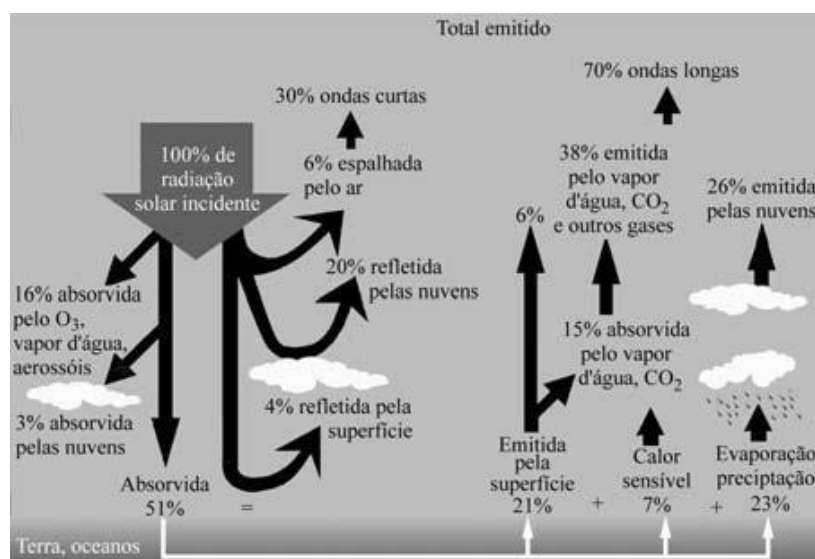


Figura 2.2. Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. (MARTINS et al, 2004).

As nuvens, a superfície do planeta, os gases e partículas atmosféricas refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos produzindo aquecimento do sistema e causando evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor sensível). A absorção da radiação solar é seletiva, sendo o vapor d'água, o ozônio (O₃) e o dióxido de carbono (CO₂) os principais agentes absorvedores. A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro de radiação eletromagnética sendo que 6% são provenientes da superfície e 64% têm origem em nuvens e constituintes atmosféricos.

Para Aldabo (2002,b) de toda a radiação solar que incide na nossa atmosfera, somente 25 % chega ao solo terrestre de forma direta. Ao longo da atmosfera a radiação solar sofre

reflexões, absorções e dispersões (ver Fig. 2.2). A radiação global que coleta-se em solo, é fruto então da radiação direta, difusa e refletida.

2.1. Cálculo do consumo de energia elétrica de um chuveiro elétrico

Considere-se uma família com quatro pessoas onde cada uma toma dois banhos por dia, levando em média 5 minutos¹ com o chuveiro ligado por banho. Chega-se à conclusão que esta família mantém o chuveiro ligado cerca de 40 minutos por dia. No final de um mês isso representa 1200 minutos ou 20 horas. Acompanhe abaixo os cálculos do consumo de energia do chuveiro elétrico dessa família.

Cálculo da energia consumida por mês com a chave do chuveiro elétrico no inverno ou quente:

$$E_{(energia\ consumida)} = P_{(potência\ em\ kW)} \cdot T_{(tempo\ em\ horas)}$$

$$E_{(energia\ consumida)} = 5,5kW \cdot 20h/mês$$

$$E_{(energia\ consumida)} = 110kWh/mês$$

Cálculo do valor em reais (R\$) correspondente a esse consumo:

Considerando que essa família mora em Salvador no bairro da Pituba, onde a Coelba cobra cerca de R\$ 0,47 por kWh de energia consumida tem-se:

$$Valor(R\$) = E_{(energia\ consumida)} \cdot Valor\ do\ kWh$$

$$Valor(R\$) = 110\ kWh \cdot 0,47/kWh$$

$$Valor(R\$) = 51,70/mês$$

Cálculo da energia consumida por mês com a chave no verão ou morno

$$E_{(energia\ consumida)} = P_{(potência\ em\ kW)} \cdot T_{(tempo\ em\ horas)}$$

$$E_{(energia\ consumida)} = 3,85kW \cdot 20h/mês$$

$$E_{(energia\ consumida)} = 77kWh/mês$$

¹ Esse tempo pode variar de pessoa para pessoa, aumentando ou diminuindo o consumo.

Cálculo do valor em reais (R\$) correspondente a esse consumo:

Considerando que essa família mora em Salvador no bairro da Pituba, onde a Coelba cobra R\$ 0,47 por kWh de energia consumida tem-se:

$$\text{Valor(R\$)} = E_{(\text{energia consumida})} \cdot \text{Valordo kWh}$$

$$\text{Valor(R\$)} = 77 \text{ kWh} \cdot 0,47/\text{kWh}$$

$$\text{Valor(R\$)} = 36,19/\text{mês}$$

Se essa família instalasse um aquecedor solar em sua residência, conseguiria economizar, na média, por ano, cerca de 70% da energia elétrica consumida pelo chuveiro, visto que há períodos chuvosos e nublados nos quais não se tem aquecimento adequado por radiação solar e, nesses casos, necessita-se de uma complementação através da utilização de um sistema convencional como, por exemplo, o próprio chuveiro elétrico.

Fazendo-se uma conta simples, se chegará à conclusão de que, em cinco anos, esta família economizará, em media, cerca de R\$ 1.850,00 para serem gastos com outros bens, melhorando a qualidade de vida da família, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta. Aparentemente, é uma economia pequena se pensar-se individualmente, mas ao se massificar o uso desses sistemas, contribuiria-se significativamente para a qualidade de vida das futuras gerações.(GOMES, 2009)

2.2. As fontes renováveis no contexto da preservação ambiental

O meio ambiente muda continuamente devido a causas naturais (erupções vulcânicas, terremotos, queimadas iniciadas naturalmente e atividade solar) sobre as quais se tem pouco ou nenhum controle e devido a causas decorrentes da atividade humana que até o século passado desempenhavam um papel de menor importância nas mudanças climáticas e ambientais no planeta.

Nosso planeta e meio ambiente estão sofrendo as mudanças mais drásticas na recente história da humanidade e as atividades humanas são os maiores agentes dessas mudanças – redução da camada de ozônio, aquecimento global, desflorestamento,

extinção de espécies e chuva ácida e são os exemplos mais evidentes (CLIMATE CHANGE, 1992)

A conexão energia-meio ambiente tem sido objeto de muitas pesquisas e algumas vezes é possível estabelecer a relação causa e efeito entre o uso de energia, desenvolvimento socioeconômico e danos ao meio ambiente.

O avanço no desenvolvimento humano (caracterizado por parâmetros socioeconômicos) está fortemente relacionado com consumo de energia. Em países onde o consumo anual per capita de energia é inferior a 1 (um) TEP (tonelada equivalente de Petróleo), as taxas de mortalidade infantil e analfabetismo são elevadas e a expectativa de vida é baixa.

O crescimento do consumo de energia mais que triplicou após a Revolução Industrial. Estudos recentes mostram uma tendência de crescimento da demanda energética de 4% em consequência da melhoria de qualidade de vida nos países em desenvolvimento. Com essa taxa de crescimento que significa uma duplicação a cada 17 anos, é provável que, na segunda década deste século, o consumo de energia nos países em desenvolvimento ultrapasse o consumo dos países desenvolvidos em virtude da melhoria dos parâmetros socioeconômicos nos países do Terceiro Mundo (GOLDEMBERG, 1998).

O aumento da demanda energética, a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais causada por crises políticas em regiões produtoras e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente vêm levando o homem a pesquisar, desenvolver e utilizar fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ao ambiente.

No nordeste brasileiro, por conta de sua posição geográfica em relação ao equador, é particularmente interessante o aproveitamento da energia solar. A radiância em solos nordestinos flutua no intervalo de 1.752 KWh/m² a 2.190 KWh/m². Num comparativo rápido, a França recebe algo em torno de 1.000 KWh/m² a 1.500kWh/m², enquanto no deserto do Sahara verifica-se radiância por volta de 2.600kWh/m² por ano (ALDABO, 2002).

2.3. Sistema de aquecimento solar com coletores de placa plana

O coletor solar é o equipamento principal do sistema de aquecimento solar de água sendo responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido de trabalho sob a forma de energia térmica.

Na Figura 2.3, são apresentados os seus componentes principais quais sejam: **caixa**: geralmente de alumínio suporta e protege todos os componentes do coletor; **Cobertura transparente**: geralmente de vidro, permite a passagem da radiação e reduz a perda de calor para o meio; **Tubulação**: geralmente de cobre, são tubos interconectados através dos quais o fluido circula dentro e fora do coletor; **Placa de absorção**: é responsável pela absorção e transferência de energia solar para o fluido de trabalho; **Reservatório térmico**: para acúmulo de água quente geralmente confeccionado em aço inoxidável; **Reservatório de água fria**: para alimentar o coletor e também a residência.

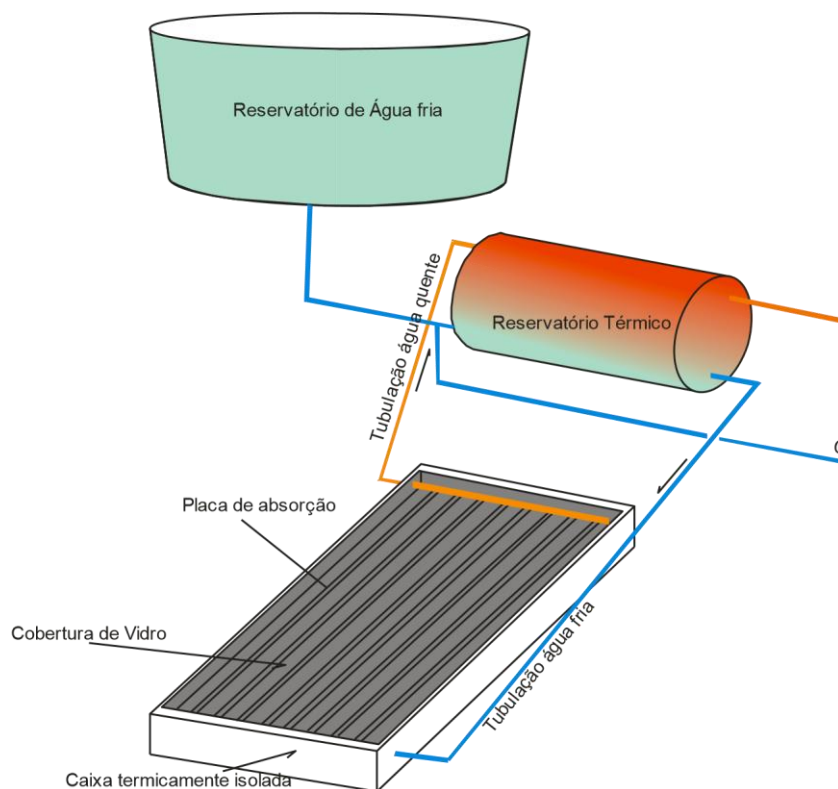


Figura 2.3. Esquema básico de um sistema de aquecimento solar convencional.

Na figura 2.4 está ilustrada o princípio de funcionamento do coletor plano que se baseia na absorção da radiação solar de ondas curtas pela chapa absorvedora, energia essa transformada em calor, pelo efeito estufa, é aprisionada no interior do coletor e transferida ao fluido. A cobertura transparente serve tanto para evitar o efeito convectivo do ar ambiente quanto para impedir a saída da radiação infravermelha de ondas curtas, produzindo o efeito estufa e proporcionando um aumento de eficiência da conversão. Eficiência está que envolve um grande número de variáveis entre elas: materiais utilizados na fabricação, tipo de superfície absorvedora, intensidade da radiação solar, o número de coberturas transparentes, tipo e espessura do isolamento térmico, as temperaturas de trabalho, entre outras.

Raios solares

Radiação infravermelha

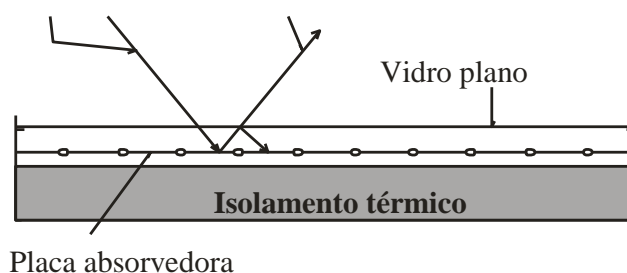


Figura 2.4. Detalhe do princípio de funcionamento do coletor plano.

2.4. Os coletores alternativos no mundo

O principal objetivo do estudo de coletores alternativos é a redução do custo de fabricação, buscando a socialização do seu uso em sistemas de aquecimento de água doméstico e industrial.

Com este objetivo, vários trabalhos foram desenvolvidos, demonstrando que os coletores solares plásticos de baixo custo têm sido estudados desde os anos 70 (CRISTOFARI, ET AL., 2002).

Os aquecedores solares domésticos de água (SDHW - solar domestic hot water) são largamente utilizados atualmente para a produção de energia térmica solar a baixas temperaturas. Estes tipos de coletores têm sido objeto de numerosos estudos e pesquisas desde 1950.

A seguir far-se-á uma breve discussão sobre a história deste tipo de coletor, a nível mundial e local, mostrando os resultados alcançados por várias de suas gerações e as análises que conduziram ao desenvolvimento do presente trabalho.

Willier e Hottel, em 1958 e **Bliss**, em 1959, estudaram pela primeira vez o desempenho térmico de coletores com tubos paralelos e suas conclusões serviram de base para muitas pesquisas posteriores.

Rivera, em 1994, apresentou trabalho sobre coletor alternativo tubular com múltiplas unidades absorvedoras de PVC. **Lourenço**, em 1997, trabalhou com um coletor alternativo com grade absorvedora formada por múltiplos tubos de alumínio, comprovando a competitividade dos mesmos em relação aos coletores convencionais. Tais coletores foram ensaiados em regime de fluxo forçado. O coletor que usava tubos

absorvedores de PVC revelou-se mais viável e mais competitivo em relação ao coletor convencional.

O uso de um polímero absorvedor foi estudado por **Van Niekerk et al.**, em 1996, com o objetivo de avaliar o desempenho de coletores com tubos paralelos na África do Sul. A variação geométrica de parâmetros tais como o diâmetro dos tubos, o espaçamento entre tubos e as dimensões da caixa foram estudadas para a otimização do desempenho dos mesmos.

Matrawy e Farkas, em 1997, compararam um coletor com duas placas paralelas (TPPC), um coletor com tubos paralelos (PTC) e um coletor com tubos em serpentina (STC). Sob o mesmo ambiente e condições de desempenho, a eficiência do TPPC foi 6,0 e 10% maior que o STC e PTC, respectivamente.

Saglietti et al, (1997) estudou sistema de seis unidades coletoras para aquecimento de água, feitas com tubos pretos de polietileno extrudado de 12,7 mm de diâmetro, dispostos geometricamente na forma espiral. Sendo um projeto de baixo custo, o sistema não recebeu cobertura transparente, ao contrário dos coletores tradicionais. Uma comparação entre os custos dos coletores de polietileno e comercial mostra que o coletor proposto pode ser uma alternativa viável, com valor 1/10 do coletor tradicional, além de ser de fácil instalação e manutenção. Os resultados práticos obtidos foram satisfatórios, recomendando-se sua utilização, principalmente, no meio rural e entre famílias de baixa renda.

CIETEC/SP (Centro Incubador de Empresas Tecnológicas) em 1999 desenvolveu o chamado “Aquecedor Solar de Baixo Custo” – ASBC. Este coletor não possui cobertura. Este sistema para uma família de quatro pessoas é formado três placas coletoras de 0,91 m² de PVC interligadas e pintadas de preto e por um reservatório de volume igual a 170 litros. Cada placa coletora é composta por um perfil modular de forro de PVC, com tubos de PVC acoplados as suas extremidades. Funciona em regime de termo-sifão. Os resultados obtidos nos testes foram satisfatórios em comparação com outros coletores alternativos.

Cristofari, et al., propuseram em 2002, estudar um novo material para a caixa do coletor, que se caracteriza por ter baixa condutividade térmica, maior resistência à corrosão, baixo peso e menor custo; Neste trabalho utilizou-se uma nova metodologia de cálculo onde a capacidade calorífica de vários componentes é levada em conta, permitindo uma simulação dinâmica do comportamento do sistema.

Souza (2004) estudou comparativamente dois tipos de coletores, um alternativo e outro plano convencional, demonstrando a competitividade do coletor alternativo com grade absorvedora constituído por múltiplos tubos de PVC em relação ao coletor plano convencional com tubos de cobre.

A **Sociedade do Sol** (2004), uma ONG de São Paulo construiu um coletor utilizando garrafas pet e embalagens TETRA PAK. Este coletor é composto por 80 garrafas PET e tem grade absorvedora formado por oito tubos de PVC ligados em paralelo. Testes realizados com o ABSC e com o coletor de PET mostraram que o ASBC é 17,2% mais eficiente (**Varela, 2004**).

Souza (2005) estudou um coletor alternativo constituído por apenas três elementos: caixa, grade absorvedora e vidro. A caixa foi confeccionada em material compósito e a grade absorvedora era composta de múltiplos tubos de PVC ligados em paralelo, utilizando uma configuração que permitia a diminuição do espaço entre os tubos. Os resultados obtidos para o rendimento térmico e o baixo custo dos materiais alternativos mostraram a viabilidade deste coletor proposto.

Souza (2006) estudou um sistema de aquecimento alternativo de baixo custo composto por um coletor solar alternativo e um reservatório térmico alternativo. O coletor tinha grade absorvedora de PVC e o reservatório foi confeccionado a partir de um tambor de polietileno de 200 litros, utilizado para armazenamento de água e/ou lixo, revestido por material compósito a base de gesso, EPS triturado e água. Sendo os resultados obtidos satisfatórios.

