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

PROJETO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE COLETORES SOLARES ALTERNATIVOS UTILIZANDO GARRAFAS PET

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

como parte dos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Natanaeyfle Randemberg Gomes dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Natal, Março/2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

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

PROJETO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE COLETORES SOLARES ALTERNATIVOS UTILIZANDO GARRAFAS PET .

Natanaeyfle Randemberg Gomes dos Santos

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÃNICA

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. Caubi Ferreira de Souza Júnior – CEFET - RN

“Nunca deixe que lhe digam
Que não vale a pena
Acreditar no sonho que se tem
Ou que seus planos nunca vão dar certo
Ou que você nunca vai ser alguém...”

O Trecho de Mais Uma Vez. [Renato Russo]

“Que você possa ser generoso sempre, lembrando hoje, daqueles que passam pela miséria. Procure mudar e melhorar o mundo todos os dias sem esperar pelo próximo. Crie um mundo de paz, onde todos se dêem as mãos, na qualidade de irmãos. Faça tudo de bom que você puder para todas as pessoas que você encontrar, quando você puder.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao seu filho Jesus Cristo pela força, coragem e vida, por ser fonte inesgotável de luz que ilumina e guia todos os meus passos.

A todos os Anjos e Santos que na luta do dia-a-dia, me acompanham e dão-me força, amparo e proteção.

Um agradecimento especial ao meu orientador Professor Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza, pela oportunidade e ensinamentos transmitidos através de suas experiências de vida e seus conhecimentos na área, por acreditar no meu esforço e trabalho e me mostrando alternativas, sendo paciente com minhas preocupações e mudanças de percurso. Chefe e amigo que soube orientar e direcionar os meus estudos para que pudesse escrever da melhor forma possível este trabalho. Deus lhe concedeu a dádiva de perceber em seu coração todas as virtudes da vida e a cada dia de trabalho Quem o conhece e o respeita pela sua maravilhosa caminhada sabe que as suas lições práticas da vida são umas lições de vida para todos nós. Você foi um presente de Deus, Que ele o recompense. Obrigado pela atenção e interesse de sua parte, para que eu conseguisse o mestrado tão desejado.

Ao Programa de Pós-Graduacão em Engenharia Mecânica – PPGEM/UFRN, pela realização deste Curso de Mestrado.

Ao Professor Dr. Rubens Maribondo do Nascimento, Coordenador do PPGEM/UFRN, pela oportunidade da realização deste Curso de Mestrado.

À secretária do PPGEM/UFRN Marisa Mendonça pelo apoio e amizade dedicados no decorrer do Mestrado.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN, por proporcionarem conhecimentos para o aprimoramento dos alunos.

O Presente Trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - Brasil.

Tenho enorme gratidão ao funcionário do laboratório, Aldo Paulino, em especial pelo profissionalismo na fabricação dos coletores, carinho e atenção, que, através de seus

questionamentos, me levaram a estudar mais, pesquisar mais, e aprimorar meus conhecimentos ao longo de todo o mestrado.

Ao técnico da oficina mecânica João Frazão pela colaboração quando necessitei.

Ao Laboratório de Maquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN, que possibilitou a realização de todos os experimentos deste trabalho; onde se tinha um acontecimento raro em nosso tempo como a união, respeito, tolerância e profunda estima que todos tínhamos uns pelos outros, buscando sempre crescermos.

Aos colegas de Pós-Graduação e graduação da UFRN, que costumo chamar de “família UFRN”, em especial ao mestrando Reginaldo Dias, por estar mais presentes e ajudar e acompanhar todos os dias das medições.

.

Quero agradecer a todos os meus familiares pelo apoio e incentivo, especialmente com grande amor e respeito, aos meus pais Fernando Gomes e Maria Alzira por terem trabalhado com honestidade e dedicação para criar a mim e meus irmãos, que não mediram esforços para me possibilitar uma boa formação. Agradeço principalmente os seus exemplos de fé, perseverança e de dedicação que me transmitiram. Serei eternamente grato a vocês.

Um muitíssimo obrigado a meu irmão Nadson Gutemberg, por ter criado e cultivado todas as condições para que eu chegasse até aqui. E por tantas outras coisas que jamais poderei agradecer suficientemente.

Quero agradecer à minha amada noiva Márcia Ozéas pela compreensão, companhia e apoio neste tempo que dediquei ao mestrado.

O meu cunhado neto que faz parte da minha vida e que sempre vou lembrar com carinho, pois tornaram os dias mais divertidos.

Aos professores José Ubiragi de Lima Mendes e Caubi Ferreira de Souza Júnior por todos os comentários durante a avaliação, os quais aumentaram bastante a qualidade deste trabalho.

A todos que participaram, de maneira direta ou indireta, na elaboração deste trabalho. Muito obrigado!

RESUMO

Apresenta-se um sistema de aquecimento de água solar através do uso da energia solar, trabalhando em regime de termossifão, constituído por um ou dois coletores, coletores alternativos e um reservatório armazenador de água também alternativo, cuja principal finalidade é socializar o uso da energia principalmente para ser utilizada por populações de baixa renda. Os coletores foram construídos a partir da utilização de garrafas pet, latas de cervejas e refrigerantes e tubos de PVC de ½"e os reservatórios térmicos a partir de um tambor de polietileno utilizado para armazenamento de água e lixo colocado no interior de cilindro em fibra de vidro, tendo isopor triturado entre as duas superfícies. Tais coletores são formados por apenas três elementos: garrafa pet, latas e tubos absorvedores. As unidades de aquecimento que formam o coletor contém em seu interior as latas que podem estar fechadas, vazadas ou em forma de aletas. Os coletores possuem uma grade absorvedora formada por oito tubos absorvedores de PVC, ligados através de conexões em T do mesmo material e diâmetro. Serão apresentados dados de rendimento e perda térmicos que demonstram a eficiência do sistema de aquecimento proposto Abordar-se-á também aspectos relativos a susceptibilidade de degradação dos tubos de PVC quando expostos a radiação solar. Mostrar-se-á que tal sistema de aquecimento alternativo, que tem como principal característica seu baixo custo, apresenta viabilidades térmica, econômica e de materiais.

Palavras chaves: *sistema solar alternativo, aquecimento solar de água, coletores solares, reservatório térmico alternativo, baixo custo, tubos de PVC.*

ABSTRACT

A solar alternative system for water heating is presented. It work on a thermosiphon, consisting of one or two alternative collectors and a water storage tank also alternative, whose main purpose is to socialize the use of energy mainly to be used by people of low income. The collectors were built from the use of pets bottles, cans of beer and soft drinks and tubes of PVC, ½ " and the thermal reservoirs from a drum of polyethylene used for storage of water and garbage placed inside cylinder of fiber glass and EPS ground between the two surfaces. Such collectors are formed by three elements: pet bottles, cans and tubes absorbers. The heating units, which form the collector contains inside the cans that can be closed, in original form or in the form of plate. The collectors have an absorber grid formed by eight absorbers PVC tube, connected through connections at T of the same material and diameter. It will be presented data of the thermal parameters which demonstrate the efficiency of the heating system proposed. Relative aspects will be boarded also the susceptibility the thermal degradation and for UV for the PVC tubes. It will be demonstrated that this alternative heating system, which has as its main feature low cost, presents thermal, economic and materials viabilities.

Keywords: *alternative solar system, water solar heating, solar collectors, low cost, PVC tubes, alternative thermal reservoir*.