Alano, et al. (2006), em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA/SC, publicaram um manual contendo os principais passos para a confecção de um aquecedor solar, com o princípio de funcionamento por termossifão,

utilizando materiais recicláveis como garrafas PET e embalagens cartonadas de leite longa vida. Neste manual é feita uma descrição completa da lista de materiais e dimensionamento do projeto de acordo com o número de pessoas da casa. Faz-se um relato das ferramentas necessárias para a confecção, montagem e instalação do equipamento, além da inclinação do aquecedor de acordo com a latitude da cidade. É abordado também os mecanismos necessários para a redução da turbulência do escoamento da água. Segundo os autores, o principal objetivo desse trabalho é a formação de agentes multiplicadores, com a construção de oficinas práticas e formando uma rede de divulgação desta tecnologia para beneficiar 399 municípios de estado do Paraná.

Bezerra (1998) no segundo capítulo do livro Aplicações Térmicas da Energia Solar aborda os seguintes temas: a geometria, a cobertura transparente, a placa absorvedora de radiação solar, o isolamento térmico, a caixa do coletor, o reservatório de água quente e a montagem desses coletores. Faz-se ainda considerações sobre o reservatório de alimentação do sistema de aquecimento e sobre o ângulo de inclinação do coletor, mencionando que normalmente se adiciona 10° à latitude local, para compensar a variação anual da declinação solar. Os materiais normalmente empregados na construção e as dimensões desses coletores em função do número de pessoas também são reportados, além de dados práticos para a construção e exemplos de cálculos de projeto. Nesse mesmo capítulo é encontrado um estudo teórico, composto de equações que expressam o balanço térmico para a determinação da temperatura da água na saída do coletor, além da eficiência e desempenho do mesmo.

Souza (2007) estudou um sistema de aquecimento alternativo constituído por um coletor com grade absorvedora de tubos de PVC ligados em paralelo através de tês de PVC de mesmo diâmetro e um reservatório térmico alternativo construído a partir de um tambor de polietileno revestido por um cilindro confeccionado em fibra de vidro. Demonstrou-se a viabilidade térmica e de materiais do sistema estudado.

Javier (2008) determinou a eficiência de dois coletores, um convencional e outro com materiais alternativos abundantes na sua região. Avaliou-se o desempenho utilizando um simulador solar e depois em condições reais de operação. Demonstrou que o coletor

com materiais alternativos funciona tão bem quanto um coletor construído com materiais convencionais.

Leal (2008) construiu um modelo de coletor solar térmico, para aquecimento de água, produzido com materiais recicláveis e de baixo custo (tubos em PVC, caixas acartonadas Tetrapak e garrafas PET pós-consumo) e que apresentou uma relação custo/benefício extremamente competitiva se comparado aos modelos industriais.

Silva A, et AL (2008) desenvolveu uma ferramenta para simulação numérica de sistemas de aquecimento de água utilizando energia solar, baseado nos modelos apresentados na literatura. O modelo de simulação apresentado no seu trabalho permite calcular a radiação solar total incidente no coletor, levando em consideração as características da cobertura, a simulação do desempenho do coletor, e prediz o perfil de temperatura do tanque de acumulação de água quente, considerando perfil de carga térmica a ser suprida, e a temperatura estratificada.

Souza (2008) Construiu um sistema de aquecimento de água solar trabalhando em regime de termo-sifão, constituído por dois coletores alternativos e um reservatório armazenador de água também alternativo. Os coletores foram construídos a partir da utilização de garrafas PET, latas de cerveja e refrigerantes de tubos de PVC de ½” e os reservatórios térmicos a partir de um tambor de polietileno de 250 litros, revestido por um cilindro de fibra de vidro, tendo EPS triturado entre as duas superfícies. Mostrou-se que tal sistema de aquecimento alternativo proposto pode ser usado para aquecimento de água apresentando bons resultados.

Neto et al (2008) apresentou análises técnicas e econômicas, para dois coletores solares não convencionais de plástico e quatro coletores convencionais. Os dados desses coletores foram obtidos de seus fabricantes e utilizados nas análises técnicas e econômicas. Foi fabricado um coletor não convencional para testes no laboratório. Um dos coletores de plástico apresentou índices econômicos compatíveis com um coletor convencional. Foram relacionadas neste trabalho três variáveis: a produção mensal específica de energia, a durabilidade e o custo inicial dos coletores.

Krenzinger (2008), **Pozzebon** (2008) apresentaram um software de simulação de aquecimento de água, Termosim, suas interfaces gráficas e discussões sobre os modelos matemáticos aplicados nos seus componentes, apresentando-o como ferramenta importante nas análises de comportamento térmico dos sistemas de aquecimento de água por energia solar. Os modelos matemáticos do coletor solar e balanço térmico do tanque foram validados com o confronto dos resultados experimentais de **Siqueira** (2003).

Ferreira et al (2008) analisou a viabilidade técnica da redução do uso de energia elétrica pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares. Demonstrou as viabilidades técnica, econômica e ambiental da substituição dos chuveiros elétricos pelos sistemas aquecedores / reservatórios.

Santos (2008) construiu um coletor alternativo utilizando garrafas pet, latas de cervejas e refrigerantes e tubos de PVC de ½". A grade absorvedora era formada por oito tubos de PVC, ligados através de conexões T do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 48, formadas por duas garrafas pet, com o tubo no interior, foram colocadas duas aletas, fabricadas com as latas de cerveja e refrigerantes, envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar. Os resultados Demonstrou que tal coletor alternativo apresenta viabilidade térmica, econômica e de materiais.

Molero (2008) apresentou um modelo matemático multidimensional e transitório para coletores solares planos. Usando o método dos elementos finitos foi possível prever o comportamento de diferentes configurações: coletores de tubo paralelo, de serpentina ou de placas paralelas, juntamente com outras possibilidades não usuais como o uso de fluidos absorventes com placa superior semitransparente. O modelo foi validado com os resultados experimentais de um coletor solar comercial de tubos paralelos onde se obteve uma grande similaridade entre a curva de rendimento real e a simulada.

Fasulo et al 2008 estudaram as vantagens e limitações que possuem o policarbonato celular. Concluíram que este material não está apto para trabalhar em contato permanente com a água. Os resultados mostraram que o material mantém suas propriedades dentro das 500 horas de exposição.

A SuperGreen (2008), desenvolveu um aquecedor solar a vácuo para banho residencial cujo sistema inovador proporciona por dia em média cinco banhos quentes e confortáveis. O sistema aquece a água a temperaturas de até 90 graus Celsius. Um diferencial dos aquecedores solares a vácuo em relação aos convencionais, é que a eficiência do equipamento é de 90%, ou seja, ele absorve cerca de 90% da energia solar incidente.

Reis (2009) estudou um sistema para aquecimento de água destinada ao banho cujos resultados foram satisfatórios. O sistema tinha como principal característica seu baixo custo. O coletor consistia de cinco placas de forro de PVC de 10 mm de espessura, 200 mm de largura e 1400 mm de comprimento com área correspondente a 1,40 m².

Abreu (2009) estudou um coletor alternativo de cobertura transparente plana de 3,0 mm de espessura; a chapa absorvedora é uma chapa de alumínio de 0,5 mm ondulada com oito aletas: a grade absorvedora é formada por oito tubos de PVC com diâmetro externo de 20 mm, ligados em paralelo através de joelhos e conexões em „T“ do mesmo material e mesmo diâmetro e isolante térmico composto de raspa pneu, com caixa do coletor construída em compensado de 15 mm de espessura que apresentou resultado satisfatório para banho de famílias composta de quatro pessoas.

Lopo (2010) estudou um sistema de aquecimento solar de água para banho para uma família com quatro pessoas cuja grade absorvedora era formada por tubos de PVC ligados em paralelo através de conexões do mesmo material. Foram estudadas várias configurações para o coletor, para dois volumes do reservatório térmico armazenador da água aquecida pelo sistema. Avaliou-se a contribuição de aletas absorvedoras fabricadas com latas de cervejas e refrigerantes acopladas aos tubos absorvedores. O sistema de baixíssimo custo mostrou-se capaz de promover o aquecimento de água para o fim desejado.

Gonçalves (2010) estudou um sistema de aquecimento solar para piscina em duas configurações: com e sem cobertura transparente. O sistema para duas configurações trabalhava em regime de fluxo forçado com apenas uma passagem de água no interior da

serpentina absorvedora, formada por tubos de PEAD enrolados. A configuração sem cobertura mostrou-se a mais viável considerando-se parâmetros térmicos e econômicos.

Um aquecedor solar de água cilíndrico foi projetado e fabricado no **Departamento de Mechanical Engineering, University of Bahrain**. É constituído por um tubo cilíndrico feito a partir de vidro de alta qualidade, com um comprimento de 0,8m, 0,14m de diâmetro exterior e uma espessura de 6 mm. Um tubo de cobre em forma de espiral, com diâmetro interno do tubo de 2mm e diâmetro exterior de 3,175 mm, pintado de preto, serve como um coletor para a energia solar incidente na parede do cilindro. A eficiência do aquecedor solar de água cilíndrico alcançou 41,8%. Uma análise econômica revelou que o aquecedor solar cilíndrico de água em comparação com os coletores planos é rentável.

Os coletores alternativos têm-se constituído na principal linha de pesquisa no âmbito do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN, já tendo sido desenvolvidas, construídas e estudadas várias gerações destes tipos de coletor. Busca-se, de forma prioritária, o barateamento do custo de fabricação de um sistema de aquecimento de água solar.

2.5 . O cloreto de polivinila - PVC

a) Generalidades

O cloreto de polivinila (PVC) é um componente da família vinila. Seu valor comercial resulta de várias características que podem ser traduzidas em duas palavras, versatilidade e durabilidade.

Algumas propriedades demonstram a versatilidade, a durabilidade e a viabilidade do uso do PVC através do seu uso bastante difundido em várias aplicações de uso cotidiano da população.

A Tabela 2.1 mostra as principais propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, óticas e químicas do PVC. (Santos, 2008)

Apesar das propriedades demonstrarem a característica do PVC como isolante térmico, este trabalho demonstra que é possível usá-lo como condutor de calor, principalmente em função de seu baixo custo. Pode-se utilizá-lo como elemento absorvedor, protegendo-o das degradações inerentes a sua exposição à radiação solar e ao calor.

Tabela 2.1. Principais propriedades do PVC.

Propriedades	Valor
Peso molecular (PM)	50.000-100.000
Peso específico (ρ)	1,4 g/cm ³
Resistência à Tração (R_T)	40,7 – 51,7 MPa
Módulo de Elasticidade (E)	2,4 – 4,1 GPa
Tensão de Escoamento (TE)	40,7 – 44,8 MPa
Resistência à Compressão (R_C)	57,5 MPa
Resistência à Flexão (R_F)	120 MPa
Coefficiente de dilatação térmica (C	(60 a 80) x 10⁶
Coefficiente de Expansão Térmica Linear	0,9 - 1,8 x 10 ⁻⁴ (°C) ⁻¹
Temperatura de Distorção ao Calor	75 °C
Índice de Refração (I_R)	1,57
Absorção de água em 24h (%)	0,04-0,40

Essas propriedades listadas na tabela acima, tornam o PVC:

1. Leve o que facilita seu manuseio e aplicação;
2. Resistente a ação de fungos, bactérias, insetos e roedores;
3. Resistente à maioria dos reagentes químicos;
4. Bom isolante térmico, elétrico e acústico; condutibilidade térmica (0,15 a 0,21 W/m.K);
5. Sólido e resistente a choques;
6. Impermeável a gases e líquidos;
7. Resistente às intempéries (sol, chuva, vento e atmosferas salinas);

b) A degradação do PVC

O coletor em estudo, além da placa absorvedora de PVC, como já descrito, utiliza também tubulação de água de PVC. Os resultados obtidos, nos ensaios, demonstraram uma boa eficiência térmica deste tipo de coletor tornando possível a obtenção de água quente para banho. Porém, para torná-los atraentes aos consumidores é necessário que apresente uma boa vida útil, tornando-os assim competitivos comercialmente.

Isso significa ter durabilidade em relação à degradação devido ao calor, radiação ultravioleta, ou ainda, radiação gama, efeitos esses que já são de certa forma, minimizados com adição de estabilizantes. Souza (2002) estudou os processos de degradação inerentes ao uso de tubos absorvedores de PVC em coletores solares.

Os tubos de PVC não são transparentes, pois alguns aditivos são adicionados para conferir maior resistência e durabilidade a estes. O PVC é um polímero linear, o que o faz ser um termoplástico (aqueles que podem ser amolecidos pelo calor quantas vezes quisermos e, ao resfriarem, voltam a apresentar as mesmas propriedades iniciais).

O processo de degradação no PVC sem aditivos é revelado normalmente pela mudança de coloração para amarelo, até o marrom escuro. Esse processo é conhecido como desidrocloração e a Figura 2.5 apresenta-o de forma simplificada (Souza, 2002). É amplamente aceito que a desidrocloração envolve uma reação progressiva entre átomos de cloro e hidrogênio vizinhos ao longo da cadeia polimérica, sendo formada uma ligação dupla entre os átomos de carbono nas posições em que os dois átomos estavam originalmente ligados; forma-se assim uma estrutura de cloro alílico com o próximo átomo de cloro da cadeia polimérica, átomo de cloro este altamente ativado, que dá prosseguimento ao processo de degradação.

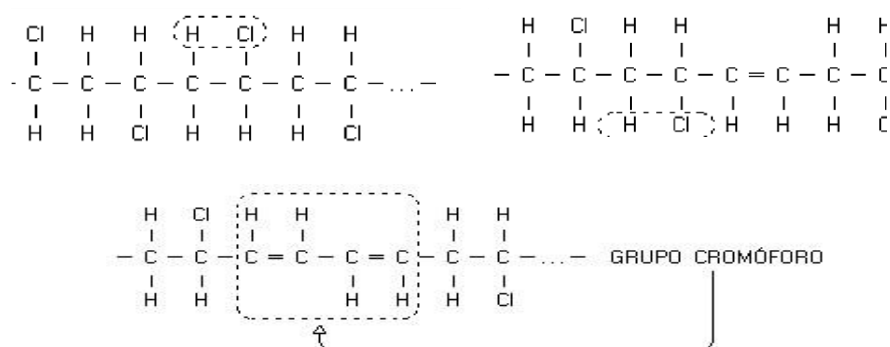


Figura 2.5. Processo de desidrocloreção do PVC.

2.6. O material PET (polietileno tereftalato) e suas características

O PET foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Winfield e Dickson. Mas as garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente.

No começo dos anos 80, EUA e Canadá iniciaram a coleta dessas garrafas, reciclando-as inicialmente para fazer enchimento de almofadas. Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, com tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios.

Mais tarde na década de 90, o governo americano autorizou o uso deste material reciclado em embalagens de alimentos.

É importante saber que o PET não pode ser transformado em adubo, é altamente combustível, com valor de cerca de 20.000 BTUs/quilo, e libera gases residuais como monóxido e dióxido de carbono, acetaldeído, benzoato de vinila e ácido benzóico; e é de difícil degradação em aterros sanitários.

O PET (polietileno tereftalato) é hoje uma resina muito popular e com uma das maiores taxas de crescimento em aplicação como material e embalagem.

Isso se deve, sem dúvida, às suas excelentes propriedades: reciclável, elevada resistência mecânica, aparência nobre (brilho e transparência), barreira a gases, etc.

2.6.1. Reação de obtenção do PET

A reação para a obtenção do polietileno tereftalato encontra-se mostrada na Figura 2.6.

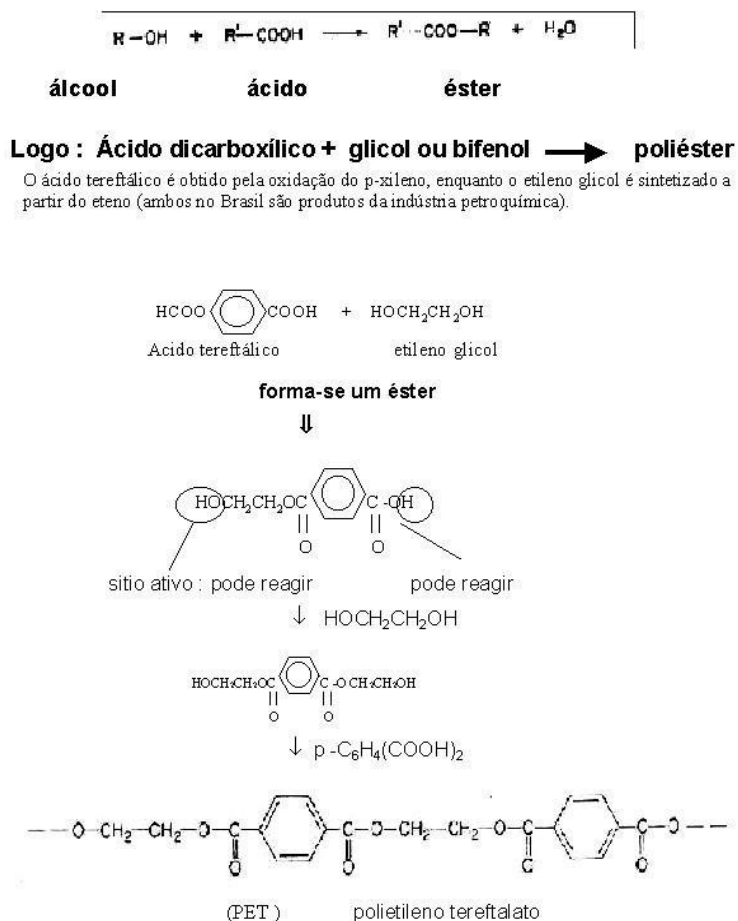


Figura 2.6. Processo de reação para obtenção do PET.

A condutividade térmica do polietileno tereftalato (PET) corresponde a 0,24 W/m. K (www.vick.com.br).

2.7. O PEAD

2.7.1. Introdução - Polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. As menores unidades cristalinas, lamelas, são planares e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal e dobradas em zig-zag, para cada 5 a 15nm, embora haja defeitos que são pouco frequentes.

Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina. Em temperaturas abaixo de 60 °C são parcialmente solúveis em todos os solventes. Entretanto, dois fenômenos podem ser observados:

- I. Interação com solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material.
- II. Interação com agentes tensoativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial.

Em condições normais, os polímeros etilênicos não são tóxicos, podendo inclusive ser usados em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos, no entanto certos aditivos podem ser agressivos. No passado, o polietileno era classificado pela sua densidade e pelo tipo de processo usado em sua fabricação. Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares.

O objetivo deste trabalho é apresentar as principais características e aplicações dos vários tipos de polietileno, correlacionando a sua estrutura com suas propriedades, e os principais sistemas catalíticos utilizados na produção de polietileno.

Reprojetado em função da globalização, o mercado brasileiro de polietileno ganhou novo perfil em volume e qualidade, gerando maior oferta e tipos (*grades*) de melhor desempenho e produtividade para a indústria de transformação. As poliolefinas representam aproximadamente 60% da demanda mundial de termoplásticos, onde os polietilenos se encaixam no patamar dos 40%. No Brasil, as poliolefinas representam cerca de 65%, dos quais 43% correspondem aos polietilenos.

O mercado brasileiro de polietileno cresce em um ritmo duas vezes superior ao do Produto Interno Bruto (PIB). Entre 1999 e 2000, as vendas aumentaram em mais de 150 mil toneladas (cerca de 10% da produção nacional). O mercado de polietileno linear avança acentuadamente sobre a resina de baixa densidade convencional, cujas vendas estão estagnadas e a sua produção apresenta tendência de queda. Enquanto o volume de produção do polietileno linear de baixa densidade cresceu 25% entre 1999 e 2000 e o de alta densidade aumentou 17%, o de baixa densidade convencional caiu 2%^[5].

2.7.2. Tipos de Polietileno

Dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, cinco tipos diferentes de polietileno podem ser produzidos:

- I. Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE)
- II. Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE)
- III. Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE)
- IV. Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE)
- V. Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE)

2.7.3. Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE)

A principal diferença entre o processo de polimerização de etileno sob baixa pressão e o processo sob alta pressão está no tipo de sistema iniciador usado. Os iniciadores (catalisadores) utilizados para polimerizar sob pressões próximas à atmosférica foram descobertos por Ziegler e Natta, graças aos seus estudos sobre compostos organo-metálicos, particularmente organo-alumínio. O primeiro sistema catalítico, que forneceu resultados satisfatórios foi uma combinação de trietil-alumínio e tetracloreto de titânio. Há processos que empregam outros catalisadores, tais como: o processo Phillips, que utiliza catalisador à base de óxido de cromo suportado em sílica ou alumina e o processo da *Standard Oil of Indiana*, que utiliza óxido de níquel suportado em carvão.

Sob a ação de catalisadores Ziegler-Natta, a polimerização se efetua sob pressões de etileno na faixa de 10 a 15 atm e temperaturas na faixa de 20 a 80 °C em meio de hidrocarbonetos parafínicos em presença de um composto alquil-alumínio e um sal de Ni, Co, Zr ou Ti. Esses sistemas catalíticos (iniciadores) são ativos o suficiente para permitir que a reação ocorra, inclusive, à pressão atmosférica e temperaturas inferiores a 100 °C. Nos processos industriais de produção, o peso molecular do polímero é controlado na faixa de 50.000 a 100.000 (Mn) por processo de transferência de cadeia, geralmente com hidrogênio. O primeiro polietileno obtido à baixa pressão foi preparado por Max Fischer em 1934 pela ação de Al e TiCl₄.

No processo Phillips, a polimerização se realiza a baixas pressões, em torno de 50 atm, e temperaturas brandas (inferiores a 100 °C). Nesse processo, é empregado um catalisador suportado em alumina constituído de óxido de cromo, ativado por uma base. Comparado com o polietileno obtido com catalisadores Ziegler-Natta, o produto é menos ramificado e tem por isso maior densidade devido à mais alta cristalinidade.

O polietileno linear é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Esse polímero contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal (Figura 2), sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132 °C e sua densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm³. O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50.000 a 250.000.

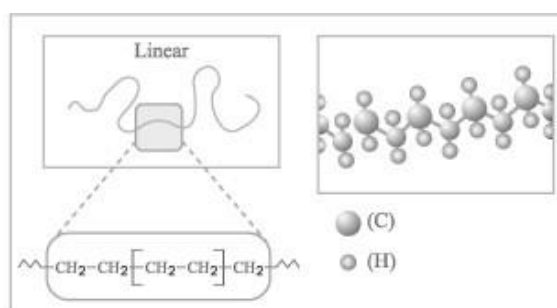


Figura 2.7. Representação esquemática da estrutura do PEAD.

Pereira et. al. fizeram um estudo comparativo da estrutura cristalina lamelar dos polietilenos de alta e baixa densidades e os resultados obtidos confirmaram que as cadeias do PEAD são dobradas e os segmentos entre as dobras contêm cerca de 100 átomos de carbono, enquanto que no PEBD, as cadeias são estendidas, com segmentos de cerca de

73 átomos de carbono na zona cristalina, ligados às zonas amorfas, as quais contêm dobras longas e terminais de cadeia.

2.7.4. Propriedades

A linearidade das cadeias e conseqüentemente a maior densidade do PEAD fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes; as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente, e, como conseqüência, a cristalinidade seja maior que no caso do PEBD. Sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta.

Devido à cristalinidade e à diferença de índice de refração entre as fases amorfa e cristalina, filmes de PEAD (obtido via catalisadores Ziegler-Natta ou Phillips) finos são translúcidos, menos transparentes do que o PEBD (obtido via radicais livres), que é menos cristalino.

As características mecânicas e elétricas do polietileno de alta densidade são apresentadas na Tabela 2.2 Enquanto as propriedades elétricas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, as propriedades mecânicas sofrem uma forte influência do peso molecular, do teor de ramificações, da estrutura morfológica e da orientação.

Tabela 2.2. Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.

Propriedades	Altamente linear	Baixo grau de ramificação
Densidade, g/cm ³	0,962 - 0,968	0,950 - 0,960
Índice de refração	1,54	1,53
Temperatura de fusão, °C	128 - 135	125 - 132
Temperatura de fragilidade, °C	-140 - -70	-140 - -70
Condutividade térmica, W/(m.K)	0,46 - 0,52	0,42 - 0,44
Calor de combustão, kJ/g	46,0	46,0
Constante dielétrica à 1 MHz	2,3 - 2,4	2,2 - 2,4
Resistividade superficial, Ω	10 ¹⁵	10 ¹⁵
Resistividade volumétrica, Ω.m	1017 - 1018	1017 - 1018
Resistência dielétrica, kV/mm	45 - 55	45 - 55
Ponto de escoamento, MPa	28 - 40	25 - 35
Módulo de tração, MPa	900 - 1200	800 - 900
Resistência à tração, MPa	25 - 45	20 - 40
Alongamento, %		
No ponto de escoamento	5 - 8	10 - 12
No ponto de ruptura	50 - 900	50 - 1200
Dureza		
Brinell, MPa	60 - 70	50 - 60
Rockwell	R55, D60 - D70	
Resistência ao cisalhamento, MPa	20 - 38	20 - 36

O peso molecular tem influência sobre as propriedades do PEAD, principalmente devido ao seu efeito na cinética de cristalização, cristalinidade final e ao caráter morfológico da amostra. O efeito do peso molecular depende de sua extensão. O PEAD de baixo peso molecular é frágil e quebra sob baixas deformações, sem desenvolver "pescoço" (*neck*) no

ensaio de tração. Na faixa de peso molecular entre 80.000 e 1.200.000, típica para PEAD comercial, sempre ocorre formação de "pescoço". Além disso, o peso molecular também exerce influência sobre a resistência ao impacto. Amostras com baixo peso molecular são frágeis, porém com o aumento do peso molecular, a resistência ao impacto aumenta e é bastante alta para o PEAD com peso molecular na faixa de 5×10^5 a 10^6 .

Um aumento no teor de ramificações reduz a cristalinidade e é acompanhado por variação significativa das características mecânicas, uma vez que causa um aumento no alongamento na ruptura e uma redução da resistência à tração.

A orientação das cadeias poliméricas exerce um forte efeito sobre as propriedades mecânicas do polímero. Materiais fabricados com PEAD altamente orientado são aproximadamente dez vezes mais resistentes do que os fabricados a partir do polímero não orientado, pois a orientação aumenta o empacotamento das cadeias e conseqüentemente aumenta a rigidez do polímero.

Em geral, o PEAD, exibe baixa reatividade química. As regiões mais reativas das moléculas de PEAD são as duplas ligações finais e as ligações CH terciárias em ramificações. PEAD é estável em soluções alcalinas de qualquer concentração e em soluções salinas, independente do pH, incluindo agentes oxidantes como KMnO_4 e $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; não reage com ácidos orgânicos, HCl ou HF. Soluções concentradas de H_2SO_4 (> 70%) sob elevadas temperaturas reagem vagarosamente com PEAD, produzindo sulfo-derivados.

À temperatura ambiente, PEAD não é solúvel em nenhum solvente conhecido, apesar de muitos solventes, como xileno, por exemplo, causarem um efeito de inchamento. Sob altas temperaturas, PEAD se dissolve em alguns hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. O PEAD é relativamente resistente ao calor. Processos químicos sob alta temperatura, em meio inerte ou no vácuo, resultam em ruptura e formação de ligações cruzadas nas cadeias poliméricas. Sob elevadas temperaturas, o oxigênio ataca a macromolécula, reduzindo seu peso molecular. Sob baixas temperaturas, pode ocorrer degradação foto-oxidativa (especialmente com luz de $\lambda < 400$ nm). O PEAD é

ligeiramente permeável a compostos orgânicos, tanto em fase líquida como gasosa. A permeabilidade à água e gases inorgânicos é baixa. É menos permeável a gases (CO₂, O₂, N₂) do que o PEBD.

2.7.5. Aplicações

O PEAD é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, abrangendo os processamentos de moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção.

Pelo processo de injeção, o PEAD é utilizado para a confecção de baldes e bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para bebidas, jarros d'água, potes para alimentos, assentos sanitários, bandejas, tampas para garrafas e potes, engradados, bóias para raias de piscina, caixas d'água, entre outros. Enquanto que pelo processo de sopro, destaca-se a utilização na confecção de bombonas, tanques e tambores de 60 a 250 litros, onde são exigidas principalmente resistência à queda, ao empilhamento e a produtos químicos, frascos e bombonas de 1 a 60 litros, onde são embalados produtos que requeiram alta resistência ao fissuramento sob tensão. Também é utilizado na confecção de frascos que requeiram resistência ao fendilhamento por tensão ambiental, como: embalagens para detergentes, cosméticos e defensivos agrícolas, tanques para fluido de freio e outros utilizados em veículos e na confecção de peças onde é exigido um produto atóxico, como brinquedos. Por extrusão, é aplicado em isolamento de fios telefônicos, sacos para congelados, revestimento de tubulações metálicas, polidutos, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, emissários de efluentes sanitários e químicos, dutos para mineração e dragagem, barbantes de costura, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercados.

Algumas indústrias brasileiras já estão explorando um novo nicho do mercado, um tipo (grade) específico de polietileno de alta densidade para moldagem por sopro de tanques de combustível e outro para "containers" de mil litros.

O PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente. Um exemplo da relação

de dureza e flexibilidade está no fato de que o PEAD é utilizado na fabricação de tampas com rosca (rígidas) e o PEBD na de tampas sem rosca (flexíveis). A Tabela 2.3 faz uma comparação entre as principais características do PEAD e do PEBD.

Tabela 2.3. Comparação entre as principais características do PEAD e do PEBD.

	PEBD		PEAD	
Tipo de polimerização	Radicais livres		Coordenação	
Pressão de polimerização, atm	Alta	1.000 - 3.000	Baixa	1 - 30
Temperatura reacional, °C	Alta	100 - 300	Baixa	50 - 100
Tipo de cadeia	Ramificada		Linear	
Densidade, g/cm ³	Baixa	0,91 - 0,94	Alta	0,94 - 0,97
Cristalinidade, %	Baixa	50 - 70	Alta	até 95
T _m , °C	Baixa	110 - 125	Alta	130 - 135

2.7.6. Degradação térmica

As resinas pretas usualmente são pigmentadas com negro-de-fumo com tamanho de partícula de 25 nm, que confere maior proteção contra a degradação por ação dos raios UV.

Existem tubos feitos com a resina de PEAD pigmentado com 2.5% de negro de fumo com tamanho de partícula de 25 nm com mais de 20 anos de exposição contínua aos raios UV sem a perda de propriedades mecânicas (**Basell - 2010**).

Com relação à degradação térmica, a resina GM 5010 T2 possui um pacote de antioxidante que garante uma excelente proteção contra a degradação térmica, tendo em vista que o OIT da resina é superior a 100 minutos na temperatura de ensaio de 200 °C.

Na temperatura de 60 °C a vida útil dos tubos dependerá basicamente dos esforços mecânicos que o tubo estará sujeito, sendo que, a pressão interna é a mais importante. Para que se tenha uma idéia um tubo produzido com a resina PE-80 dimensionado para uma pressão de trabalho de PN 12,5 na temperatura de 80 °C terá uma vida útil de

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica

aproximadamente 1 ano com uma tensão circunferencial de 4,7 MPa. Para a temperatura de 60 °C a vida útil será de aproximadamente 6 anos com uma tensão de 6,19 MPa (**Tigre SA - Tubos e Conexões**).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Construção do SAS – CONFIGURAÇÕES I (PVC SEM COBERTURA), II (PVC COM COBERTURA) e III (PEAD SEM COBERTURA).

Configuração I

O coletor desenvolvido é formado por duas telhas de fibrocimento de 2,44 x 0,50 m, com espessura de 04 mm, tendo entre as duas telhas sobrepostas uma camada isolante de EPS triturado. A grade absorvedora é composta por seis tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo, ligados em paralelo através de conexões em tê do mesmo material. Funciona em regime de termossifão, para um volume de água aquecida de 150 litros. Sua área corresponde a Área = 1,40 m².



Figura 3.1. Coletor solar alternativo em estudo (configuração I).

A telha superior de fibrocimento e os tubos absorvedores foram pintados de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Nessa configuração não tem cobertura.

Os processos de fabricação e montagem do *coletor* são constituídos pelas seguintes etapas:

1. Corte dos tubos de PVC;
2. Ligação dos tubos aos Tês de PVC para a formação da grade absorvedora através do uso de cola PVC;
3. Confeção do elemento de separação entre as duas telhas de fibrocimento – utilizouse compósito a base de gesso, EPS triturado, raspas de pneu, cimento, areia e água, obtendo-se uma parede de separação de 5cm;
4. Fixação das telhas a estrutura de separação através do uso de parafusos;
5. Colocação de EPS triturado entre as duas telhas;
6. Colocação de espuma nos espaços laterais entre as telhas para acondicionamento do isolante térmico;
7. Pintura da telha superior e tubulação absorvedora;
8. Fixação da grade absorvedora na telha superior;
9. Acoplamento na grade das tubulações de entrada e saída da água no coletor;
10. Ligação das tubulações de entrada e saída do coletor ao reservatório térmico alternativo;

Configuração II

O coletor desenvolvido é formado por duas telhas de fibrocimento de 2,44 x 0,50 m, com espessura de 04 mm, tendo entre as duas telhas sobrepostas uma camada isolante de EPS triturado. A grade absorvedora é composta por seis tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo, ligados em paralelo através de conexões em tê do mesmo material. Funciona em regime de termossifão, para um volume de água aquecida de 150 litros. Sua área corresponde a $\text{Área} = 1,40 \text{ m}^2$.

A telha superior de fibrocimento e os tubos absorvedores foram pintados de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Utiliza-se como cobertura garrafas PETS cortadas, que assumem o formato de telhas transparentes. A Figura 3.2 mostra o coletor proposto construído.

Os processos de fabricação e montagem do *coletor* são constituídos pelas seguintes etapas:

1. Corte dos tubos de PVC;

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

2. Ligação dos tubos aos Tês de PVC para a formação da grade absorvedora através do uso de cola PVC;
3. Confeção do elemento de separação entre as duas telhas de fibrocimento – utilizouse compósito a base de gesso, EPS triturado, raspas de pneu, cimento, areia e água, obtendo-se uma parede de separação de 5cm;
4. Fixação das telhas a estrutura de separação através do uso de parafusos;
5. Colocação de EPS triturado entre as duas telhas;
6. Colocação de espuma nos espaços laterais entre as telhas para acondicionamento do isolante térmico;
7. Pintura da telha superior e tubulação absorvedora;
8. Fixação da grade absorvedora na telha superior;
9. Acoplamento na grade das tubulações de entrada e saída da água no coletor;
10. Confeção da cobertura transparente utilizando garrafas PETS;
11. Fixação dos segmentos de garrafas PETS à telha superior utilizando cola de contato;
12. Ligação das tubulações de entrada e saída do coletor ao reservatório térmico alternativo;
13. Colocação da cobertura transparente na telha superior do coletor.



Figura 3.2. Coletor solar alternativo em estudo (configuração II).

O reservatório térmico alternativo utilizado nas configurações I e II tem volume correspondente a 150 litros e foi confeccionado a partir de um elemento base, um tambor de polietileno de 200 litros. O reservatório foi aberto em sua tampa superior e foi colocado no interior de um tambor confeccionado em fibra de vidro com espessura em torno de 5,0 mm. A tampa do reservatório foi construída em fibra de vidro. No espaço entre os dois elementos básicos, cilindro de fibra e tambor de polietileno foi colocado uma camada de EPS triturado.



Figura 3.3. Reservatório térmico alternativo proposto (configurações I e II).

Configuração III

O SAS na Configuração III é composto por um coletor, formado por uma grade absorvedora composta por tubos de PEAD em paralelo e um reservatório para armazenamento de água quente.