.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO 16

1.2 OBJETIVOS 19

1.2.1 OBJETIVO GERAL 19

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 20

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA SOLAR 21

2.2. A IMPORTÂNCIA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA SOLAR 21

2.3. OS COLETORES ALTERNATIVOS 27

2.3.1 OS COLETORES ALTERNATIVOS NO MUNDO 27

2.3.2 DESENVOLVIMENTO DE COLETORES SOLARES ALTERNATIVOS NO LES/UFRN E NO BRASIL 29

2.4 OS RESERVATÓRIOS TÉRMICOS 33

2.4.1 CONVENCIONAIS 33

2.4.2 ALTERNATIVOS 34

2.5 A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO 35

2.6 O CLORETO DE POLIVINILA (PVC) 36

2.7. O MATERIAIS PET (POLIETILENO TEREFTALATO) E SUAS CARACTERÍSTICAS 37

2.7.1 REAÇÃO DE OBTENÇÃO DO PET 38

2.7.2 A QUESTÃO AMBIENTAL 38

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO, MONTAGEM E DE ENSAIO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO PROPOSTO 41

3.2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO 62

a. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS 62

a1.COEFICIENTE GLOBAL DE PERDAS 62

a.1.1 MÉTODO DA TEMPERATURA MÉDIA DE PLACA 62

a.1.2 MÉTODO DA PERDA TÉRMICA 63

a.1.3 MÉTODO DAS TROCAS TÉRMICAS 63
a.1.3.1 PERDAS PELA COBERTURA 63
a.2 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO TÉRMICO 69

RESULTADOS E DISCUSSÕES
4.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO I – COLETOR ALETADO + RTA1 70
4.2. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO II – COLETOR SEMI-ABERTO + RTA1 71
4.3. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO III – COLETOR COM LATAS FECHADAS + RTA1 71
4.4. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO IV – COLETOR ALETADO + COLETOR VAZADO + RTA2 72
4.5. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO V COLETOR COM LATAS VAZADAS + COLETOR ALETADO + RTA2 72
4.6. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO VI COLETOR ALETADO DUPLO + RTA2 73
4.7. SISTEMA DE AQUECIMENTO ALTERNATIVO – CONFIGURAÇÃO VII COLETOR ALETADO DUPLO + RTA1 73
4.8 RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO (RTA2) 81

CONCLUSÕES E SUGESTÕES 84

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87

ANEXO 90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos básicos de um coletor solar para aquecimento de água 24
Figura 2. Grade absorvedora de um coletor solar 25
Figura 3. Sistema de aquecimento solar de água 25
Figura 4. Sistema de aquecimento proposto por Costa (2007) 30
Figura 5. Sistema ASBC retirado de Varella (2004) 31
Figura 6. Coletores ASBC e Coletor PET em teste (costa, 2007) 31
Figura 7. Boilers convencionais disponíveis no mercado, fonte: www.astrosol.com.br 34
Figura 8. Reação de degradação do PVC 36
Figura 9. Reação para obtenção do PET 36
Figura 10. Corte das garrafas PET 41
Figura 11. Lavagem da garrafa PET 42
Figura 12. Lata de cerveja ou refrigerante transformada em chapa 42
Figura 13. Fabricação das aletas 42
Figura 14. Encaixe das aletas no tubo absorvedor 43
Figura 15. Encaixe das garrafas constituindo uma unidade de aquecimento 43
Figura 16. Encaixe dos tês nos tubos absorvedores para a formação da grade 44
Figura 17. Coletor PET aletado 44
Figura 18. Formato da lata cortada para a fabricação do coletor vazado 45
Figura 19. Coletor com latas semi-abertas 46
Figura 20. Coletor com latas fechadas 48
Figura 21. Luvas de PET utilizada no coletor aletado duplo 49
Figura 22. Coletor aletado duplo 50
Figura 23. Reservatório térmico alternativo 1 52
Figura 24. Reservatório térmico alternativo 2 53
Figura 25. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor aletado 56
Figura 26. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor com latas semi-abertas 57
Figura 27. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor com latas fechadas 58
Figura 28. Sistema de aquecimento em ensaio com coletores em série: aletado + latas semi abertas 59
Figura 29. Sistema de aquecimento em ensaio com coletores em série: latas semi-abertas + aletado 60
Figura 30. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor aletado duplo 61

Figura 31. Processos térmicos no coletor solar em estudo 64/65
Figura 32. Comportamento dos valores de gradiente de temperatura no coletor para todas as configurações ensaiadas 75
Figura 33. Comportamento dos valores de rendimento térmico no coletor para todas as configurações ensaiadas. 76
Figura 34. Comportamento dos valores de temperatura da água no reservatório térmico para todas as configurações ensaiadas 76
Figura 35. Comportamento da temperatura da água em vários pontos do reservatório térmico 77
Figura 36. Parâmetros de perda térmica do coletor em estudo 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos coletores e do ensaio 31
Tabela 2. Resultados do ensaio térmico realizado com os dois coletores 33
Tabela 3. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração I 70
Tabela 4. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração II 71
Tabela 5. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração III 71
Tabela 6. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração IV 72
Tabela 7. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração V 72
Tabela 8. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração VI 73
Tabela 9. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração VII 73
Tabela 10. valores médios obtidos para os três dias de ensaio para cada configuração estudada. 74
Tabela 11. Níveis de temperatura em vários pontos do reservatório térmico para vários dias de ensaio 77
Tabela 12. Dados da simulação dos banhos - **VAZADO + ALETADO + RTA2** 78
Tabela 13. Dados da simulação dos banhos - **ALETADO DUPLO + RTA1** 78
Tabela 14. Custo dos materiais utilizados para a construção do coletor aletado duplo 81
Tabela 15. Resultados do teste realizado com o reservatório térmico alternativo proposto 82
Tabela 16. Custo dos materiais utilizados para a construção de cada reservatório térmico alternativo 82
Tabela 17. Dados do primeiro dia de teste – Configuração I 90
Tabela 18. Dados do segundo dia de teste - Configuração I 90
Tabela 19. Dados do terceiro dia de teste - Configuração I 91
Tabela 20. Dados do primeiro dia de teste – Configuração II 91
Tabela 21. Dados do segundo dia de teste – Configuração II 92
Tabela 22. Dados do terceiro dia de teste – Configuração II 92
Tabela 23. Dados do primeiro dia de teste – Configuração III 93
Tabela 24. Dados do segundo dia de teste – Configuração III 93
Tabela 25. Dados do terceiro dia de teste – Configuração III 94
Tabela 26. Dados do primeiro dia de teste – Configuração IV 94
Tabela 27. Dados do segundo dia de teste – Configuração IV 95
Tabela 28. Dados do terceiro dia de teste – Configuração IV 95
Tabela 29. Dados do primeiro dia de teste – Configuração V 96

Tabela 30. Dados do segundo dia de teste – Configuração V 96
Tabela 31. Dados do terceiro dia de teste – Configuração V 97
Tabela 32. Dados do primeiro dia de teste – Configuração VI 97
Tabela 33. Dados do segundo dia de teste – Configuração VI 98
Tabela 34. Dados do terceiro dia de teste – Configuração VI. 98
Tabela 35. Dados do primeiro dia de teste – Configuração VII 99
Tabela 36. Dados do segundo dia de teste – Configuração VII 99
Tabela 37. Dados do terceiro dia de teste – Configuração VII. 100

NOMENCLATURA

β = coeficiente de dilatação térmica (1/ K)

σ = constante de Stefan-Boltzman (W/m^2. K)

ν = viscosidade cinemática (m^2/s)

δ = espessura da camada de fluido(m)

ΔT = gradiente de temperatura entre entrada e saída do fluido (^oC).

η_t = rendimento térmico do coletor e/ou sistema(%)

τ_v = transmissividade do vidro

ε_v = emissividade da garrafa de pet

$\dot{m}$ = vazão mássica (kg/s)

A = área do coletor (área exposta à radiação solar) em m^2.

c_p = calor específico da água em KJ/kg · K.

e= espessura(m)

e_{peti} = espessura da garrafa de pet (mm)

g = constante da aceleração da gravidade (m/s^2)

$h_{c(t\ -\ pet\ i)}$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet (W/m^2.K)

$h_{c(pet\ e\ -\ a)}$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre a superfície externa da garrafa de pet e ao ar ambiente (W/m^2. K)

$h_{r(t\ -\ pet\ i)}$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet (W/m^2. K)

$h_{r(pet\ e\ -\ a)}$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente. (W/m^2. K)

I = radiação solar globa (KW/m^2)

K = Condutividade Elétrica (W/m^2. K)

k_{ar} = condutibilidade térmica do ar (W/m. K)

k_{peti} = condutibilidade térmica da garrafa de pet (W/m.K)

N_u = número de Nusselt

$P_{abs.}$ = potência absorvida pelo coletor(W)

P_p = potência perdida pelo coletor(W)

P_u = potência transferida ao fluido de trabalho(W)

R_a = Número de Rayleigh

$R_{c(t - pet\ int)}$ = Resistência convectiva entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet (m^2.K/ W)

$R_{c(pet\ e - a)}$ = Resistência convectiva entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente (m^2.K/ W)