A grade absorvedora é composta por 12 tubos de PEAD, pretos de fabricação, de 25 mm de diâmetro externo, em paralelo, interligados por T(tês) de PVC de mesmo diâmetro, pintados de preto fosco, conforme Figura 3.3. Na entrada de água da grade absorvedora, foi colocada uma curva de 90°, ao invés de um joelho de 90°, para diminuir a perda de carga.

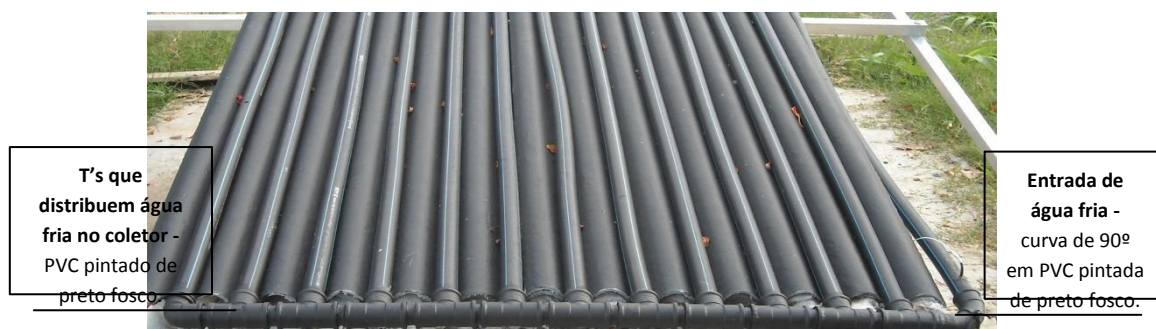


Fig. 3.4. Detalhe das conexões dos tubos de PEAD com os tês de PVC pintados de preto.

A grade absorvedora é apoiada em uma placa absorvedora constituída por duas telhas de fibrocimento, dispostas lado a lado, conforme mostrado na Figura 3.6, totalizando 1,0 m de largura(B) e 2,44 m de comprimento(L), o que resulta em uma área

(A) para captação de radiação solar incidente de $2,44 \text{ m}^2$. Pode-se observar também que esse coletor não possui a tampa de vidro para gerar o efeito estufa, visto que o vidro, praticamente, dobraria o custo do coletor. Neste caso, apostou-se na significativa absorvidade térmica do PEAD, que já vem pigmentado de fábrica com 2.5% de negro de fumo com tamanho de partícula de 25 nm (**Tigre S/A Tubos e Conexões - Joinville - S/C**), como fator compensador do efeito estufa.

A escolha da telha de fibrocimento como placa absorvedora se deu pelo fato da mesma ser ondulada (ver fig. 3.3), o que aumentaria a superfície de contato com os tubos da grade absorvedora, aumentando, por conseguinte a transmissividade térmica entre esses elementos e diminuiria a troca térmica por convecção, já que os tubos estão dispostos nas depressões das ondulações das telhas, como pode ser visto na Fig. 3.3.

Outra característica importante dessa placa é o isolamento térmico entre a placa superior (duas telhas) e a inferior (duas telhas), à base de lã de vidro, conforme mostrado na Figura 3.4, para minimizar as perdas térmicas pela parte de baixo do coletor.



Fig. 3.5. Detalhes do isolamento térmico do coletor.

Os processos de fabricação e montagem dessa configuração seguiram as seguintes etapas:

1. Escolha do local: onde ocorre maior incidência de radiação solar durante o maior tempo possível;
2. Corte dos tubos de alumínio: foram utilizados dois tamanhos de tubos de alumínio. Para suporte do reservatório, foram utilizados tubos quadrados de 4 cm x 4 cm e para suporte da grade absorvedora, foram utilizados tubos quadrados de 2 cm x 2 cm, como pode ser observado na Fig. 3.5;

3. Montagem do suporte do coletor com tubos quadrados de alumínio (ver Fig. 3.5) com inclinação de aproximadamente 22° com a horizontal;



Figura 3.6. Detalhes da montagem do suporte em alumínio.

4. Colocação das telhas com o recheio de isolante térmico;
5. Corte de 12 tubos de PEAD com comprimentos de 2,4 m cada um, para formação da grade absorvedora (ver Fig. 3.7);



Figura 3.7. Detalhe dos 12 tubos de PEAD da grade absorvedora.

6. Corte de 1 tubo de PEAD de 3,0 m, para fazer a conexão de entrada de água no coletor;
7. Corte de 1 tubo de PEAD de 1,5 m, para conexão de saída de água quente do coletor(ver Fig. 3.9);
8. Pintura das duas telhas de cima (placa absorvedora) com tinta preta fosco, resistente às intempéries;
9. Conectar os tubos de PEAD com os tês, curvas e joelhos de PVC, utilizando cola epóxi, conforme Figuras 3.8 e 3.9;



Figura 3.8. Detalhe das conexões na parte inferior do coletor.



Figura 3.9. Detalhes das conexões na parte superior do coletor.

10. Teste de vedação da grade absorvedora;
11. Pintar as conexões de PVC (T, curvas e joelhos) com tinta preta fosco, resistente às intempéries (ver Fig. 3.10);



Figura 3.10. Detalhe das conexões de PVC pintadas de preto fosco.

O reservatório de armazenamento de água quente para essa configuração foi constituído de um tambor de Polietileno azul, sem isolamento térmico, e tem capacidade para 200 litros, conforme figura 3.10. Ele é aberto na parte superior através de uma tampa que encaixa perfeitamente no tambor, na qual existe um suspiro para entrada e saída de ar.



Figura 3.11. Tambor de PE para armazenamento de água quente.

Os processos de fabricação e montagem do tambor de armazenamento de água quente apresentaram as seguintes etapas:

1. Fazer quatro furos no tambor e colocar os adaptadores de PVC: um para entrada de água fria da rua; um para entrada de água quente proveniente do coletor; um para saída de água para o coletor; um para saída de água quente para banho. Esses furos podem ser observados nas Figuras 3.12, 3.13 e 3.14;



Figura 3.12. Detalhe dos furos vistos internamente.



Figura 3.13. Detalhe dos furos no reservatório, vistos frontalmente.



Figura 3.14. Detalhe dos furos no reservatório, vistos lateralmente.

2. Colocar uma bóia na entrada de água da rua para controlar o nível de água no reservatório;
3. Colocar um tubo, da bóia até o fundo do reservatório, para que a água fria entre direto no fundo do reservatório, diminuindo o efeito convectivo no interior do reservatório, devido à diferença de densidade;
4. Instalar uma mangueira flexível, por dentro do reservatório, na conexão de saída de água para banho, que fica a 1/3 da altura do tambor, a partir da sua base; prender na outra extremidade uma garrafinha de água mineral vazia e fechada, para garantir que a captação de água quente seja sempre da superfície, o que garantirá que a água que está saindo para o banho tenha a maior temperatura possível;

5. Instalar uma válvula solenóide na saída de água para banho, ligada a um programador de horário, o qual comandará a abertura da válvula nos horários pré-determinados: 6:00h, 7:00h, 19:00h e 20:00h;
6. Executar um furo na tampa do reservatório para funcionar como respiro;
7. Encher o reservatório e testar sua estanqueidade.

O sistema de aquecimento proposto funciona em regime de termossifão, para um volume de água correspondente a 150 litros nas configurações I e II e 200 litros para a configuração III e foi ensaiado para o diagnóstico de sua eficiência térmica, sendo levantados os parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico, (Duffie, 1991, Souza, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007), bem como o processo de degradação térmica e foto-oxidativa do PEAD(**Tigre S/A Tubos e Conexões - Joinville - S/C**). O coletor nas configurações I e II foi inclinado de 15,5°S em função da latitude do local, no caso Natal, correspondente a 5,5°S e na configuração III foi inclinado de 22,0°S em função da latitude do local, no caso, Santo Amaro correspondente a 12,0°S

Foram medidas as temperatura de entrada e saída do fluido do coletor, a temperatura da água contida no reservatório, temperatura ambiente e radiação solar global. Foi também medido o tempo necessário para a uniformização da temperatura da massa fluídica no reservatório térmico.

As temperaturas de entrada e saída do fluido foram medidas no período entre 08:00 e 15:00 horas, em intervalos de 30 minutos; as temperaturas do coletor e tubos absorvedores foram medidas de 30 em 30 minutos entre 11:00 e 13:00 horas, período de radiação máxima e constante, onde avalia-se a perda máxima apresentada pelo coletor; a temperatura da massa fluídica foi medida após as sete horas de funcionamento. As temperaturas foram medidas com termopares tipo K (cromel-alumel) acoplados a dois termômetros digitais.

Os ensaios para as configurações I e II foram realizados em dias com boas condições solarimétricas, altos índices de radiação solar direta e global e baixa nebulosidade para permitir uma análise comparativa mais real entre os vários dias de ensaio. Para a configuração III os ensaios foram realizados em dias consecutivos, todos com bons índices de radiação e baixa nebulosidade.

As medições de temperatura, para a configuração III, foram realizadas utilizando-se termopares do tipo K(cromel-alumel), conforme Figura 3.14 e instalados em locais estratégicos, conforme descrição abaixo e como mostram as Figuras 3.16 e 3.17.



Figura 3.15. Termopar tipo K(cromel-alumel)

Os termopares foram assim designados:

TP 1 – Termopar que irá medir a temperatura da água fria que entra na grade absorvedora.

TP 2 - Termopar que irá medir a temperatura da água no meio da grade absorvedora.

TP 3 - Termopar que irá medir a temperatura na superfície superior da telha (placa absorvedora).

TP 4 - Termopar que irá medir a temperatura na superfície inferior da telha (placa absorvedora), após o isolamento térmico.

TP 5 - Termopar que irá medir a temperatura da água que sairá para banho, captada da parte superior do reservatório.

TP 6 - Termopar que irá medir a temperatura da água no fundo do reservatório.

TP 7 - Termopar que irá medir a temperatura da água quente na saída da grade absorvedora.

TP 8 - Termopar que irá medir a temperatura ambiente próxima ao coletor.

VS – Válvula solenóide que será ativada por um programador de horário, simulando a utilização de água quente para banho, nos seguintes horários: 6:00h, 7:00h, 19:00h e 20:00h. Cada ativação da válvula levará 1 minuto, a uma vazão de 34,8 litros/minuto, ou seja, a cada abertura serão liberados 34,8 litros de água.

As Figuras a seguir, mostram como esses termopares foram instalados.



Figura 3.16. Detalhes da instalação dos termopares



Figura 3.17 Detalhes da instalação dos termopares e da válvula solenóide.

Os termopares foram ligados em dois termômetros digitais, tipo *dataloggers*, conforme Fig. 3.18, que fizeram a leitura e o registro das temperaturas durante seis dias consecutivos, de meia em meia hora, conforme tabelas e gráficos abaixo.



Figura 3.18. Termômetro tipo *datalogger*.

3.2. Posicionamento do SAS

Orientação geográfica

Os coletores solares devem ser instalados conforme especificações, manual de instalação e projeto. Na ausência desses documentos, sugere-se que os coletores sejam instalados voltados para o Norte Geográfico, com desvio máximo de 30° (ver Figura 3.18) desta direção (ABNT NBR 15569:2008).

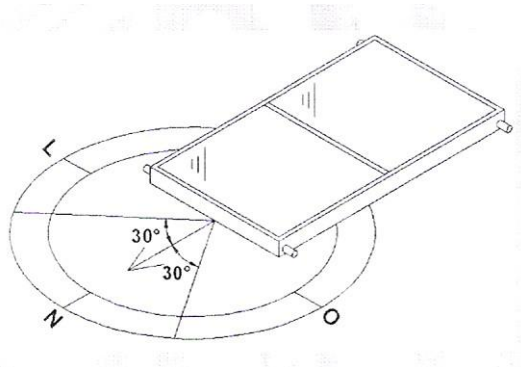


Figura 3.19. Orientação geográfica dos coletores

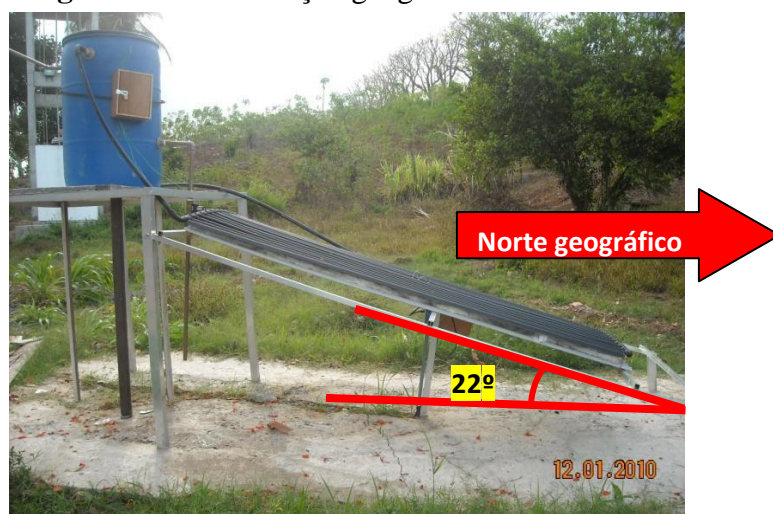


Figura 3.20. Orientação geográfica do coletor em estudo

3.3.2. Ângulo de inclinação

Os coletores solares devem ser instalados com ângulo de inclinação conforme especificações, manual de instalação e projeto. Na ausência desses documentos, sugere-se que o ângulo de inclinação seja igual ao da latitude do local, acrescido de 10° (ver Figura 3.20), nunca inferior a 15° (ABNT NBR 15569:2008). No caso da configuração, ensaiada em Santo Amaro, (ver Figura 3.19), a inclinação do coletor será, aproximadamente, de 22°(12° de latitude sul + 10°), conforme tabela abaixo.

Tabela 3.1. Dados de localização da cidade de Santo Amaro/Ba, segundo www.aondefica.com/lat_3_.asp, acessado em 08/12/08.

LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
-12° 32' 48"	38° 42' 43"	42 metros

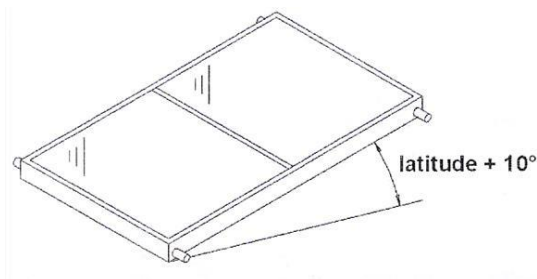


Figura 3.21. Ângulo de inclinação dos coletores.

3.3. Calibração dos termopares

Os sensores utilizados para a verificação das temperaturas do coletor solar foram termopares do tipo K - cromel-alumel (ver Figura 3.15), ligados a dois *dataloggers* (ver Figura 3.18). Como esses sensores não vêm calibrados de fábrica, há a necessidade de calibrá-los antes de utilizá-los. A calibração foi realizada tomando como referência um termômetro de mercúrio cuja escala varia de -10°C a 120°C. Inicialmente amarrou-se os oito termopares, com as pontas próximas ao bulbo do termômetro de mercúrio, conforme Figura 3.21. Em seguida, mergulhou-se o conjunto em um ebulidor, mostrado na Figura 3.22, com água fervente a 90°C. A partir daí, desligou-se o ebulidor, e, deixou-se resfriar a água, lentamente, até a temperatura ambiente, e registraram-se os valores das temperaturas pelos oito termopares, comparativamente com o termômetro de mercúrio, conforme a Tabela 3.2.



Figura 3.22. Termopares fixados ao termômetro de mercúrio.



Figura 3.23. Ebulidor utilizado para aquecer a água.

Após a tabulação das temperaturas, gerou-se uma curva para cada termopar comparativamente à curva do termômetro de mercúrio, conforme gráficos abaixo. A partir dessas curvas, geraram-se as funções de correção dos valores das temperaturas medidas pelos respectivos termopares.

Tabela 3.2. Relação entre as temperaturas medidas pelo termômetro de referência (termômetro de mercúrio) e os termopares.

TABELA DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES(T_p)								

Temperatura do Termômetro de referência(°C)	Tp1(°C)	Tp2(°C)	Tp3(°C)	Tp4(°C)	Tp5(°C)	Tp6(°C)	Tp7(°C)	Tp8(°C)
90	92,5	91,8	92,0	92,5	92,3	92,3	92,0	91,9
80	78,9	82,0	79,2	82,3	82,2	82,2	81,6	81,6
75	75,7	75,5	75,5	76,2	76,0	76,0	75,7	75,5
65	65,1	65,8	65,3	66,1	65,8	65,9	65,7	65,8
60	60,4	60,1	60,4	60,6	60,3	60,0	60,1	59,9
55	55,2	55,0	55,1	55,4	55,3	55,1	55,1	55,1
50	50,3	50,1	50,2	50,6	50,3	50,2	50,2	50,0
45	45,2	45,1	45,4	45,4	45,3	45,2	45,2	45,0
40	40,2	40,1	40,4	40,5	40,4	40,4	40,3	40,0
35	35,8	35,7	35,8	35,9	35,5	35,5	35,6	35,4
30	30,7	30,8	30,9	31,0	30,7	30,7	30,6	30,7

Tabela 3.3. Erros dos termopares em relação ao termômetro de referência.

ERROS DE LEITURA								
Temperatura do Termômetro de referência(°C)	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7	Tp8
90	2,78%	2,00%	2,22%	2,78%	2,56%	2,56%	2,22%	2,11%
80	-1,37%	2,50%	-1,00%	2,88%	2,75%	2,75%	2,00%	2,00%
75	0,93%	0,67%	0,67%	1,60%	1,33%	1,33%	0,93%	0,67%
65	0,15%	1,23%	0,46%	1,69%	1,23%	1,38%	1,08%	1,23%
60	0,67%	0,17%	0,67%	1,00%	0,50%	0,00%	0,17%	-0,17%
55	0,36%	0,00%	0,18%	0,73%	0,55%	0,18%	0,18%	0,18%
50	0,60%	0,20%	0,40%	1,20%	0,60%	0,40%	0,40%	0,00%
45	0,44%	0,22%	0,89%	0,89%	0,67%	0,44%	0,44%	0,00%
40	0,50%	0,25%	1,00%	1,25%	1,00%	1,00%	0,75%	0,00%
35	2,29%	2,00%	2,29%	2,57%	1,43%	1,43%	1,71%	1,14%
30	2,33%	2,67%	3,00%	3,33%	2,33%	2,33%	2,00%	2,33%
Média	0,84%	0,53%	0,95%	1,33%	0,85%	0,69%	0,70%	0,26%

Na média, o erro entre os termopares e o termômetro de referência, na faixa de temperatura trabalhada, entre 35°C e 55°C, foi menor que 1%, ou seja, desprezível dada a precisão exigida pelo trabalho. Por tanto, não será necessário fazer nenhuma correção nas leituras das temperaturas, feitas pelos termômetros *dataloggers*.

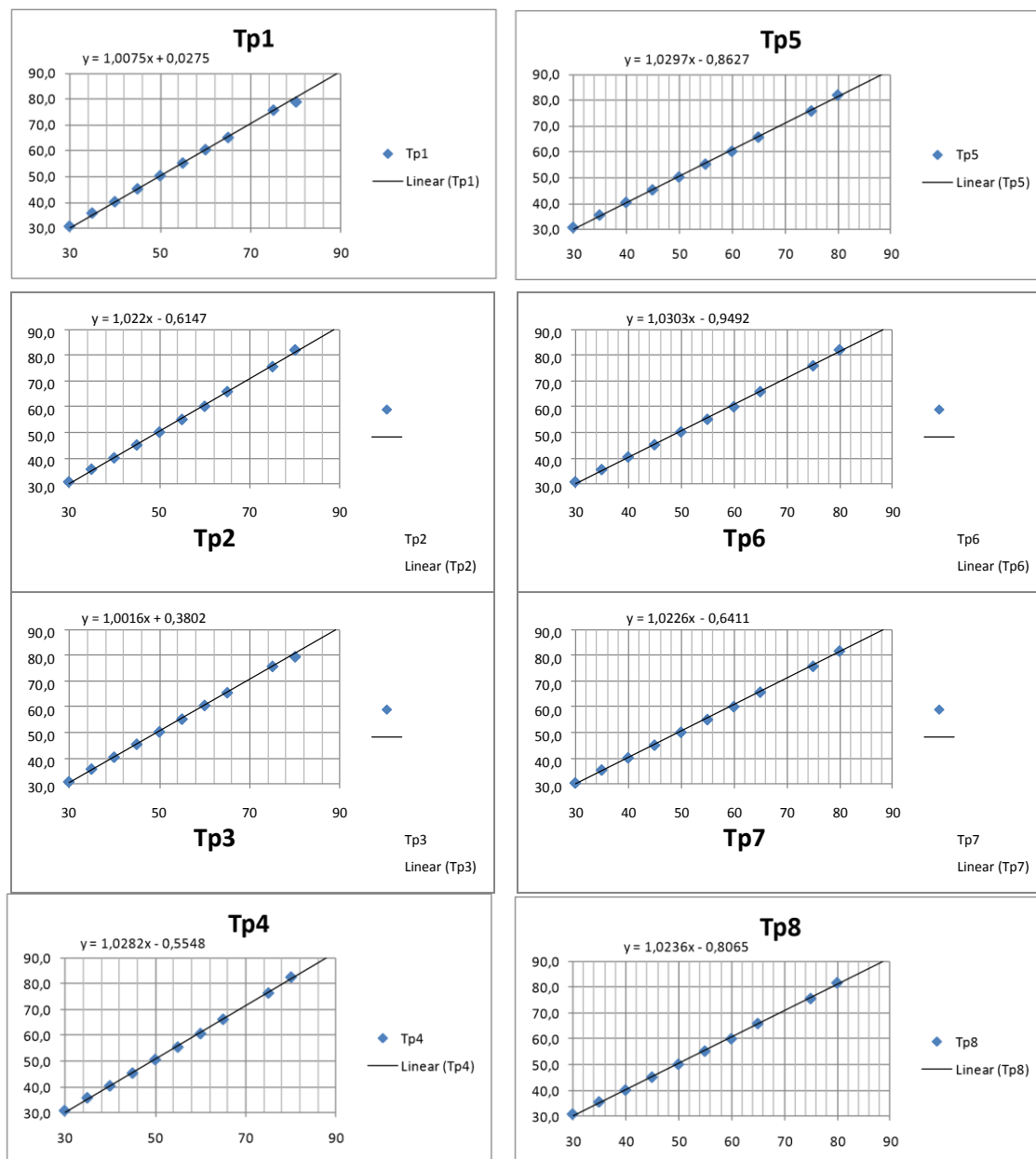


Figura 3.24. Curvas de calibração dos termopares.

3.4. Desenvolvimento teórico

3.4.1. Determinação dos parâmetros térmicos

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são **o rendimento térmico, a potência perdida e o coeficiente global de perdas.**

3.4.1.a. Coeficiente global de perdas

A placa coletora após receber radiação se aquece, surgindo, em consequência, um gradiente de temperatura entre a mesma e o ar ambiente, fazendo com que parte da energia captada flua do coletor para a atmosfera, que se constitui nas perdas térmicas do coletor. O parâmetro que engloba todas essas perdas é o Coeficiente Global de Perdas (U_{loss}), que pode ser determinado por três métodos distintos, quais sejam: Método da Perda Térmica, Método das Trocas Térmicas e Método da Inversão de Fluxo (**DUFFIE&BECKMAN, 1991, INCROPERA, 2003**).

Como o Método da Inversão Térmica requer um controle rígido de vários parâmetros, necessitando, por conseguinte, de um aparato tecnológico de grande sofisticação, resolveu-se determinar esse parâmetro a partir do método mais simples, o método da perda térmica, descrito abaixo.

Este método consiste na determinação do Coeficiente Global de Perda Térmica através do conhecimento dos parâmetros potência absorvida pelo coletor ($P_{\text{abs.}}$), potência transferida ao fluido de trabalho (P_{u}), temperatura média de placa (T_{pm}) e temperatura ambiente (T_{a}), da área do coletor (A), da vazão mássica (\dot{m}), do calor específico do fluido (c_p) e da diferença de temperatura do fluido obtida no sistema (ΔT), conforme as equações (3.1) a (3.4).

$$P_{abs} = \dot{m} c_p (T_m - T_a) \quad (3.1)$$

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

$$P_u = \dot{m} c_p (T_m - T_a) \quad (3.2)$$

$$P_p = P_{abs} + P_u \quad (3.3)$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_m - T_a)} \quad (3.4)$$

Para as configurações I e III, que não têm cobertura transparente, a equação para a determinação da potência absorvida torna-se:

$$P_{abs} = \alpha_p \cdot I \cdot A \quad (3.5)$$

3.4.1.b. Determinação do rendimento térmico

$$\eta_t = \frac{P_u}{P_p} \quad (3.6)$$

Onde:

P_u = potência total útil transferida ao fluido de trabalho, em kW.

I = radiação solar global, em kW/m².

A = área do coletor (área exposta à radiação solar), em m².

□

\dot{m} = vazão mássica, em kg/s. c_p = calor

específico da água, em KJ/kg °C.

□ T = gradiente de temperatura entre entrada e saída do fluido, em °C.

□ p = Transmissividade da cobertura. α_p

= absortividade da placa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ensaio das configurações I e II.

As Tabelas 4.1 e 4.2 mostram os resultados médios gerais obtidos para três dias de testes para as configurações I e II e a Tabela 4.3 mostra o comportamento assumido pelos parâmetros térmicos levantados.

Tabela 4.1. Resultados médios gerais para os três dias ensaiados (configuração I).

DIAS DE ENSAIO	ΔT (°C)	I (kW/m ²)	\square_t (%) \square	T _{baixo} (°C)	T _{1/4} (°C)	T _{1/2} (°C)	T _{3/4} (°C)	T _{cima} (°C)
Dia 1	7,6	0,70	21,7	34,1	37,0	38,7	39,7	40,7
DIA 2	7,4	0,68	21,8	33,8	36,8	38,2	39,4	40,5
DIA 3	7,3	0,68	21,5	33,6	36,4	37,7	39,0	40,2
MÉDIA	7,4	0,69	21,7	33,8	36,7	38,2	38,9	40,5

Tabela 4.2. Resultados médios gerais para os três dias ensaiados (configuração II).

DIAS DE ENSAIO	ΔT (°C)	I (kW/m ²)	\square_t (%) \square	T _{baixo} (°C)	T _{1/4} (°C)	T _{1/2} (°C)	T _{3/4} (°C)	T _{cima} (°C)
Dia 1	8,8	0,71	24,8	39,2	41,5	42,6	43,1	43,8
DIA 2	8,6	0,70	24,6	38,2	40,9	42,4	43,5	43,5
DIA 3	8,8	0,71	24,8	39,3	41,2	42,5	43,7	43,7

MÉDIA	8,7	0,71	24,5	38,9	41,2	42,5	43,4	43,7
-------	-----	------	------	------	------	------	------	------

A eficiência média do coletor em estudo para a melhor configuração ficou em torno de 25%, um pouco abaixo da maioria dos coletores alternativos comerciais, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%.

A diferença de eficiência térmica entre as duas configurações ficou em torno de 14,5%. No que diz respeito ao gradiente de temperatura houve uma diferença de 17,6%. A configuração com cobertura foi mais eficiente que a outra, sem cobertura. Isso se deve a uma diminuição da troca térmica entre coletor e ambiente, proporcionada pela cobertura transparente.

A variação de radiação solar global foi de 3,0%, o que evidencia condições solarimétricas praticamente idênticas para os dias ensaiados, condição que foi premissa do trabalho para uma análise comparativa.

Com relação aos níveis de temperatura na massa de água aquecida percebeu-se que houve uma significativa uniformização, e os níveis atingidos foram superiores a temperatura requerida para o banho.

Após as sete horas de ensaio misturou-se a água no reservatório térmico obtendo-se para a mistura uma temperatura de 38,8 °C para a configuração sem cobertura e 42,4 °C para a outra configuração. Nesse caso a supremacia da configuração com cobertura foi de 9,2%.

A perda térmica do sistema pode ser avaliada calculando-se as potências absorvidas, útil e perdida, cujos valores são mostrados a seguir. Os valores dos parâmetros utilizados para a determinação do coeficiente global de perda térmica foram medidos no intervalo entre 11:30 e 12:30, período de radiação constante, em um dia de apropriadas condições solarimétricas. A Tabela 4.3 apresenta os valores dos parâmetros de perda térmica para as configurações I e II.

Tabela 4.3. Valores dos parâmetros de perda térmica para as configurações I e II.

TIPO DE CONFIGURAÇÃO	P_{abs} (W)	$P_{útil}$ (W)	$P_{perdido}$ (W)	U_{LOSS} (W/m ² .°C)
PVC SEM COBERTURA	691,0	224,1	467,1	45,0
PVC COM COBERTURA	553,0	276,4	276,6	16,5

Para a configuração I - sem cobertura os valores dos parâmetros de perda térmica calculados são mostrados a seguir:

$$P_{abs} = 0,8.1,2.720 = 691,2 \text{ Watts}$$

$$P_u = 24,9.(9) = 24,9 \times 9 = 224,1,0 \text{ Watts}$$

$$P_p = 691,2 - 224,1,0 = 467,1 \text{ Watts}$$

$$U_{loss} = \frac{467,1}{1,2(46637,5,0 \times 29)} = 45 \text{ W / m}^2. \text{ } ^\circ\text{C}$$

A perda térmica do coletor correspondeu a 67,0% em relação à energia absorvida, enquanto que a potência útil correspondeu a 33,0%. Esse valor de perda térmica é bastante significativo se comparado aos coletores convencionais, porém não inviabilizou a obtenção de água quente para banho para famílias de baixa renda. O valor do U_{loss} esteve muito superior ao obtido para os coletores convencionais, cujo valor é de aproximadamente 12 W/m².°C, o que já era esperado.

Para a configuração II - com cobertura os valores dos parâmetros de perda térmica calculados são mostrados a seguir:

$$P_{abs} = 0,8.0,8.1,2.720 = 553,0 \text{ Watts}$$

$$P_u = 24,9.(11,1) = 24,9.11,1 = 276,4 \text{ Watts}$$

$$P_p \approx 552,8 - 276,4 \approx 276,6 \text{ Watts}$$

$$U \approx 276,6 \approx 16,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C loss } 1,2(4329)$$

A perda térmica do coletor para essa configuração já diminuiu consideravelmente, correspondendo a 50,0% em relação à energia absorvida, mesmo percentual da potência útil.

Com relação ao coeficiente global de perda térmica a redução foi de aproximadamente 64%, apesar de ser ainda de magnitude muito maior que o coeficiente relativo aos coletores convencionais de mercado. Isso demonstra a influência da cobertura transparente colocada na superfície superior do coletor. Essa perda pode ser diminuída através de um estudo específico para a determinação da espessura da camada isolante e de uma melhor vedação do coletor.

Os resultados do teste para avaliar a eficiência térmica do reservatório térmico alternativo utilizado nas **configurações I e II** encontram-se apresentados na Tabela 4.4

Tabela 4.4. Resultados dos testes realizados com o reservatório térmico alternativo proposto.

TEMPO (HORA)	Tágua (°C)	Tambiente (°C)	Treserv. Cima (°C)	Treserv. Meio (°C)	Treserv. Baixo (°C)
16:00	45,3	27	28	28,3	28,5
18:00	45	26	27	27,5	28
20:00	44,2	25,5	25,1	25,6	26,2
22:00	43,5	25	25,1	25,6	25,6
00:00	42,9	25	25,1	25,2	25,6
02:00	42,5	24,9	24,9	25,5	25,6
04:00	41,8	25	25	25,4	25,5
06:00	40,9	27,7	28	30,4	28,7
07:00	40,6	28,4	28,8	29,6	28,4
09:00	40,1	31,8	36	36,8	32,3
11:00	40,1	31,9	38,5	35,5	33,7
12:00	40,1	32	38	35,5	34
14:00	40,4	32,4	38,2	36	35
16:00	40,7	30	35	33	32

Os dados mostrados demonstram a boa eficiência térmica do reservatório térmico alternativo proposto. Houve uma queda de temperatura, durante as 24 horas, correspondente a 4,7°C Essa queda de temperatura está um dentro da média apontada pela literatura para reservatórios térmicos convencionais, de cobre ou inox, que apresentam valores em torno de 5°C para o nível de temperatura testado. Ressalta-se, ainda, o preço do reservatório alternativo proposto, muito menor que os reservatórios convencionais.

Percebe-se que a temperatura da superfície externa do reservatório esteve bem próxima da temperatura ambiente durante toda a noite refletindo uma baixa perda térmica pela lateral do reservatório.

A temperatura do reservatório só alcançou valores bem acima da temperatura ambiente para o período em que a o reservatório passou a ser aquecido pela radiação solar global absorvida pelo mesmo, uma vez que foi pintado com tinta preto fosco.

Portanto, a perda mais significativa ocorreu pela parte inferior e/ou tampa do reservatório.

No que diz respeito à resistência mecânica do reservatório alternativo proposto não se verificou danos à sua estrutura, demonstrando suportar o peso correspondente ao volume de água contido no reservatório. Não houve também ocorrência de vazamentos, o que atesta sua boa vedação, obtida através de resina ortoftálica.

O custo de fabricação do coletor ficou em torno de R\$50,00 e do reservatório térmico em torno de 150 reais. Portanto, o custo total do sistema de aquecimento foi inferior a 300 reais, o que representa um custo bastante inferior ao necessário para a fabricação de um sistema de aquecimento convencional. Ressalte-se que o coletor estudado é para ser utilizado por populações de baixa renda, não sendo competitivo com o sistema convencional. Porém, apresenta viabilidade de utilização para o fim proposto.

4.1. Ensaio da configuração III.

4.1.1. Rendimento do coletor

As Tabelas 4.5 a 4.11 mostram os resultados médios gerais obtidos para seis dias de testes e a Tabela 4.12 mostra o comportamento assumido pelos parâmetros térmicos levantados.