$R_{r(t-pet\ int)}$ = resistência radiativa entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet (m^2. K/ W)

$R_{r(pet\ e - amb)}$ = resistência radiativa entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente (m^2. K/ W)

$R_{k(pet\ i - pet\ e)}$ = Resistência condutiva entre as superfícies interna e externa da garrafa de pet (m^2. K/ W)

T_a = temperatura ambiente (K)

$T_{pet\ i}$ = temperatura média da superfície interna da garrafa de pet (K)

$T_{pet\ e}$ = temperatura externa da garrafa de pet (K)

U_{cima} = coeficiente global de perda térmica pela cobertura (W/m^2. K)

U_{baixo} = coeficiente global de térmica pelo fundo do coletor (W/m^2. K)

U_{loss} = coeficiente global de perda térmica (W/$m^{2.}$ K)

Introdução

1.1. Apresentação do trabalho

Com a ênfase dada à questão ambiental, o aquecimento global transformou-se em prioridade para os países desenvolvidos. Nestes, a substituição de combustíveis convencionais, principalmente do petróleo e seus derivados, por fontes renováveis de energia atinge caráter de imprescindibilidade. Nesse contexto a energia solar tem merecido um destaque especial, juntamente com a energia eólica (**TRENDS IN RENEWABLE ENERGIES, 2006; YAKOV, 2000).**

O aquecimento de água através de sistemas solares e a geração de eletricidade através do uso de células fotovoltáicas, conversoras da energia solar em eletricidade, são as aplicações mais viáveis de utilização, tanto residencial quanto industrial.

O nordeste brasileiro apresenta um potencial solar bastante significativo, correspondente a uma disponibilidade média que se situa na faixa de 500 a 700 W/m^2, conforme Atlas de Irradiação Solar do Brasil **(BEZERRA, 2001).**

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2003, 42 % do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações, sendo 84,1 % correspondente a empresas e residências e 15,9 % 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 de acordo com manual de uma companhia de energia do Brasil 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 o horário de pico das 18:00 às 19:00 horas, correspondendo a 8,5 % da demanda nacional de energia neste horário **(VARELLA, 2004).**

Estes dados apontam a importância da substituição da fonte térmica elétrica pela fonte solar para a obtenção de água quente principalmente em tempo de utilização prioritária racional de energia.

Os dispositivos solares utilizados para a produção de água quente são os coletores que podem ser divididos em dois grupos os convencionais e os alternativos, sendo os planos mais utilizados. Tais coletores geralmente são constituídos por tubos absorvedores de cobre, chapa absorvedora de cobre ou alumínio, cobertura de vidro e isolamento térmico de lã de vidro e a grade absorvedora 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; por um armazenador térmico geralmente de cobre ou inox e de tubos para a condução de calor, geralmente o 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$ 3.000,00.

Buscando-se formas para baratear o custo dos sistemas de aquecimento, vem-se estudando a mais de 20 anos no LES/UFRN sistemas alternativos de baixo custo, utilizando materiais 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.

Baseados nos coletores LTC – Low Thermal Colector (**DICKINSON, 1880**), Phillips (**COMETA, 1978)** e coletores alternativos mostrados por Cabirol, 1978, foram desenvolvidos, construídos e estudados várias gerações de coletores alternativos de diferentes materiais e geometrias, de custo mais baixo que os coletores e sistemas de aquecimento de mercado **(SOUZA, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007; BEZERRA. 1999, LOURENÇO, 1997; JÚNIOR, 1995, RIVERA, 1994).**

Dentre os coletores estudados destaca-se o coletor multitubos formando uma serpentina em série, o coletor em labirinto, o coletor de placas paralelas, o coletor formado por unidades de aquecimento constituídas por um bulbo de vidro (carcaças de lâmpadas fluorescentes) tendo em seu interior tubos absorvedores (**RIVERA, 1994, LOURENÇO, 1997**), o coletor plano convencional com tubos absorvedores de PVC.

Este trabalho apresenta o estudo de coletores de baixo custo que utiliza a garrafa pet reciclada como elemento gerador de efeito estufa, no interior da qual está um tubo absorvedor revestido por uma aleta também feita de material reciclado, qual seja, latas de cerveja e refrigerantes. Desenvolve-se toda uma tecnologia para a fabricação e montagem desse tipo de coletor. Serão determinados parâmetros térmicos que espelham a eficiência térmica de um sistema de aquecimento solar de água.

Esse tipo de coletor já é apresentado pela literatura, porém apresenta-se algumas modificações e novidades tecnológicas que produzem o aumento de sua eficiência. Dentre essas modificações destaca-se uma nova forma de união entre duas garrafas e a utilização de latas de cerveja e refrigerante inteiras, cortadas e em forma de aleta, em substituição as embalagens tetra-pak.

Apresentar-se-á os processos de construção e montagem de quatro coletores alternativos e resultados de testes realizados para o aquecimento de água para fins residenciais para 150 e 200 litros/dia.

Mostrar-se-á, também, os processos de fabricação e montagem de dois reservatórios térmicos construídos a partir de tambores de polietileno utilizados para armazenamento de lixo ou água de custo equivalente R$ 40, 00, e resultados de testes realizados com os mesmos para o diagnóstico de suas perdas térmicas. Esses tipos de reservatórios representam uma outra inovação do trabalho, pois apresenta um armazenador térmico alternativo eficiente e custo em torno de 30% em relação aos reservatórios convencionais de mercado.

Quando se opta pelo uso do plástico como elemento absorvedor e condutor tem-se que investigar os efeitos das degradações térmicas e por ultravioleta, inerentes à exposição de tubos plásticos aos efeitos da radiação solar, uma vez que essas degradações podem trazer danos aos tubos absorvedores. **Souza, 2002**, demonstrou que essas degradações causam danos apenas microestruturais aos tubos, não comprometendo a sua macroestrutura. Essa constatação não inviabiliza, portanto, o uso de tubos de PVC como elementos absorvedores e condutores de radiação solar.

A exposição do PVC à radiação solar e ao calor causa degradação, produzida pela perda de massa ou quebra de ligações, com surgimento de duplas ligações na cadeia principal, quando do processo de perda (separação) do HCl da mesma. Essas degradações fragilizam o material e também podem ser críticas para a processabilidade do PVC, quando dos processos de fabricação empregados para a obtenção de cada tipo **(MANO,2000).**

No caso do tubo de PVC, essa degradação é mais crítica para níveis de temperatura acima de 250ºC, embora a degradação térmica se inicie para temperaturas acima de 60ºC, alcançando limite crítico para temperaturas acima de 75ºC, onde começa o seu processo de deflexão **(YAO, 2001).**

Embora vários aditivos possam ser empregados no combate a estas degradações, resolveu-se evitá-las através de soluções mais simples e inovadoras, capazes de viabilizar o presente estudo no campo dos materiais, a partir da utilização de tubos disponíveis no mercado. Portanto, não se utilizou qualquer tipo de aditivo, o que representa um outro fator inovador do trabalho.

Espera-se que o maior volume de água contido no coletor, em função de um número maior de tubos absorvedores de diâmetro superior aos tubos convencionalmente

usados, amenize os efeitos da degradação térmica, não sendo atingida a temperatura crítica para início da degradação térmica, em torno de 60°C. O efeito degradativo por UV pode ser minimizado através do uso de uma película protetora, que é a própria tinta a ser utilizada para aumentar o poder de absorção dos tubos, quando submetidos à energia eletromagnética do sol.

O sistema de aquecimento em estudo é destinado à obtenção de água quente destinada ao banho de uma família com quatro pessoas em substituição ao chuveiro elétrico.

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

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 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 os coletores construídos, seus princípios de funcionamento e processos de fabricação e montagem, e suas diferenças em relação aos coletores convencionalmente utilizados. Apresenta, também, dois reservatórios térmicos alternativos de baixo custo para a substituição dos reservatórios usuais, de cobre ou aço inoxidável, de custo elevado. Apresenta também a metodologia experimental empregada.

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

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

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Comprovar as viabilidades térmica, econômica e de materiais de coletores alternativos que utilizam garrafas PET como elementos geradores de efeito estufa e tubos de PVC como elementos absorvedores de radiação e condutores de calor.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Fazer um levantamento bibliográfico pertinente ao estado-da-arte de coletores alternativos;
2. Construir quatro modelos de coletores alternativos utilizando garrafas PET e latas de cerveja e refrigerantes;
3. Ensaiar os vários tipos de coletores construídos;
4. Comparar os resultados entre os vários tipos de coletores construídos;
5. Fazer um levantamento comparativo de custo de construção dos coletores em estudo;
6. Demonstrar a viabilidade de materiais do coletor proposto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Olhando para o futuro, perceber-se-á que 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.