Tabela 4.5. Resumo dos dados do coletor no dia 13/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 13/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T _{entrada coletor} (°C)	T _{saída coletor} (°C)	ΔT(entrada - saída) (°C)	η _T	I (kW/m ²)

08:00 - 09:00h	29,1	35,8	6,7	40,14%	0,231
09:00 - 10:00h	30,0	39,6	9,6	43,55%	0,306
10:00 - 11:00h	30,8	37,6	6,8	23,95%	0,393
11:00 - 12:00h	31,9	36,7	4,9	12,91%	0,524
12:00 - 13:00h	32,7	40,6	7,9	17,81%	0,619
13:00 - 14:00h	33,4	41,2	7,8	16,18%	0,673
14:00 - 15:00h	33,2	42,3	9,1	17,19%	0,743
Média	32,4	39,7	7,3	24,53%	0,498

Tabela 4.6. Resumo dos dados do coletor no dia 14/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 14/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T_{entrada coletor} (°C)	T_{saída coletor} (°C)	ΔT(entrada - saída) (°C)	η_T	I (kW/m²)
08:00 - 09:00h	28,7	37,7	9,0	52,78%	0,237
09:00 - 10:00h	29,9	43,0	13,2	54,27%	0,338
10:00 - 11:00h	31,6	45,2	13,6	34,19%	0,555
11:00 - 12:00h	33,3	47,1	13,8	31,14%	0,618
12:00 - 13:00h	35,6	48,5	12,9	40,28%	0,447
13:00 - 14:00h	38,5	47,5	9,0	12,84%	0,978
14:00 - 15:00h	36,0	43,0	7,0	12,68%	0,771
Média	35,0	46,2	11,3	34,02%	0,563

Tabela 4.7. Resumo dos dados do coletor no dia 15/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 15/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T_{entrada coletor} (°C)	T_{saída coletor} (°C)	ΔT(entrada - saída) (°C)	η_T	I (kW/m²)
08:00 - 09:00h	31,5	35,6	4,2	24,59%	0,235
09:00 - 10:00h	36,4	46,3	9,9	39,36%	0,351
10:00 - 11:00h	39,4	46,7	7,4	20,83%	0,492
11:00 - 12:00h	41,3	51,3	10,0	22,17%	0,629
12:00 - 13:00h	46,3	54,3	8,1	13,42%	0,837
13:00 - 14:00h	47,1	56,5	9,4	14,20%	0,924
14:00 - 15:00h	46,7	55,7	9,0	13,86%	0,906
Média	44,1	52,9	8,8	21,20%	0,625

Tabela 4.8. Resumo dos dados do coletor no dia 16/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 16/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T _{entrada coletor} (°C)	T _{saída coletor} (°C)	ΔT (entrada - saída) (°C)	ηT	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	30,8	34,1	3,4	20,27%	0,231
09:00 - 10:00h	33,9	39,0	5,2	19,08%	0,377
10:00 - 11:00h	34,7	40,2	5,5	14,15%	0,537
11:00 - 12:00h	36,1	41,4	5,4	11,36%	0,657
12:00 - 13:00h	31,0	42,0	11,0	21,76%	0,706
13:00 - 14:00h	36,9	45,9	9,0	14,25%	0,881
14:00 - 15:00h	26,6	40,1	13,6	34,21%	0,553
Média	33,0	41,9	8,9	19,30%	0,563

Tabela 4.9. Resumo dos dados do coletor no dia 17/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 17/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T _{entrada coletor} (°C)	T _{saída coletor} (°C)	ΔT (entrada - saída) (°C)	ηT	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	28,5	35,7	7,2	43,26%	0,231
09:00 - 10:00h	33,4	43,4	9,9	45,50%	0,305
10:00 - 11:00h	35,4	40,9	5,5	22,18%	0,346
11:00 - 12:00h	37,4	45,5	8,1	21,54%	0,525
12:00 - 13:00h	30,4	40,7	10,3	18,75%	0,766
13:00 - 14:00h	31,8	43,4	11,6	19,66%	0,823
14:00 - 15:00h	33,1	42,8	9,7	16,31%	0,830
Média	33,6	42,6	9,0	26,74%	0,547

Tabela 4.10. Resumo dos dados do coletor no dia 18/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO COLETOR NO DIA 18/01/10					
HORÁRIO (h:min)	T _{entrada coletor} (°C)	T _{saída coletor} (°C)	ΔT (entrada - saída) (°C)	ηT	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	29,4	36,1	6,8	40,87%	0,230
09:00 - 10:00h	31,8	37,1	5,3	19,28%	0,384
10:00 - 11:00h	35,5	43,4	7,9	19,77%	0,558

11:00 - 12:00h	36,5	44,8	8,3	19,46%	0,599
12:00 - 13:00h	34,3	41,7	7,5	18,27%	0,569
13:00 - 14:00h	31,2	39,8	8,6	23,18%	0,518
14:00 - 15:00h	31,9	40,4	8,5	21,58%	0,550
Média	33,9	42,0	8,2	23,20%	0,487

Tabela 4.11. Resumo dos dados do coletor no período de 13 a 18/01/2010.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS NO PERÍODO DE 13/01 a 18/01/2010					
HORÁRIO (h:min)	T _{entrada coletor} (°C)	T _{saída coletor} (°C)	ΔT(entrada - saída) (°C)	η _T	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	29,6	35,8	6,2	37,01%	0,23
09:00 - 10:00h	32,5	41,4	8,8	35,89%	0,34
10:00 - 11:00h	34,6	42,3	7,8	22,54%	0,48
11:00 - 12:00h	36,0	44,5	8,4	19,82%	0,59
12:00 - 13:00h	35,0	44,6	9,6	20,38%	0,66
13:00 - 14:00h	36,5	45,7	9,2	16,12%	0,80
14:00 - 15:00h	34,6	44,1	9,5	18,24%	0,73
Média	35,3	44,2	8,9	24,29%	0,547

O que se espera de um sistema solar é que nos horários próximos ao meio dia, sua eficiência térmica seja máxima. Porém, na prática foi observado o contrário, visto que nas primeiras horas da manhã obteve-se os maiores índices de eficiência térmica (ver Tabela 4.11). Esse fenômeno ocorreu devido ao fato do gradiente de temperatura no período da manhã, ter sido, proporcionalmente maior, em relação à irradiação solar. Tem-se que se levar em consideração que a variação da irradiação é sentida imediatamente, enquanto a variação da temperatura da água dentro da grade absorvedora, leva um certo tempo para responder ao estímulo desta mesma irradiação.

Tabela 4.12. Valores dos parâmetros de perda térmica para a configuração III.

TIPO DE CONFIGURAÇÃO	P _{abs} (W)	P _{útil} (W)	P _{perdido} (W)	U _{LOSS} (W/m ² .°C)
PEAD SEM COBERTURA	1050,24	461,47	588,77	19,9

A eficiência média do coletor para essa configuração ficou em torno de 24% (ver Tabela 4.11), valor abaixo da maioria dos coletores alternativos, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%. A diferença de eficiência térmica entre essa configuração e a melhor configuração das duas anteriormente citadas, que utiliza PVC com cobertura transparente, ficou em torno de 0,3% (ver Tabela 4.20).

No que diz respeito ao gradiente de temperatura houve uma diferença de 0,2 °C (ver Tabela 4.20) em favor do coletor com PEAD, ou seja, a configuração com PEAD sem cobertura teve, praticamente, a mesma eficiência térmica. Isso se deve ao fato da grade absorvedora da configuração III utilizar tubos de PEAD enegrecidos de fábrica e, ao fato da área desse coletor ser o dobro da do coletor de PVC com cobertura transparente.

A radiação solar global nos ensaios feitos em Natal/RN, para as configurações I e II, foi 29,7% maior que em Santo Amaro/Ba, para a configuração III, o que evidencia condições solarimétricas superiores para os ensaios feitos em Natal/RN.

Com relação aos níveis de temperatura na massa de água aquecida percebeu-se que houve uma significativa uniformização, e os níveis atingidos foram superiores à temperatura requerida para o banho. Nesse caso a supremacia da configuração com cobertura foi de 20%.

Apesar dos significativos níveis de temperatura e da relativa uniformidade da massa fluídica, esses parâmetros podem ser otimizados isolando-se termicamente o reservatório e, o tubo que liga a saída do coletor ao reservatório (ver Figura 3.17). A falta desses isolamentos gerou uma perda térmica de, aproximadamente, 18% em relação à saída do coletor.

No que diz respeito à temperatura da placa absorvedora, para o cálculo da energia perdida pelo coletor, foram realizadas várias medições de temperatura para a determinação da sua temperatura média.

O valor médio encontrado para esse parâmetro correspondeu a 43,1°C. Foram medidas, também, as temperaturas da superfície da telha inferior do coletor. O gráfico da Figura 4.1 mostra o comportamento assumido pelas temperaturas das telhas superior e inferior e da ambiente.

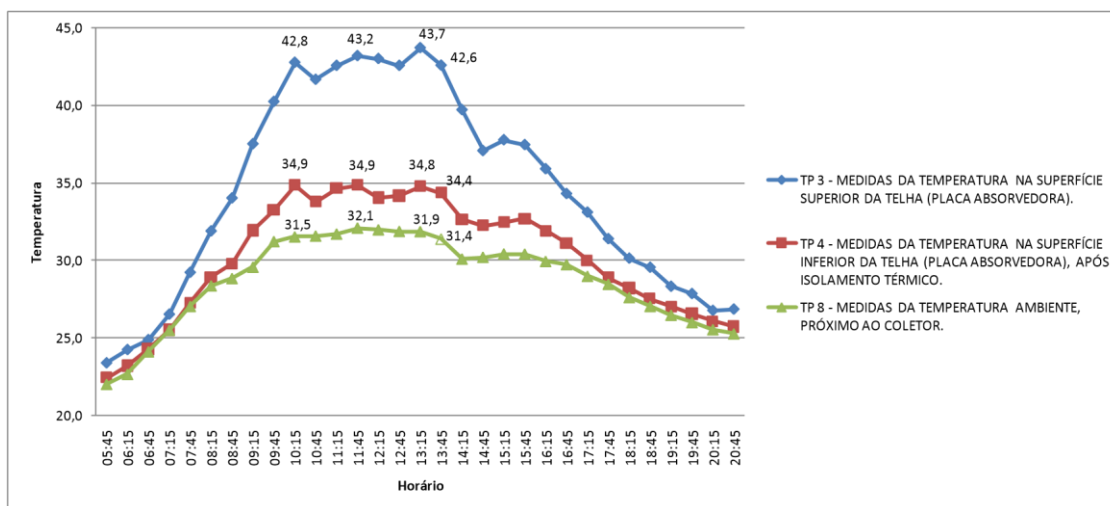


Figura 4.1. Comparação das médias das temperaturas nas superfícies superior e inferior da placa absorvedora entre os dias 13/01/2010 e 18/01/2010.

Uma vez que as temperaturas médias das telhas superior e inferior corresponderam a 43,1 e 33,1°C percebeu-se a significativa eficiência propiciada pelo isolante térmico utilizado, que se reflete pelo pequeno gradiente de temperatura entre a superfície da telha inferior e o ambiente.

A perda térmica do sistema pode ser avaliada calculando-se as potências absorvidas, útil e perdida, cujos valores são mostrados a seguir. Os valores dos parâmetros utilizados para a determinação do coeficiente global de perda térmica foram medidos no intervalo entre 11:30h e 12:30h, período de radiação constante, em um dia de apropriadas condições solarimétricas. A Tabela 4.13 mostra os valores dos parâmetros de perda térmica para as três configurações estudadas.

$$P_{abs} = \alpha I A = 0,8 \cdot 2,4 \cdot 547 = 1050,24 \text{ Watts}$$

$$P_{up} = m \cdot c \cdot \Delta T = 8 \cdot 4,18 \cdot 13,8 = 461,47 \text{ Watts}$$

$$P_{p} = P_{abs} - P_{up} = 1050,24 - 461,47 = 588,77 \text{ Watts}$$

$$U_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{perdido}}}{A} = \frac{588,77}{30,8} = 19,94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

A perda térmica do coletor correspondeu a 56,1% em relação à energia absorvida, enquanto que a potência útil correspondeu a 43,9%. Esse valor de perda térmica é significativo, porém não inviabilizou a obtenção de água quente para banho para famílias de baixa renda. O valor do U_{loss} foi muito superior ao obtido para os coletores convencionais, o que já era esperado.

Tabela 4.13. Valores dos parâmetros de perda térmica para as três configurações.

TIPO DE CONFIGURAÇÃO	P_{abs} (W)	$P_{\text{útil}}$ (W)	P_{perdido} (W)	U_{loss} (W/m ² ·°C)
PVC SEM COBERTURA	691,0	224,1	467,1	45,0
PVC COM COBERTURA	553,0	276,4	276,6	16,5
PEAD SEM COBERTURA	1050,24	461,47	588,77	19,9

As Tabelas a seguir apresentam os valores dos níveis de temperatura da água no reservatório térmico, para os dias de ensaios realizados com a configuração III.

Tabela 4.14. Média dos dados coletados do reservatório no dia 13/01/10.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO NO DIA 13/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	$\Delta T(\text{cima} - \text{baixo})$ (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	31,7	28,9	2,8	28,8	0,231
09:00 - 10:00h	35,9	29,7	6,2	30,1	0,306
10:00 - 11:00h	39,3	30,7	8,7	32,1	0,393
11:00 - 12:00h	39,1	31,4	7,7	30,7	0,524
12:00 - 13:00h	40,5	32,7	7,9	32,0	0,619
13:00 - 14:00h	40,9	33,6	7,4	31,9	0,673
14:00 - 15:00h	41,5	34,2	7,4	29,7	0,743
Média	40,3	32,5	7,8	30,72	0,498

Tabela 4.15.
Média dos dados coletados do reservatório no dia 14/01/10.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO NO DIA 14/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	ΔT(cima - baixo) (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m²)
08:00 - 09:00h	31,0	28,3	2,7	29,5	0,237
09:00 - 10:00h	39,4	29,4	10,0	32,6	0,338
10:00 - 11:00h	42,5	31,1	11,4	34,6	0,555
11:00 - 12:00h	43,9	33,1	10,8	34,9	0,618
12:00 - 13:00h	39,8	36,2	3,6	34,7	0,447
13:00 - 14:00h	47,0	40,1	6,9	34,6	0,978
14:00 - 15:00h	46,1	40,0	6,1	31,1	0,771
Média	43,8	36,1	7,7	33,11	0,563

Tabela 4.16. Média dos dados coletados do reservatório no dia 15/01/10.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO NO DIA 15/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	ΔT(cima - baixo) (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m²)
08:00 - 09:00h	29,5	28,1	1,4	28,0	0,235
09:00 - 10:00h	30,3	28,9	1,5	31,2	0,351
10:00 - 11:00h	32,4	29,5	2,9	31,0	0,492
11:00 - 12:00h	42,1	31,0	11,2	33,4	0,629
12:00 - 13:00h	43,4	32,0	11,5	33,8	0,837
13:00 - 14:00h	45,9	33,0	12,9	33,6	0,924
14:00 - 15:00h	44,7	33,9	10,9	33,5	0,906
Média	41,7	31,9	9,8	32,05	0,625

Tabela 4.17. Média dos dados coletados do reservatório no dia 16/01/10.

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO NO DIA 16/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	$\Delta T(\text{cima} - \text{baixo})$ (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	28,7	27,2	1,5	30,1	0,231
09:00 - 10:00h	30,1	27,6	2,5	29,6	0,377
10:00 - 11:00h	32,4	28,3	4,2	29,7	0,537
11:00 - 12:00h	35,0	29,2	5,8	29,9	0,657
12:00 - 13:00h	39,7	29,5	10,3	28,3	0,706
13:00 - 14:00h	42,8	30,2	12,6	29,1	0,881
14:00 - 15:00h	32,8	29,9	3,0	25,2	0,553
Média	36,5	29,4	7,2	28,81	0,563

RESUMO DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO NO DIA 17/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	$\Delta T(\text{cima} - \text{baixo})$ (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	26,5	25,0	1,5	27,6	0,231
09:00 - 10:00h	28,1	25,4	2,7	29,7	0,305
10:00 - 11:00h	29,8	27,1	2,8	30,1	0,346
11:00 - 12:00h	34,4	29,3	5,2	33,0	0,525
12:00 - 13:00h	39,8	29,7	10,1	32,2	0,766
13:00 - 14:00h	39,9	31,0	8,9	33,1	0,823
14:00 - 15:00h	41,7	32,7	9,0	32,3	0,830
Média	37,1	29,9	7,2	31,12	0,547

Tabela 4.18. Média dos dados coletados do reservatório no dia 17/01/10.

Tabela 4.19. Média dos dados coletados do reservatório entre os dias 13/01 e 17/01/10.

MÉDIA DOS DADOS COLETADOS DO RESERVATÓRIO ENTRE OS DIAS 13/01 e 18/01/10					
HORÁRIO (h:min)	Tem cima (°C)	Tem baixo (°C)	ΔT (cima - baixo) (°C)	Tambiente (°C)	I (kW/m ²)
08:00 - 09:00h	29,5	27,3	2,1	28,6	0,232
09:00 - 10:00h	32,8	28,1	4,7	30,2	0,343
10:00 - 11:00h	35,3	29,1	6,2	31,2	0,480
11:00 - 12:00h	38,9	30,5	8,4	31,8	0,592
12:00 - 13:00h	40,6	31,5	9,2	31,5	0,657
13:00 - 14:00h	43,3	33,0	10,3	31,5	0,799
14:00 - 15:00h	41,4	33,4	8,0	29,9	0,725
Média	37,4	30,4	7,0	30,67	0,547

No ponto de coleta da água para banho, que é captada da parte de cima do reservatório, durante todos os dias ensaiados o sistema foi capaz de propiciar níveis de temperatura superiores aos ideais para essa operação,

Apesar do tambor não possuir isolamento térmico, o sistema teve autonomia para um dia, sendo que no dia seguinte pela manhã a temperatura tende a cair para cerca de 30°C, abaixo da temperatura de banho, que é em torno de 34°C.

A opção pela não utilização do isolamento térmico se deu na tentativa de construir um coletor com o menor custo possível. Porém, chegou-se à conclusão que será necessário isolar termicamente o reservatório, para conceder ao sistema uma maior autonomia.

As Tabelas 4.13 e 4.20 apresentam os resultados médios gerais para as três configurações estudadas embora uma análise comparativa mais real fique prejudicada uma vez que as condições operacionais dos ensaios e as áreas dos coletores eram diferentes. Os gráficos das Figuras 4.2 e 4.3 mostram o comportamento assumido pelos parâmetros térmicos medidos e calculados.

Tabela 4.20. Resultados médios gerais para cada configuração estudada.

TIPO DE CONFIGURAÇÃO	ΔT (°C)	I (kW/m ²)	\square_t (%) \square	Tbaixo (°C)	T _{1/4} (°C)	T _{1/2} (°C)	T _{3/4} (°C)	T _{cima} (°C)	U _{Loss} (W/m ² .°C)
PVC COM COBERTURA E ISOLAMENTO NO RESERVATÓRIO	8,7	0,71	24,5	38,9	41,2	42,5	43,4	43,7	16,6
PVC SEM COBERTURA E ISOLAMENTO NO RESERVATÓRIO	7,4	0,69	21,4	36,4	36,7	38,2	38,9	40,5	45,0

PEAD SEM COBERTURA E SEM ISOLAMENTO NO RESERVATÓRIO	8,9	0,55	24,3	30,4	-----	-----	-----	36,3	19,9
--	------------	-------------	-------------	-------------	-------	-------	-------	-------------	-------------

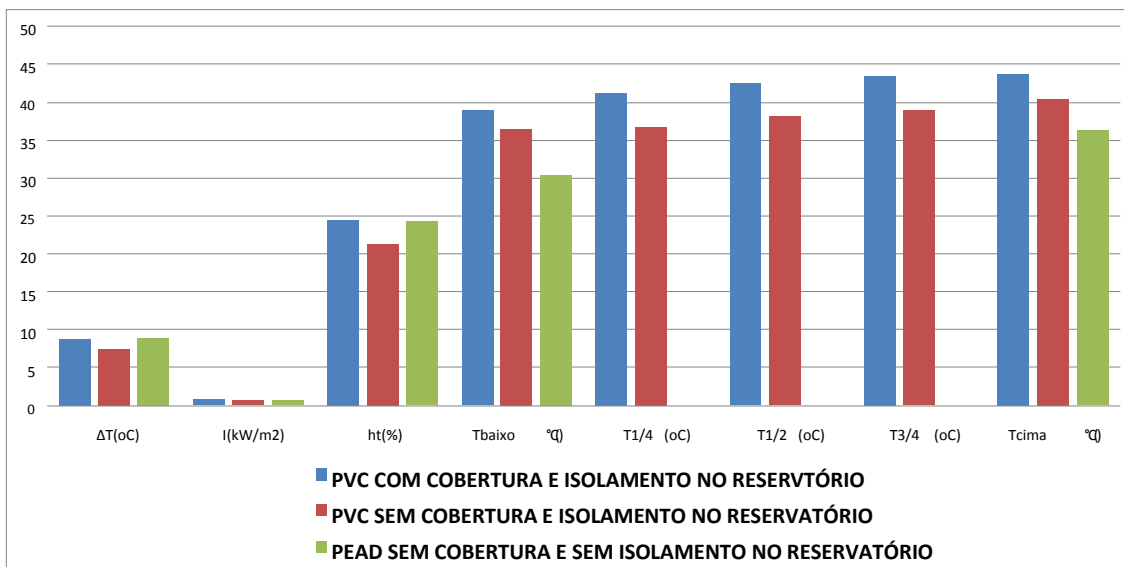


Figura 4.2. Comparativo dos parâmetros térmicos das três configurações de coletores ensaiados.

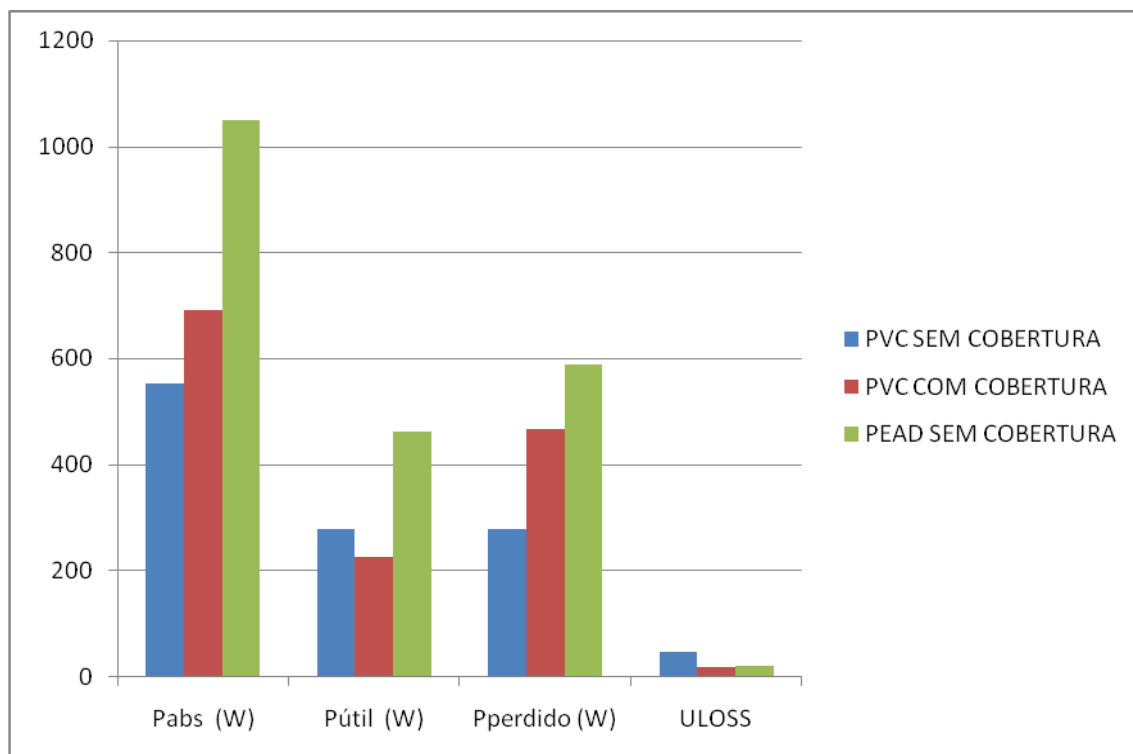


Figura 4.3. Comparativo das perdas térmicas das três configurações de coletores ensaiados.

5. CONCLUSÕES

Com base nos objetivos definidos serão apresentadas as conclusões a seguir, bem como algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros, de modo a torná-los mais eficientes e competitivos com demais tipos de coletores.

5.1. Conclusões

- 5.1.1 O sistema solar de aquecimento estudado, nas três configurações, apesar da baixa eficiência térmica, demonstrara-se viável para o aquecimento residencial de água destinada ao banho, para uma família de quatro pessoas;
- 5.1.2 Para a obtenção de uma autonomia superior a três banhos diários, utilizando-se a configuração III, é necessária a colocação de isolamento térmico no tambor ou deve-se utilizar outro módulo de coletor em série ou paralelo, o que não representaria um custo adicional significativo, uma vez que o custo de fabricação do coletor é reduzido se comparado a outros coletores convencionais ou até mesmo alternativos utilizados para o fim proposto;
- 5.1.3 A característica mais importante do sistema de aquecimento proposto é seu baixo custo: R\$ 150,00 para a configuração III e R\$ 300,00 para as configurações I e II, além da facilidade de fabricação, principalmente das configurações I e III;
- 5.1.4 Dentre as configurações estudadas a configuração II é a mais eficiente termicamente, porém é a que apresenta o processo de fabricação com maior grau de dificuldade em função de sua cobertura transparente feita com garrafas PET;

5.1.5 O sistema de aquecimento estudado pode contribuir para massificar o uso do aquecimento solar de água em comunidades de baixa renda, socializando o uso da energia.

5.1.6 O reservatório térmico alternativo utilizado nas configurações I e II mostrou-se viável para ser utilizado em sistemas de aquecimento,

Capítulo 5 Conclusões

por apresentarem um nível de perda térmica próximo aos reservatórios convencionais e um baixo custo;

5.1.7 A temperatura da grade absorvedora de PVC esteve abaixo do nível crítico para início do processo de degradação térmica;

5.1.8 A perda térmica do coletor na configuração III é superior se comparada à dos coletores convencionais, e até mesmo em relação a alguns coletores alternativos;

5.2. Sugestões

5.2.1 No caso dos sistemas ensaiados em Natal/RN(I e II), instalar o sistema em um banheiro, com bóia de alimentação do reservatório térmico e ligação do coletor ao ponto de banho, para estudar o sistema em uma situação real de banho. Faz-se necessário também a introdução de alguns acessórios (registros, bóias, válvulas de retenção) para uma melhor operacionalidade do sistema;

5.2.2 No caso da configuração III, ensaiada em Santo Amaro, substituir o atual isolante térmico (lã de vidro) das placas coletoras (telhas) por outro material alternativo e menos poluente, tais como: placas de EPS de alta densidade, EPS triturado, compósito de EPS+gesso+cimento+água, etc;

- 5.2.3 No caso da configuração III ensaiada em Santo Amaro, isolar termicamente o reservatório e o tubo de ligação do coletor ao reservatório;
- 5.2.4 Construir o coletor com tubos de PEAD de 20 mm de diâmetro externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Rivaldo Ferreira, **Estudo Térmico de um Sistema Solar de Aquecimento de Água Residencial para duas Configurações de Superfície Absorvedora**, 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ABOGDERAH, Almabrouk Mansor. **Análise teórica, numérica e experimental de um coletor solar com tubos de calor**. 1991. 111f. Dissertação de mestrado. Faculdade de engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia térmica e de fluidos. Unicamp, Campinas, SP

BEZERRA, A.M., **Aplicações térmicas da energia solar**, Editora Universitária - UFPb, João Pessoa, 2001.

BEZERRA, J.M., **Análise de um Sistema Alternativo para Aquecimento de água por Energia Solar**, 1999. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de PósGraduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Bezerra, A. M. (1998). **Aplicações Térmicas da Energia Solar**. João Pessoa: Universitária.

INCROPERA, F.P., Dewitt, D.P., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, Guanabara Koogan, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2003.

SOUZA, L.G.M., **Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006

ALDABÓ, R.(2002). **Energia Solar**. São Paulo: Artliber Editora Ltda.

—
CENSOLAR, **La Energía Solar: Aplicaciones Prácticas**, Tercera edición, Sevilla, 1999.
SOUZA, L.G.M., **Alternative solar energy water heating system**, COBEM 2007 –
Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília- 2007.

SOUZA, L.G.M., **Análise comparativa entre coletor solar plano convencional e coletor solar alternativo composto por múltiplos tubos de PVC**, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA, 2004.

SOUZA, L.G.M., BEZERRA, J.M., **Sistema Alternativo de Aquecimento Solar**, CONEM – CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Natal, 2000.

SOUZA, L.G.M., **Coletor solar não convencional, de baixo custo, composto por múltiplos tubos absorvedores de PVC**, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA, 2004.

SOUZA, L.G.M., et al. **Sistema de aquecimento solar utilizando elementos recicláveis**, CEBENS – ISES –CLA. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência LatinoAmericana da ISES, Florianópolis/SC - 2008.

SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., **Coletor Solar Aletado com Tubos de PVC formando um Novo Modelo de Configuração em Série**, CONEM, João Pessoa/Pb, 2002.

SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., **Coletor Solar em Labirinto com Tubos Absorvedores de PVC**, CONEM, João Pessoa/Pb, 2002.

SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., **Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar**, Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, 2002.

SOUZA, L.G.M., **Sistema de aquecimento solar de água para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos**, V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe, 2006.

SOUZA, José Ribeiro de. **Projeto, Construção e Levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilindro Parabólico com Mecanismo Automático de Rastreamento Solar**. 2008 Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Al-Madani , Hussain.(2005) **The performance of a cylindrical solar water heater**, Mechanical Engineering Department, College of Engineering, University of Bahrain,

P.O. Box 32038, Kingdom of Bahrain

<http://www.tribunadonorte.com/index.php?setor=DETALHESNOTICIA&nid=37281> –
acessado em 14/09/08.

<http://www.greenpeace.org/brasil/energia/noticias/investimentos-em-energia-renov>

- acessado em 14/09/08. <http://www.coelba.com.br> – Acessado em 23/09/2008.

<http://www.lorenzetti.com.br> - Acessado em 23/09/2008.

[http://www.empresastuma.com.br/empresas_tuma/tuma_industrial/produtos/aquecedor/
aquecedor_06.asp#dimensionamento](http://www.empresastuma.com.br/empresas_tuma/tuma_industrial/produtos/aquecedor/aquecedor_06.asp#dimensionamento) – Acessado em 01/10/08.

<http://www.apolo11.com/latlon.php?uf=ba&cityid=570> – Acessado em 25/11/08.

www.aondefica.com/lat_3_.asp - Acessado em 08/12/08

[http://74.125.47.132/search?q=cache:s3VaYqHNVK4J:www.enq.ufrgs.br/cursos/grad/P
ol_Intr/Grupo%25201/Vers%25E3o%25202/PE.doc+%22degrada%C3%A7%C3%A3o
+fotooxidativa+do+PEAD%22&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=4](http://74.125.47.132/search?q=cache:s3VaYqHNVK4J:www.enq.ufrgs.br/cursos/grad/Pol_Intr/Grupo%25201/Vers%25E3o%25202/PE.doc+%22degrada%C3%A7%C3%A3o+fotooxidativa+do+PEAD%22&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=4) – acessado em 17/01/09

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005 -
acessado em 17/01/09

[http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/01/27/em_noticia_interna,id_sessao=2
&id_noticia=96939/em_noticia_interna.shtml](http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/01/27/em_noticia_interna,id_sessao=2&id_noticia=96939/em_noticia_interna.shtml) - acessado em 30 de janeiro de 2009

<http://www.supergreen.com.br> – acessado em 30 de janeiro de 2009

<http://www.sociedadedosol.org.br/> - Acessado em 07 de fevereiro de 2009

<http://www.inmet.gov.br/sonabra/dspDadosCodigo.php?QTQxMw==> - INMET –
Instituto Nacional de Meteorologia – acessado em 21 de fevereiro de 2010.

ANEXOS

Capítulo 6 – Referências Bibliográficas

HORÁRIOS (h:min)																															
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45	20:15	20:45
12/01/10																						34,3	33,7	33,3	31,4	29,3	27,9	26,6	25,9	25,4	24,6
13/01/10	23,2	23,8	24,8	26,5	28,8	28,9	29,3	30	30	30,9	30,7	32	31,7	32,3	33	33,4	33,4	33,1	33,2	35,1	35,9	35,8	35,7	35,4	32,4	29,5	27,8	26,9	26,2	25,9	25,2
14/01/10	20,6	21,9	22,4	23,8	27	28,5	28,9	29,6	30,1	31,2	31,9	32,8	33,8	34,6	36,6	37,3	39,6	37,6	34,4	34,4	33	32,1	31,3	30,5	29,5	28,3	27,2	26,2	25,5	24,6	23,8
15/01/10	20	20,7	23,2	23,8	28	30,4	32,5	34,4	38,4	40,3	38,4	41,8	40,7	45,3	47,2	47,3	46,9	46,8	46,6	45,6	44,7	43	42,3	39,2	33,3	30	28,3	26,9	26,1	24,9	24,5
16/01/10	18,9	20,1	21,4	24,1	26	29,2	32,3	32,7	35	34,3	35,1	36,1	36	30,8	31,2	38,1	35,7	27,3	25,8	25,3	23,8	24,5	25,7	24,4	24	24,8	21,9	26	22,6	21,8	22,1
17/01/10	21,3	20	22,2	24	25,9	27,9	29,1	33,2	33,6	36	34,8	35,8	38,9	30	30,8	31,2	32,3	32,6	33,6	33,6	35,3	35,3	31,8	30,2	28,2	26,7	25,5	24,6	24,2	23,8	23,9
18/01/10	20,5	21,3	22	22,7	24,4	28	30,7	32,5	31	34,8	36,2	36,9	36	35,3	33,2	30,8	31,6	32,1	31,7	31	34,5	34,3	32,1	30,8	28,4	25,9	25,9	24,1	22,9	22,4	22,3

TP 1 - MEDIDAS DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA ENTRADA DO COLETOR

MÉDIA 20,8 21,3 22,7 24,2 26,7 28,8 30,5 32,1 33,0 34,6 34,5 35,9 36,2 34,7 35,3 36,4 36,6 34,9 34,2 34,2 34,5 34,2 33,2 32,0 29,6 27,8 26,4 25,9 24,8 24,1 23,8

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10	23,2	24,2	25,8	27,5	30,2	33,9	34,1															36,2	35,8	34,5	31,5	29,3	27,6	26,4	25,6
13/01/10								40,1	42,9	46,3	43,1	38	38,3	38,3	40,9	47,3	44,2	37,7	37,4	45,5	47,8	41,7	40,4	38,1	33,9	30,2	28,3	27,1	26,2
14/01/10	20,6	21,9	23	24,8	27,6	33,5	36,5	44,4	49,1	48	52,4	51,3	57,9	55	57,8	59,1	60,9	48,6	37,3	36,7	33,8	32,6	31,4	30,8	29,5	27,9	26,8	25,8	25,1
15/01/10	20,1	21,2	24,2	25,5	30	33,5	35,4	40,7	50	53,1	49,4	55,1	54,6	60,9	64	63,4	61,9	60,7	58,5	55,7	52	47,3	44,5	38,9	32,9	29,8	27,7	25,9	25
16/01/10	17,9	20,2	21,1	22,9	25,3	28,9	34,1	36,1	42,2	40,2	42	43,8	44	34,5	35,5	46,5	43,3	28,9	26,9	25	25,2	25,4	26,1	25,1	24,6	24,2	24,5	24,7	24,4
17/01/10	20,4	21,8	23,4	26,8	31	31,7	35,8	42,9	43,5	48	43,7	45,5	52	41,1	36,8	43	42,7	44,9	44,8	39,6	40,9	40,5	34,2	30,8	29	26,9	25,6	24,5	23,6
18/01/10	18,8	20,7	22,3	24,9	28,7	33,8	37,7	40,2	36,6	44,1	47	47,9	47,1	44,8	41,5	36,4	36,1	39,3	36,4	37,8	39,7	39,6	36,7	34,4	30,4	28	25,5	24,3	23,1

TP 2 - MEDIDAS DA TEMPERATURA DA ÁGUA NO MEIO DA GRADE ABSORVEDORA.