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.**

2.1. A importância da energia solar

As massas continentais, excluídas as regiões Ártica e Antártica, possuem uma área de cerca de **132,5 x 10^{12}m^2**. Portanto, a incidência solar sobre essas massas continentais é **4,77 x 10^8GWh/dia**. Logo, a incidência em um ano é de **1,74 X 10^{11}GWh (SOUZA, 2002)**.

Considerando-se que o consumo energético anual atual corresponde a **1,5 x 10^8GWh**, conclui-se que a energia solar disponível nas massas continentais representa mais de **1.000** vezes o consumo de energia da humanidade. Isso equivale a dizer que menos de **1%** da energia solar disponível nas massas continentais seria suficiente para suprir de energia à humanidade (**SOUZA, 2002**).

Uma vez que a luz solar está disponível em todas as regiões da Terra e pode ser usada de forma descentralizada, a opção solar para a geração de eletricidade dispensa o caro transporte da energia através de redes de distribuição, inerentes ao sistema convencional.

Os equipamentos solares têm um grande potencial em países tropicais, entre os quais se encontra o Brasil, com disponibilidade equivalente **a 1,13 X 10^{10}GWh**, por possuírem significativos potenciais solares e receberem energia solar em quase todo o ano, como acontece no nordeste brasileiro (**SOUZA, 2002**).

2.2. A importância do aquecimento de água solar

O aquecimento de água para fins pessoais utilizando energia elétrica é um dos grandes problemas atuais de energia que o Brasil está enfrentando, ou seja, o chuveiro elétrico é considerado o vilão no consumo de energia elétrica. Só para se ter uma idéia, 67,6% dos domicílios possui chuveiro elétrico, totalizando 18 milhões de unidades. O Brasil é um dos poucos países que ainda utilizam o chuveiro elétrico para o

aquecimento de água. Nos países do primeiro mundo, o uso da energia solar está completamente difundido, totalizando mais de 80% das residências, tanto para aquecimento quanto para geração de energia elétrica (**VARELA, 2004**).

O papel do governo é fundamental para divulgar o uso da energia solar como também a conscientização da população quanto às vantagens dessa energia abundante que é o sol. Com relação ao custo de uma instalação de aquecimento solar, houve uma queda considerável nos últimos anos. Atualmente, possuir esse tipo de aquecimento não é privilégio apenas das classes altas, também a classe média já é favorecida, o que torna o aquecimento solar uma tendência a crescer praticamente em todas as camadas sociais.
Admitindo como corretos os valores levantados pelo PROCEL, indicando um tempo médio de banho de oito minutos para uma família de quatro integrantes e uma potência média anual de 4,0 KW por chuveiro, o aquecedor solar deverá gerar diariamente 2,2 kWh de energia térmica (**www.sociedadedosol.org.br).**

Esta energia, quando usada para aquecer água de 23ºC a 40ºC aquecerá um volume de 110 litros de água, que é o volume fornecido pelo próprio chuveiro. Se o banho for de 36º o volume de água fornecido pelo chuveiro será de 150 litros. Com as devidas considerações, principalmente referente ao aumento de consumo de água, assumimos que um reservatório de 170 litros com água a 40ºC deverá ser o suficiente para a família média nacional **(www.ipef.br).**
Pela média de minutos de banho do usuário brasileiro, cada família despende, só com o aquecimento da água de banho, aproximadamente R$ 14,00 por mês, ou R$ 168,00 por ano, valor significativo para o usuário de menor posse (**www.projekte.org).**

Uma vez instalado o aquecedor solar, pode se admitir que 25% do total da energia consumida no aquecimento da água, seja originado pelo aquecimento elétrico auxiliar, para cobrir as necessidades de energia nos dias nublados ou de chuva, quando o aquecedor solar não opera corretamente. Resta para efeito de economia em eletricidade, R$ 10,50 ao mês (**www.projekte.org**).

O aquecedor solar, pela característica da irradiação solar, não pode ser concebido como aquecedor de passagem, ou seja, tem que estar acoplado a um reservatório térmico capaz de manter a água aquecida por todo o dia. A energia luminosa do sol só age como elemento aquecedor num período curto de 5 a 7 horas por dia, não sendo possível evitar a acumulação da água quente, que deve ser gerada neste curto período.

A água, porém deve ficar disponível ao usuário durante o período de 24 horas e isto pode ser caracterizado como sinônimo da presença do **reservatório térmico e com volume em torno de 200 litros**, bem isolado, minimizando perdas térmicas.

O aquecedor deve obrigatoriamente incluir um **conjunto de coletores solares** com capacidade de aquecer os 200 litros de água por dia até uma temperatura em torno de 40°C. Faz parte do ASBC (aquecimento solar a baixo custo) um **conjunto de dutos**, para circular água entre coletores e reservatório, além do duto que levará a água quente ao local onde fica o chuveiro elétrico. Participa também do aquecedor um **sistema de aquecimento auxiliar**, (usualmente elétrico) para suprir a família de água quente nos dias em que não ocorrer bons índices de radiação solar.

O aquecedor poderá vir a necessitar dos seguintes componentes, dependendo de disposições físicas encontradas na casa:

Ausência de encanamento para água quente e fria: Isto leva à necessidade de **uma válvula misturadora** que ficará junto à união aonde se realiza a mistura das águas, fria proveniente da caixa de água e quente proveniente do reservatório térmico.

Reservatório colocado em nível abaixo do nível dos coletores, impedindo assim a circulação natural (também chamada de termo sifão) entre coletor e reservatório, levando a necessidade de uma circulação forçada obtida através do uso de uma **bomba e um circuito de acionamento**, para que somente água quente do coletor chegue ao reservatório. Isto também obriga a que seja instalada uma **válvula de retenção**, para que à noite, a água quente não forme um circuito termo sifão inverso, entre reservatório e coletores, que passam a operar como refrigerador da água, irradiando o calor da água para o espaço exterior, devolvendo água menos quente ao reservatório.

Existe a possibilidade dos **coletores estarem à mesma altura do reservatório**, permitindo uma circulação natural, mesmo que menos eficiente, mas que evita a instalação da bomba de água. Esta possibilidade leva à necessidade do uso de uma **válvula de retenção que opere em ambiente de circulação natural**, que à noite sela o retorno da água do reservatório em direção aos coletores, abrindo porem, na presença das micro pressões típicas de uma circulação natural.

O funcionamento de um aquecedor solar é muito simples. O efeito estufa gerado pela transformação da energia absorvida pela grade absorvedora é o responsável pelo aquecimento da água. A água fria no fundo do reservatório entra no coletor, aquece-se, diminui sua densidade e flui em direção a saída do coletor, voltando para o reservatório

térmico. Esse processo de circulação natural só é cessado quando a água do reservatório estiver na mesma temperatura da água no interior do coletor ou quando a radiação solar incidente for insuficiente para promover o gradiente térmico necessário à sua circulação. Para melhor compreender esse princípio imagine uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada, tendo dentro dela uma chapa plana ou ondulada pintada de preto fosco, apoiada no fundo da caixa, tendo esta como cobertura uma lâmina de vidro plano transparente, conforme mostra a Figura 1.

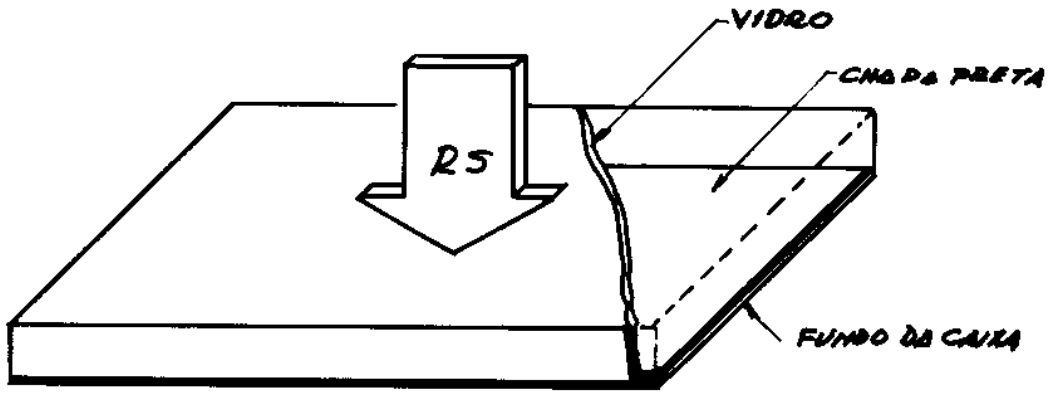


Figura 1. Elementos básicos de um coletor solar para aquecimento de água (**www.mourabezerra.sites.uol.com.br**).