MÉDIA 20,2 21,7 23,3 25,4 28,8 32,6 35,6 40,7 44,1 46,6 46,3 46,9 49,0 45,8 46,1 49,3 48,2 43,4 40,2 40,1 39,9 37,6 35,6 33,2 30,3 28,0 26,6 25,5 24,7

HORÁRIOS																														
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45	20:15
12/01/10																						33,7	35,5	31,9	30,1	28,5	26,9	26,1	25,3	24,6
13/01/10	23,9	24,8	26	29,1	32,3	35,3	34,7	44,4	41,4	49	36,7	39	36,6	39,2	42,1	43,2	40,3	35,7	40	44,6	44,6	38,5	36,9	34,5	31,2	28,4	27,2	26,8	26,2	25,2
14/01/10	20,7	21,9	23,9	25	30	36,6	40,4	49,6	55,3	52,9	54,6	51,8	60,8	54,1	59	56,9	58,4	36,8	35,8	35,8	32,3	32,4	31	30	28,7	27,3	26,8	25,6	24,6	24,2
15/01/10	20,5	21,7	26,1	27,2	32,9	32,9	33,8	38,2	52,7	54,3	43,2	56,9	52,8	59,5	60,8	57,2	56,5	55,6	52,5	49,3	46,1	40,9	39,4	33,6	30,5	28,2	26,5	25,6	24,7	23,6
16/01/10	18,3	21,9	21,4	24,2	16,5	31,5	34,2	35,8	43,1	37,6	42,2	43,1	38,5	32,9	38,1	47,5	37	28,3	24,9	26	24,2	25,2	26,9	24,5	24,4	25,7	22,9	24,4	21,4	22,6
17/01/10	19,7	20,9	23,9	26,9	31,6	30,9	36,9	43,6	42,9	49,2	39,4	44,5	49	48,8	42,1	49,2	47,8	48,3	47,8	39,4	43,1	38,3	30,8	28,7	27,3	26,1	24,8	24,1	23,3	22,5
18/01/10	19,5	21,4	22,3	24,1	27,2	34,2	38,4	38,7	36,1	45,5	46,5	45,5	45,1	41,6	26,2	33,9	35,5	38,8	33,8	38,1	37,6	36,4	34,4	31,2	28,2	25,9	24,3	23,1	22,1	21,6

Capítulo 7 – Anexos

TP 3 - MEDIDAS DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE SUPERIOR DA TELHA (PLACA ABSORVEDORA).

MÉDIA 20,4 22,1 23,9 26,1 28,4 33,6 36,4 41,7 45,3 48,1 43,8 46,8 47,1 46,0 44,7 48,0 45,9 40,6 39,1 38,9 38,0 35,1 33,6 30,6 28,6 27,2 25,6 25,1 23,9 23,5

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10																						31,7	32,1	31,2	30,3				
13/01/10	24,8	25,2	25,8	26,7	28,1	29,7	29,8	32,9	32,8	35,5	32,6	32,7	32,3	32,9	33,7	34,9	33,9	31	32,3	35	36,1	34,5	34,1	32,5	30,5	30,5	29,4	28,5	28,1
14/01/10	22,9	23,3	24,7	25,8	27,6	30,3	30,1	34,3	37,2	37,3	38,5	37,8	40,2	38	39,2	38,7	39,2	33	32,1	32,5	31,6	31,4	30,5	30,4	29,3	28,6	28,1	27,8	27,4
15/01/10	22,5	23,2	24,9	25,9	28,1	28,9	29,8	31,8	36	37,3	34	38,9	37,1	38,8	39,2	38	38,3	39,1	38,3	38,4	37,5	36	35,6	33	30,9	29,9	29	28,1	27,6
16/01/10	21,1	22,4	23,5	25,2	27,1	29,2	30,3	30,4	33	31,6	32,8	33,1	32,2	28,9	30,4	34,2	31,3	27,5	26,7	25,7	26	26,1	26,2	25,7	25,8	25,4	25,2	25,3	25
17/01/10	22,3	22,8	23,4	25,1	26,5	27	28,4	31,2	31,7	34,6	31,4	32,4	34,7	34,3	32,8	34,2	34,4	35	35,3	33,1	34,1	33	29,4	28,5	27,8	27,2	26,7	26,2	25,5
18/01/10	20,8	22,1	23,3	24,3	26	28,3	30,3	30,9	28,8	32,8	33,2	32,9	32,6	31,3	29,7	28,7	29	30,1	28,7	30	30,9	30,5	29,8	28,7	27,6	26,6	25,7	25,1	24,6

TP 4 - MEDIDAS DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE INFERIOR DA TELHA (PLACA ABSORVEDORA), APOS ISOLAMENTO TERMICO.

MÉDIA 22,4 23,2 24,3 25,5 27,2 28,9 29,8 31,9 33,3 34,9 33,8 34,6 34,9 34,0 34,2 34,8 34,4 32,6 32,2 32,5 32,7 31,9 31,1 30,0 28,9 28,2 27,5 27,0 26,5

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10	28,8	27,9	27,7	28,4	28,9	30,9	32,6	34,3	37,5	40,7	41,2	40,7	40,1	43,9	44,6	43,8	43	42,3	41,5	41	40,3	40,7	40,1	39,7	38,9	38,4	38,3	37,6	36,3
13/01/10	29,5	29,1	28,7	28,9	29	31,1	32,2	34,2	37,5	39	39,6	39,3	38,9	37,7	37,5	40,6	40,5	39,9	39,2	40,6	41,9	41,6	41,4	40,9	40	39,1	38,2	37,5	36,3
14/01/10	29,2	28,2	28,3	27,9	28,6	30,2	31,8	37,6	41,2	41,9	43	42,9	44,9	45,5	45,6	46,7	47,2	46,7	45,4	44,4	43,3	42,7	42,3	41,4	41,1	40,1	39,8	38,7	37,9
15/01/10	29,2	29,1	28,3	27,9	28,7	29,2	29,7	29,8	30,8	31,6	33,1	33,2	34,3	34,8	36	36,9	37,1	38	38,4	38,9	38,8	39,1	38,9	38,5	37,8	37,2	36,7	35,7	35,6
16/01/10	28,3	27,8	27,6	27,4	27,7	27,8	29,5	29,6	30,6	30,9	30,9	31,8	32,7	31,3	31	32,6	32,7	31,5	30,7	30,4	29,7	29,5	28,9	28,9	29,2	27,9	28,1	27,9	27,7
17/01/10	24,4	24,3	24,5	25,1	25,6	26,4	26,6	27,3	28,9	29,5	30,1	30,7	28,9	40,1	39,5	39,5	40,2	41,2	42,2	41,2	40,7	40,7	40,4	39,5	39	38,6	37,8	37,1	36,8
18/01/10	27,9	27,3	27,2	27,3	27,2	27,3	27,9	28,8	28,9	29,3	30,2	30,8	31	31,3	32	31,9	32	31,1	31,6	31,5	32,2	32,3	32,7	32,2	31,9	31	31,1	31,2	30,4

TP 5 - MEDIDAS DA TEMPERATURA DA ÁGUA QUE SAI PARA BANHO, CAPTADA DA PARTE SUPERIOR DO RESERVATÓRIO TÉRMICO.

MÉDIA 28,2 27,7 27,5 27,6 28,0 29,0 30,0 31,7 33,6 34,7 35,4 35,6 35,8 37,8 38,0 38,9 39,0 38,7 38,4 38,3 38,1 38,1 37,8 37,3 36,8 36,0 35,7 35,1 34,4

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10	25,9	27,4	27,2	28,4	28	28	28,3	28,6	28,9	29,7	30,2	31,2	31,5	32,5	33,2	34,3	35	35,2	35,1	35,3	35,6	35,5	34,8	34,9	35,1	34,6	34,5	33,8	33,4
13/01/10	27,5	28,1	28,3	28,5	28,5	28,8	28,8	29	29,4	29,9	30,5	30,8	31,3	31,5	32,3	33	33,4	33,7	33,9	34,4	35,7	36,4	36,7	36,6	36,2	35,3	35,4	34,2	33,9
14/01/10	27,3	28,2	27,4	27,9	28,1	28,3	28	28,6	29,3	29,5	30,7	31,5	32,5	33,7	35,2	37,2	39,6	40,6	40,2	39,7	39	37,9	37,5	37,6	36,8	35,9	35,5	34,4	33,6
15/01/10	26,8	28,1	27,8	27,9	28,2	27,8	28,2	27,9	28,9	28,8	29,2	29,8	30,5	31,4	31,7	32,2	32,8	33,2	33,6	34,1	34,5	35,3	35,6	35,7	35,4	35,7	34,8	34,3	34,7
16/01/10	27,3	27,4	27,2	26,9	26,2	26,4	27,1	27,2	27,2	28	28	28,5	29,4	29	29,1	29,8	30,3	30,1	29,8	29,9	29,2	28,5	28,9	28,4	28,7	27,9	27,6	27	26,8
17/01/10	23,9	23,8	24,5	24,6	24,2	24,4	25,1	24,9	25,1	25,7	26,7	27,4	29,4	29,1	29,5	29,9	30,7	31,2	32,3	33,1	33,6	34	33,7	33,8	33,3	32,9	33,1	31,4	31,1

Capítulo 6 – Referências Bibliográficas

18/01/10	26	25,4	26,2	26,4	26,7	26,8	26,4	26,9	27,4	27,8	27,3	28,4	29	29,4	29,1	28,6	30,1	30,1	29,2	30,1	30,3	30,4	30,3	30,3	30	30,5	29,7	29,3	29,9
----------	----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----	------	------	------	------

TP 6 - MEDIDAS DA TEMPERATURA DA ÁGUA NO FUNDO DO RESERVATÓRIO TÉRMICO.

MÉDIA	26,4	26,9	26,9	27,2	27,1	27,2	27,4	27,6	28,0	28,5	28,9	29,7	30,5	30,9	31,4	32,1	33,1	33,4	33,4	33,8	34,0	34,0	33,9	33,9	33,6	33,3	32,9	32,1	31,9
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Capítulo 7 – Anexos

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10	25,4	25,4	26,2	28,6	31,5	32	36,1	34,9	41,9	42,7	42,9	39,1	39	47	46,3	42,3	40,2	37,1	35,9	37,3	35	35,2	35,2	35,3	33,6	33,1	32,5	30,5	31,1
13/01/10	26	27,1	26,7	27,3	31,2	33,7	33,3	38,2	37,6	41,5	38,3	36,8	36,4	37	39,3	41,8	39,9	36,9	33,9	43,9	43,7	38,7	37,6	36,1	33,8	32,9	32,1	30,9	31,1
14/01/10	25,9	26,3	25,8	27,7	27,9	33,2	34,3	41	42,6	43,4	44,6	45,7	47,3	46,9	48	49	50	44,9	35,9	36,4	36,3	36,6	35,2	35,2	34,5	33,6	33,2	31,2	31,4
15/01/10	24,9	25,7	25,8	26,3	28,9	31,8	33,6	37,6	45,2	47,4	44	49,4	48,7	53,8	55	53,6	52	51,9	49,5	47,7	44,8	41,8	39,7	35,1	31,5	29	28,1	27,2	26,6
16/01/10	20	21,9	23,1	25,2	27,8	29,9	33,6	34,6	39,8	38,2	39,2	41,1	41	32	32,6	42,9	40	27,7	25,1	25,3	24,1	24,8	25,2	24,6	25	23,7	24,8	25,2	24,6
17/01/10	22,1	22,1	23,7	26,2	29,7	31,3	32	39,3	40,4	46,3	40,1	41,7	47,5	43,4	39	42,4	42,3	44,4	45	40,6	41,5	37,8	32,8	32,9	32,4	32	30,8	28,2	26,5
18/01/10	19,3	21,1	22,8	24,3	27,5	31,3	35,2	37	34,2	39,9	42,6	44,2	42,5	41	37,8	34	33,7	35,1	34,2	33,2	36,8	36,4	34,4	32,5	28,9	26,6	25,3	25	23,6

TP 7 - MEDIDAS DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA SAÍDA DA GRADE ABSORVEDORA.

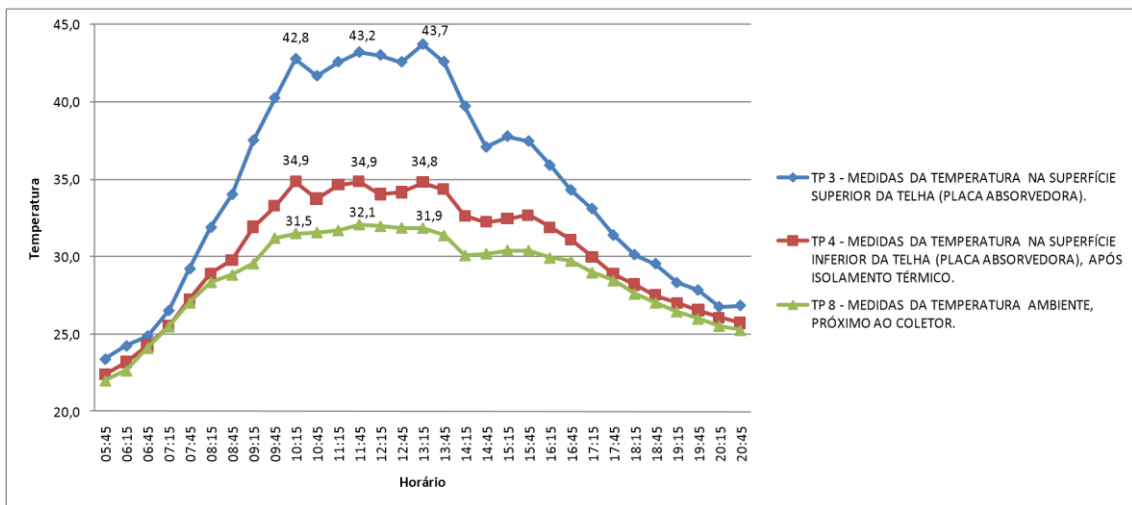
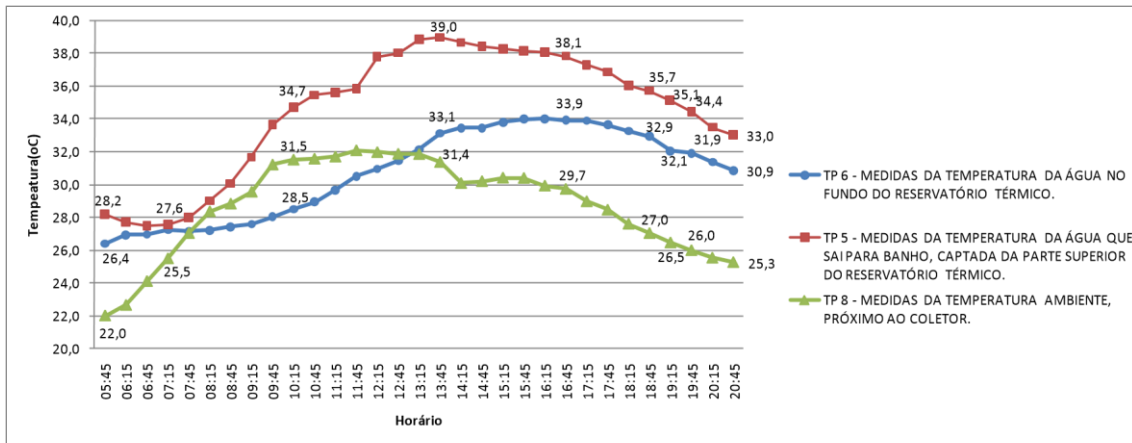
MÉDIA 23,4 24,2 24,9 26,5 29,2 31,9 34,0 37,5 40,2 42,8 41,7 42,6 43,2 43,0 42,6 43,7 42,6 39,7 37,1 37,8 37,5 35,9 34,3 33,1 31,4 30,1 29,5 28,3 27,8

HORÁRIOS																													
DATA	05:45	06:15	06:45	07:15	07:45	08:15	08:45	09:15	09:45	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	16:15	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45	19:15	19:45
12/01/10	22,5	22,5	24,2	26,7	27,2	28,2	29	29,7	33,8	33,7	33,8	32	32,4	34,7	34,5	32,3	32,1	31,4	31,6	32,5	31,7	31,4	31,4	30,6	29,8	28,8	28,2	27,6	27,2
13/01/10	24,6	25,2	25,7	26,3	28,3	28,5	29	30,1	30	32,9	31,2	30,6	30,7	31,8	32,2	31,9	31,8	29,3	30,1	32	32,3	31,1	31,4	30,9	30,5	29	27,8	27,6	27,2
14/01/10	22,5	22,9	24,4	25,8	27,4	29,9	29,1	32	33,1	34,9	34,2	34,3	35,5	34,6	34,7	34,8	34,3	30,6	31,6	32,1	31	30,9	30,4	29,5	28,7	28,3	28,4	26,9	26,6
15/01/10	22,5	22,8	24,8	25,3	27,5	27,5	28,4	29	33,3	30,8	31,2	32,8	34	34,4	33,2	34,2	33	33,5	33,4	32,5	33,4	32,3	32,1	31,3	30,6	29,5	28,6	27,6	26,6
16/01/10	20	21,4	23,1	25,2	27,4	30,4	29,7	28,8	30,3	29,2	30,2	30,6	29,1	27,2	29,3	30	28,1	25,3	25,1	24,8	25,1	25,3	26,2	24,6	25	24,2	24,8	25,2	24,6
17/01/10	21,6	22,6	23,7	24,3	26,3	27	28,1	29,3	30	30,1	30,1	31,7	34,2	33	31,4	32,9	33,3	32,5	32,1	30,6	31,6	30,7	28,9	28,6	28,1	27,7	27	26,7	25,6
18/01/10	20,3	21,1	22,8	24,8	25,1	27	28,5	28	28	29	30,3	29,9	28,7	28,1	27,8	26,9	27	28	27,5	28,4	27,7	27,8	27,7	27,3	26,5	25,7	24,4	23,6	24,1

TP 8 - MEDIDAS DA TEMPERATURA AMBIENTE, PRÓXIMO AO COLETOR.

MÉDIA 22,0 22,6 24,1 25,5 27,0 28,4 28,8 29,6 31,2 31,5 31,6 31,7 32,1 32,0 31,9 31,9 31,4 30,1 30,2 30,4 30,4 29,9 29,7 29,0 28,5 27,6 27,0 26,5 26,0

Capítulo 7 – Anexos



Capítulo 7 – Anexos