Coloque-se agora esta caixa sob a ação da luz solar visível e da respectiva radiação infravermelho as quais podem atuar juntas ou separadamente, dependendo das condições atmosféricas locais. O que ocorrerá então? A radiação solar atravessará o vidro de cobertura e ao encontrar a chapa preta sofre uma alteração no seu comprimento de onda (um aumento), o que a torna impotente para atravessar, **de volta**, pois o vidro é opaco a radiação infravermelha. A partir daí tem-se origem uma reemissão desta radiação no sentido vidro/chapa/vidro.

Como a caixa se encontra fechada ocorre um fenômeno conhecido por **efeito estufa**, portanto responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa pintada de preto fosco enquanto durar a ação da radiação solar. Você poderá perguntar, por que a chapa deverá ser pintada de preto fosco e não de outra cor qualquer? Ora, nada impede que a pintura da chapa tenha outra cor qualquer dentro da escala cromática, porém sabe-se que a cor preta é a que absorve toda a radiação nela incidente nos mais diferente comprimento de onda do espectro solar.

Imagine agora que sob esta chapa e em contato direto com ela, tenha-se colocado uma grade de tubos paralelos ligados nas extremidades por dois tubos de maior diâmetro, contendo água em seu interior conforme a Figura 2.

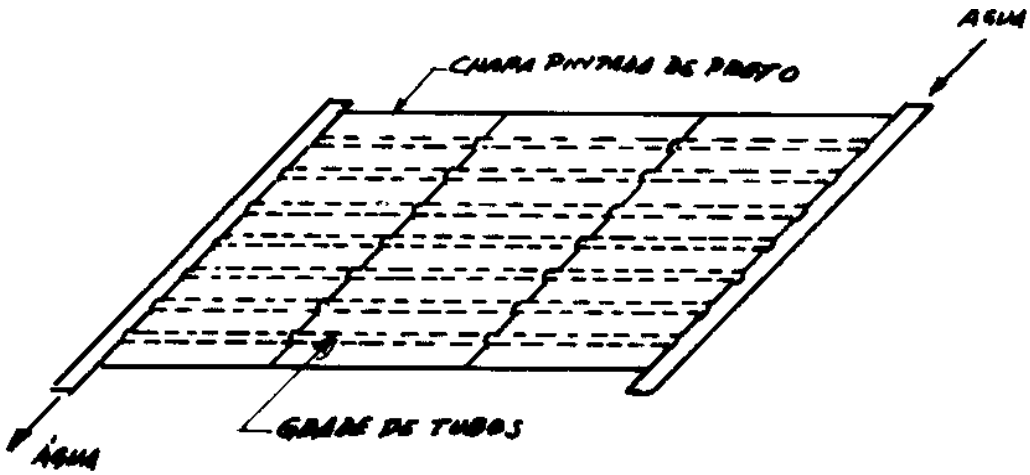


Figura 2. Grade absorvedora de um coletor solar (**www.mourabezerra.uol.com.br**).

O que ocorrerá então? Como a chapa preta está sendo aquecida pela radiação solar e estando a grade de tubos em contato direto com a respectiva chapa, verifica-se uma transferência de calor para a grade de tubos e desta para a água que se encontra em seu interior causando um aumento de temperatura da água.

Numa aplicação residencial a necessidade de água quente é bem maior do que o volume de água existente no interior da grade de tubos já referida! Então como fazer para aquecer diariamente, por exemplo, 200 litros de água que é basicamente a necessidade de água quente de uma residência de quatro pessoas? Para que isto possa ser possível liga-se, por meio de tubos, o coletor solar a um tanque termicamente, isolado o qual contém os 200 litros de água a ser aquecido, conforme mostra a Figura 3.

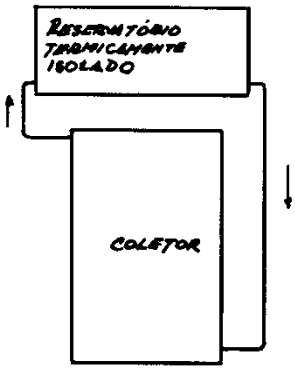


Figura 3. Sistema de aquecimento solar de água (**www.mourabezerra.uol.com.br**).

Você poderá agora indagar: Se é na chapa preta do coletor solar que ocorre a conversão da **energia solar** em **energia térmica**, como pode a água contida no reservatório termicamente isolado ser aquecida?

Para responder a esta pergunta imagine-se o que ocorre dentro de uma chaleira quando a colocamos, com água, na chama do fogão para obter a água quente para fazer o nosso café da manhã!

Ao aquecer-se água em uma chaleira as moléculas da água em contato direto com o fundo da chaleira vão paulatinamente sendo aquecidas tornando-se mais leves e por conseqüência tendem a subir na massa líquida ao tempo em que as moléculas de água das camadas superiores (mais pesadas), vão tomando o lugar das moléculas mais aquecidas dando origem ao que se chama de **movimento convectivo**. Este movimento é interrompido quando toda a massa líquida atinge temperatura de ebulição, ou seja, 100°C, (na pressão atmosférica). O calor transferido à água até que ela chegue aos 100°C é o que se chama de **calor sensível**.

Volte-se agora ao caso do aquecedor solar! Assim como ocorre no interior da chaleira o calor coletado pela chapa preta devido à ação da radiação solar, e transferido à grade de tubos a qual por sua vez o transfere para a água existente no interior da citada grade tornando-a mais leve, (menos densa), dando início a **convecção natural**, exatamente como ocorre com a chaleira, ajudada ainda pela pressão da coluna de água existente no reservatório térmico, já que este está em posição superior em relação ao coletor solar.

Este movimento convectivo ou **convecção natural** é também conhecido como **termo-sifão** e ele só serão interrompido quando toda a massa de água entrar em equilíbrio térmico. No caso da **convecção natural** o deslocamento das moléculas de água se faz com menor intensidade, portanto com baixa velocidade de deslocamento das respectivas moléculas.

Admita-se agora que toda a água existente no sistema solar de aquecimento (coletor e reservatório termicamente isolado), esteja a uma mesma temperatura, portanto em equilíbrio térmico. Se nesta situação um certo volume de água quente é retirado para consumo, imediatamente igual volume de água, à temperatura ambiente, entra no reservatório termicamente isolado, já que este está diretamente ligado à caixa de água da residência. Nesta situação o equilíbrio térmico é desfeito restabelecendo o movimento convectivo.

Logo um sistema solar de aquecimento de água é composto basicamente de um **coletor solar** onde se verifica a conversão desta energia em energia térmica, um **reservatório termicamente isolado** e respectiva **tubulação** de alimentação do sistema e distribuição de água quente.

2.3. Os coletores alternativos

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.

Estes coletores foram objetos de estudo de quatro Dissertações de Mestrado, apresentadas ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN. 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.

2.3.1. 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) 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.

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, mostrou os resultados alcançados com um coletor alternativo com grade absorvedora formada por múltiplos tubos de alumínio. Ambos demonstraram as viabilidades térmicas e econômicas de tais

coletores, 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 etc.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), com, respectivamente, 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 respectivamente 6,0 e 10% maior que o STC e PTC.

Shah, em 1999 apresentou estudo sobre a modelagem térmica em coletores domésticos para aquecimento de água à baixa vazão.

Cristofari, etc.al., propuseram em 2002, estudar um novo material para a caixa do coletor, que se caracteriza por ter baixa condutividade térmica, ser mais resistente à corrosão, ter baixo peso e menor custo; por ter uma geometria retangular de passagem de fluxo para aumentar sua rigidez; e por utilizar 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.

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. Demonstraram-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do coletor solar 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 d gesso, EPS triturado e água. Demonstraram-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do sistema em estudo.

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. Demonstraram-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do sistema em estudo.

O uso de coletores com tubos para absorção de polipropileno e placas de absorção de polietileno de alta densidade é bastante enfocado pela literatura. Esses coletores são usados para aquecimento e climatização de piscinas **(GIL, 2001, CENSOLAR, 1999)**.

2.3.2. Desenvolvimento de coletores solares alternativos no LES/UFRN

Buscando formas de obtenção de um sistema de aquecimento a baixo custo, vem-se estudando a mais de 20 anos no âmbito do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte sistemas alternativos para tornar viável o uso da energia solar para o fim considerado e torná-lo acessível a uma maior parcela da população. Foram desenvolvidos, construídos e estudados vários tipos de coletores alternativos de diferentes materiais e geometrias, com custo inferior aos coletores e sistemas de aquecimento disponíveis no mercado.

Dentre os coletores estudados estão os coletores: de tubos paralelos formando uma serpentina; em labirinto, de placas paralelas tipo sanduíche, formado por unidades de aquecimento constituídas por bulbos de vidro (carcaças de lâmpadas fluorescentes tendo no seu interior tubos para absorção de PVC); e alternativos planos com tubos de PVC, com diferentes formas de ligação entre os tubos da grade absorvedora. A experiência adquirida com esses coletores serviu de base para a realização do presente trabalho.

A Figura 4 mostra um sistema de aquecimento estudado por **Souza,** em 2006, constituído por um coletor solar alternativo com grade absorvedora constituída por tubos absorvedores de PVC, ligados em paralelo através de tês do mesmo material e mesmo diâmetro e um reservatório térmico alternativo. Foi demonstrado que tal sistema

é viável para aplicações residenciais tendo como principal característica seu baixo custo. Estudaram-se também as influências dos processos de degradação térmicas e por UV inerentes a exposição dos tubos de PVC à radiação solar.

Figura 4. Sistema de aquecimento proposto por Souza e Costa (2007).

Um outro sistema de aquecimento alternativo a baixo custo com o objetivo de socializar o aquecimento solar de água foi desenvolvido e construído no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas – CIETEC/SP em 1999, e recebeu o nome de Coletor Solar de Baixo Custo- ASBC. O ASBC tem coletores similares aos usados em piscinas, não possuindo, portanto, cobertura transparente **(VARELLA, 2004).**

Esse sistema para uma família de quatro pessoas é composto por 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 de um perfil de forro de PVC modular (do tipo forro de escritório, postos de gasolina) com tubos de PVC acoplados às suas extremidades. Funciona em regime de termossifão. A Figura 5 mostra o sistema de aquecimento ASBC.

Figura 5. Sistema ASBC retirado de Varella (2004).

Um outro coletor alternativo foi desenvolvido e construído pela Sociedade do Sol, uma ONG paulista, utilizando garrafas PETS e embalagens de leite, TETRA PAK. A Figura 6 mostra dois coletores em teste, o ASBC e o de garrafas PETS.

Figura 6. Coletores ASBC e Coletor PET em teste (**COSTA,** 2007).

A seguir detalha-se na Tabela 1 os resultados dos testes realizados com esses dois coletores que se enquadram perfeitamente dentro do propósito do presente trabalho, qual seja, a construção de um coletor solar de baixo custo que contribua para a

socialização do uso de coletores solares, para a obtenção de água quente destinada ao banho, entendendo a tecnologia como um bem da humanidade e não apenas de poucos privilegiados.

Tabela 1. Características dos coletores e do ensaio.

1 -	Área de cada um dos coletores:	0.8 m²
2 -	Direção dos coletores:	Norte Geográfico
	Inclinação dos coletores:	30 graus
3 -	Dutos PVC marrom dos dois sistemas:	25 mm
4 -	Volume interno dos coletores:	Coletor de Garrafa PET 3 litros Coletor do ASBC 8 litros
5 -	Volume de água de cada uma das caixas:	70 litros
6 -	Caixas Usadas:	Polietileno 200 litros, tipo bombonas, azuis.
7 -	Isolamento térmico:	Nenhum
8 -	Duração da experiência:	Um dia
9 -	Temperatura Ambiente máxima no dia:	31º C
10 -	Termômetro:	-10 a +110º C, de álcool da Incoterm
	10.1 - Forma de Medição:	Manual, logo após a vigorosa mistura da água de cada uma das duas bombonas.
	10.2 - Temperatura final esperada:	Temperatura máxima do dia mais 20º C.
11 -	Ventos:	Médios
12 -	Irradiação Solar:	Boa, mas com nuvens ocasionais.

As medidas e respectivas curvas demonstram no decorrer do dia um diferencial de temperatura crescente entre sistemas, chegando a 4º C, entre 13:30 a 14:30 horas. Porém no final do dia útil, este diferencial se reduz a 2,5º C, muito provavelmente devido ao efeito estufa oferecido pelas garrafas PET.

Comparando os ganhos térmicos entre sistemas no final do dia, o do ASBC é 17,2% maior. É um valor considerável, mas que não reflete a realidade diante da falta do obrigatório isolamento nos dutos de retorno e nas próprias caixas - bambonas usadas nestas medidas.

Admitindo a existência do isolamento e temperatura final de 50º C, o ganho a favor do coletor ASBC cai para 10,2% permitindo afirmar que os dois sistemas são praticamente equivalentes. A Tabela 2 mostra os valores de temperatura medidos durante o teste feito com os dois coletores alternativos.

Tabela 2. Resultados do ensaio térmico realizado com os dois coletores.

Horários	Temperaturas em °C		
	ASBC	PET	Ambiente
10:30	23	23	26
11:00	25	23,5	26,5
11:30	29	26,5	28
12:00	31,5	28	29
12:30	33	30	29
13:00	35,5	32	30
13:30	37	33	30
14:00	38	34	31
14:30	39,5	35,5	31
15:00	40,5	37,5	31
15:30	40	37	31
16:00	40	37,5	30
16:30	40	37,5	30

2.4. Os reservatórios térmicos

2.4.1. Convencionais

Os reservatórios térmicos convencionalmente utilizados em sistemas solares de aquecimento, chamados boiler, são geralmente fabricados em aço inoxidável, cobre ou aço carbono, para volumes de até 15 mil litros. Podem ser horizontais ou verticais, sendo constituídos por duas superfícies cilíndricas, uma interna e outra externa, tendo entre as mesmas, um isolamento térmico, geralmente a lã de vidro. A Figura 7 mostra reservatórios térmicos convencionais, com detalhes construtivos.

Podem ser de **Baixa pressão** e Alta Pressão. Os de baixa pressão são mais econômicos e são indicados para instalações nos projetos em que a caixa de água fria esteja logo acima do boiler, sendo que o seu nível de água deverá estar no máximo com 2 m para os modelos em cobre e 5,0 m para os modelos em inox.

Os modelos de baixa pressão não podem ser pressurizados ou alimentados com água da rede pública. Os de **Alta pressão** são recomendados para sistemas pressurizados e instalações onde a caixa de água fria está muito elevada, no máximo 40 m.

BOILER VERTICAL DE NÍVEL

Os Boilers Vertical de Nível são indicados para instalações em que a caixa de água fria venha a trabalhar ao lado do boiler solar.

Modelo AVN

Tambor interno em cobre ou aço inoxidável					Bitolas Hidrául.		
CAPACID.	DIÂM.	ALT	VOLTS	WATTS	ENTR	SAIDA	SOLAR
AVN 200	800	610	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 300	870	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 400	970	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 500	1080	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 600	1080	910	220	3000	3/4"	1"	3/4"

BOILER HORIZONTAL

Modelo BH

São fabricados boilers em aço inoxidável, 304, 306, cobre e aço carbono com pintura anticorrosiva em epoxi, a partir de 50 até 15.000 litros.

Medidas em mm										
Litros	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	2000
Comprim	1000	1200	1200	1600	1900	2300	2700	3000	3600	3800
Altura	500	500	700	700	700	700	700	700	700	900
Watts	3000w/220volts/monofásico								6000w/220	
Bitola Hid	1"Polegada								1.1/2"	

Pressão máxima de trabalho

Baixa pressão: Cobre (2mca); Inox (5mca)/ Alta pressão: 40mca

Figura 7. Boilers convencionais disponíveis no mercado, fonte: www.**astrosol.com.br**.

2.4.2. Alternativos

Os reservatórios térmicos alternativos estão muito pouco presentes na literatura, sendo geralmente confeccionados em plástico rígido ou em fibra de vidro. Por ser o elemento constituinte de um sistema de aquecimento solar de água de maior custo (alcançando valores em torno de R$ 1.000,00 para um volume de 200 litros, que é o mais utilizado nas instalações residenciais de pequeno porte) são imprescindíveis as pesquisas que utilizem materiais alternativos para a diminuição do seu custo.

Tais materiais, porém têm que dotar o tambor térmico de baixa condutividade térmica, característica de um bom isolante térmico, imprescindível para a diminuição da perda térmica na água aquecida, principalmente para uso durante a noite e início da manhã, períodos críticos pela ausência ou baixo nível de radiação solar global.

Souza (2006) construiu e testou um outro reservatório alternativo que consistia de um tambor de polietileno utilizado para armazenamento de água ou lixo de 200 litros revestido por um cilindro fabricado em fibra de vidro, tendo no espaço entre o tambor e

o cilindro externo, EPS triturado. O fundo do reservatório foi fabricado em material compósito e a tampa em fibra de vidro. A eficiência térmica do tambor alternativo era menor que os reservatórios convencionais.

Para o nível mais critico que acontece durante a noite, a perda foi de 7,5°C, 50% maior que a obtida com os reservatórios convencionais, porém não inviabiliza o uso desse tipo de reservatório térmico proposto, uma vez que apesar desse aumento significativo, a perda foi baixa, exigindo apenas uma temperatura na água pelos coletores um pouco acima para a obtenção de um nível maior no interior do reservatório térmico. Ressalta-se, ainda, o preço do reservatório alternativo proposto, muito menor que os reservatórios convencionais.

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.

2.5. A importância da análise e quantificação da degradação

Os resultados térmicos, obtidos com coletores que utilizam o plástico como elemento absorvedor de radiação solar, demonstram a viabilidade desses coletores. Porém para que este tipo de coletor possa ser competitivo em termos de mercado, é necessário um estudo acerca das degradações relativas ao tempo de vida útil deste referido protótipo.

Como já foi ressaltado o combate às degradações pode ser feito através da adição de estabilizadores e outros aditivos durante o processo de manufatura dos tubos. Entretanto o presente estudo optou pela utilização de tubos disponíveis comercialmente, com o percentual de cloro convencional, cerca de 57%, criando condições para torná-lo bom absorvedor térmico, sem conduzi-lo ao nível de degradação térmico e podendo também eliminar a degradação por UV através da utilização de uma grade absorvedora protegida da radiação.

Sullivan, em 1999 e **Ragab**, em 2001, demonstraram que as degradações térmicas e por UV fragilizam o material, porém a quantificação desses níveis de desgaste, associados às faixas de temperatura inerentes à condição de trabalho, não está acessível. Procurou-se demonstrar as mudanças nas propriedades ocasionadas pela submissão das amostras a níveis de temperatura e radiação solar global, por vários períodos de tempo.

Essa fragilização poderia ser traduzida pela perda de massa ou através da perda de cloreto de hidrogênio e o conseqüente surgimento de ligações duplas. A reação de degradação do PVC pode ser descrita pela seqüência mostrada na Figura 8.

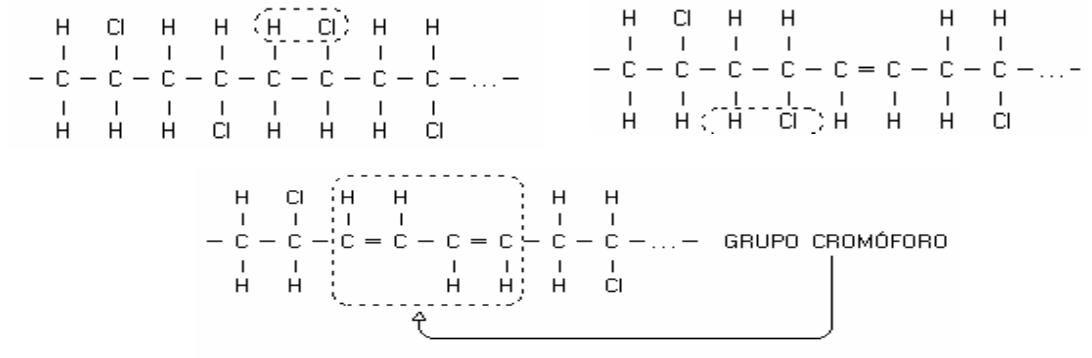


Figura 8. Reação de degradação do PVC.

2.6. O cloreto de polivinila (PVC)

A seguir, far-se-á uma breve abordagem sobre o Cloreto de Polivinila, enfatizando suas principais características, as propriedades que são utilizadas para a sua caracterização e a forma como é obtido.

O CLORETO DE POLIVINILA (PVC) é o mais usado componente da família vinila. Seu valor comercial resulta de várias características que podem ser traduzidas em duas palavras-chave: versatilidade e durabilidade.

Sua versatilidade se traduz pela utilização de seus produtos nas mais diversas finalidades, desde a condução de água fria e esgotos, até a impermeabilização de barragens. É importante destacar que na maioria dos casos, a utilização de componentes de PVC implica na diminuição do custo do sistema instalado e em todos os casos, a utilização desses componentes permite que o sistema tenha um bom desempenho ao longo de toda a sua vida útil, com manutenção de mais baixo custo.

Sua durabilidade está associada ao fato de que os componentes utilizados na construção civil têm vida útil superior a 20 anos e, em alguns casos a 50 anos. É importante notar que o PVC, por ser um plástico, não sofre corrosão. Além disso, os compostos de PVC utilizados na fabricação de componentes de construção civil trazem incorporados produtos, tais como antioxidantes, estabilizantes ao ultravioleta, que permitem a manutenção de suas propriedades ao longo de toda a vida útil.

O PVC apresenta as seguintes características básicas:

1. É quimicamente inerte;
2. É resistente as intempéries (sol, maresia, chuva e vento);
3. É impermeável a gases e líquidos;
4. É bom isolador térmico e elétrico e acústico. Sua condutividade térmica fica na faixa entre 0,15 e 0,21 W/m.K;
5. Mantém as propriedades por longos períodos de tempo;
6. É leve o que facilita seu manuseio;
7. É resistente a ação de fungos, bactérias, insetos e roedores;
8. É durável: sua vida útil em construções é superior a 50 anos;
9. Não propaga chamas: é auto-extinguível, reciclável e reciclado e fabricado com baixo consumo de energia.

O PVC apresenta uma ampla versatilidade de processamento podendo ser obtido em uma ampla variedade de equipamentos, com cada forma podendo ser alterada mais adiante por componentes para alcançar propriedades particulares no produto final que varia das espécies mole para rígida.

2.7. 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.

2.7.1. Reação de obtenção do PET

A reação para a obtenção do polietileno tereftalato encontra-se mostrada na Figura 9.

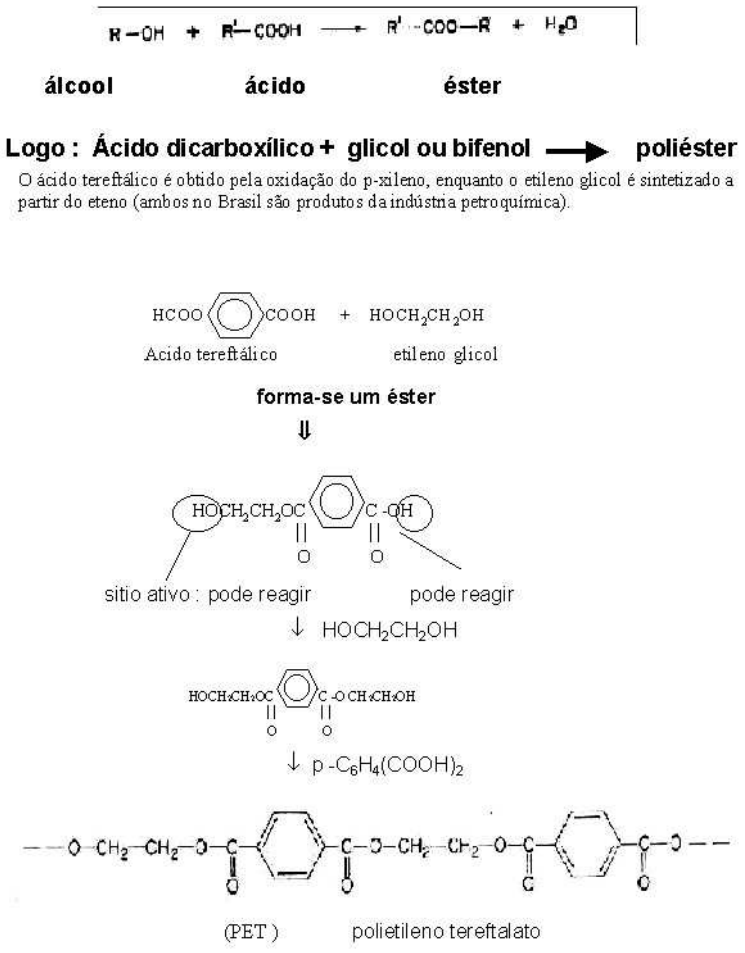


Figura 9. Reação para obtenção do PET.

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

2.7.2. A questão ambiental

O crescimento da população e o estimulo ao consumo de produtos industrializados descartáveis têm aumentado a quantidade e a diversidade dos resíduos urbanos. A simples disposição dos resíduos industriais, comerciais e domésticos urbanos em aterros

sanitários fez com que eles estejam em vias de saturação. A utilização desses resíduos como matéria-prima tem sido adotada como solução para o problema, mas como é uma atividade recente, ainda não é aceita como melhor alternativa.

Atualmente o mercado no Brasil, consegue reciclar cerca de 50% da produção do PET, o que significa que há potencial para grande melhoria nesse aspecto (**CEMPRE, 2005).**

Segundo **Leite** (2003), quanto maior o nível sócio-econômico e conseqüente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas que também resulta em grande problema com a quantidade de resíduos gerados.

Leite (2003) ainda cita que um dos piores problemas originados no descarte de materiais plásticos no Brasil é o espaço que ocupam nos aterros sanitários. Embora representem algo em torno de 10% do peso total do lixo, ocupam até 20% de seu volume, contribuindo também para o aumento dos custos de coleta, transporte e descarte final dos resíduos urbanos.

Com poucas iniciativas públicas em coleta seletiva de lixo, o país tem no crescente número de catadores e sucateiros, o principal veículo de coleta de diversos materiais recicláveis, entre eles o PET. Já a coleta pública, tem evoluído vagarosamente. Apenas 2,25% dos municípios brasileiros possuem este serviço.

O maior problema da reciclagem de PET é a oferta de material; apesar do crescimento dos últimos anos, ela ainda é tímida e está aquém das necessidades. A falta de fornecimento contínuo e homogêneo de matéria-prima é o reflexo da quase inexistência de uma política de coleta seletiva pelos municípios. Soma-se a isto a falta de consciência da população sobre a necessidade de reciclar o lixo.

A maior parte do PET oferecido para reciclagem provém de catadores, que fazem um trabalho de varredura pelas ruas e lixões e de algumas organizações não governamentais que se estruturaram. Estes separam as garrafas por cor, retirando o rótulo e a tampa e enfardando para vendê-los a recicladores. Porém, a grande maioria dos catadores nunca foi treinada e seus conhecimentos sobre o assunto são adquiridos na prática. Somando-se em a isso a ausência do código de identificação em grande número de peças, aumenta significativamente a dificuldade para a separação.

Apesar da praticidade, as garrafas PET representam um grave problema ambiental, já que o resíduo pode levar séculos para se decompor na natureza. O efeito ainda se

multiplica se não é dada a destinação correta, para reciclagem e reaproveitamento. A criatividade pode ser uma excelente saída para resolver impasses ambientais como os causados por produtos como este. O uso dessas garrafas está se multiplicando, sobretudo no artesanato, principalmente na época de Natal. Em vários lugares do país, podem ser vistas árvores de Natal inteiramente confeccionadas com as garrafas.

A catarinense **Thaís Lohmann Provenzano,** arquiteta e urbanista, realiza um trabalho de mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina, em que as garrafas podem ser utilizadas na construção de casas em substituição aos tijolos. Os painéis são pré-fabricados e os blocos cerâmicos comumente utilizados foram substituídos pelas garrafas e preenchidos com argamassa e cimento. Elas são cortadas na base e encaixadas umas nas outras, sobre um molde, antes do preenchimento.

Segundo ela, as garrafas já estão começando a ter um valor no mercado, mas ainda representam problemas para o meio ambiente, por seu elevado tempo de decomposição. “Grande parte ainda é jogado em rios e aterros sanitários”, diz. Em sua tese, ela destaca números a revelarem que anualmente cerca de 500 milhões de garrafas se transformam em toneladas de lixo, capazes de entupir bueiros, bloquear galerias pluviais e cobrir aterros sanitários.

As embalagens de poliéster tereftálico (**PET**) merecem especial atenção porque, se jogadas aleatoriamente na rua, transformam-se em grandes problemas nos dias de chuva, causando entupimentos de bueiros durante as inundações. O PET é utilizado por oferecer características como: leveza, resistência a choques, é seguro e difícil de romper, além de possuir um custo baixo para o fabricante.

Embalagens velhas de PET podem ser transformadas em fibras têxteis, cordas, cerdas, fitas, resinas, matéria-prima para produção de camisetas, mantas, vassouras, bichos de pelúcia, enchimento de edredons, jogos americanos, filtros e couro artificial.

Materiais e métodos

3.1 Processos de Construção, Montagem e de Ensaio do Sistema de Aquecimento Alternativo Proposto.

Para a realização desse trabalho foram construídos quatro diferentes modelos de coletor alternativo tipo PET e dois reservatórios térmicos alternativos. O sistema de aquecimento solar foi ensaiado com cada modelo de coletor e com dois coletores em série.

O primeiro tipo de coletor, ***coletor aletado***, é constituído de 48 garrafas PETs envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas duas aletas (l = 20 cm, b= 6 cm) envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar global incidente. As aletas foram fabricadas utilizando-se latas de cervejas e refrigerantes, cortadas nas suas extremidades superior e inferior, e longitudinalmente.

A grade absorvedora foi pintada de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Os tubos da grade absorvedora foram colados com cola de PVC especial. O coletor apresenta área correspondente a 1,0 m². O coletor em estudo não tem caixa nem superfície de vidro como cobertura. O efeito estufa é gerado no interior das unidades de aquecimento. O diâmetro central das garrafas é de 100 mm. A seguir são descritos os processos de fabricação e montagem desse tipo de coletor.

O processo de fabricação do ***coletor aletado*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Corte das garrafas de PET para montagem das unidades de aquecimento;

Figura 10. Corte das garrafas PET.

2. Lavagem das garrafas PET;

Figura 11. Lavagem da garrafa PET.

3. Corte dos tubos de PVC com 1,62 m;

4. Corte das latas para fabricação das aletas;

Figura 12. Lata de cerveja ou refrigerante transformada em chapa.

5. Fabricação das aletas por um processo artesanal de moldagem por compressão;

Figura 13. Fabricação das aletas.

6. Pintura dos tubos absorvedores com tinta preto fosco esmalte sintético;

7. Pintura das aletas;

8. Confecção da estrutura metálica para fixação do coletor.

O processo de montagem do ***coletor aletado*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Colocação dos têes de PVC nos tubos utilizando cola;

2. Encaixe no tubo de uma garrafa PET cortada, metade de uma unidade de aquecimento;

3. Fixação das aletas no tubo absorvedor através do uso de arame;

Figura 14. Encaixe das aletas no tubo absorvedor.

4. Encaixe da outra garrafa PET cortada;

Figura 15. Encaixe das garrafas constituindo uma unidade de aquecimento.

5. Fazer os procedimentos 2,3 e 4 para as outras unidades de aquecimento;

6. Colocação dos têes de PVC na outra extremidade dos tubos absorvedores.

Figura 16. Encaixe dos tês nos tubos absorvedores para a formação da grade.

O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 17.

Figura 17. Coletor PET aletado.

O segundo tipo de coletor PET construído foi o **coletor com latas semi-abertas** que recebeu esse nome em função do perfil de corte das latas colocadas no interior das unidades de aquecimento. É constituído de 48 garrafas PETs envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas três latas semi-abertas, com furos nas extremidades para o encaixe dos tubos absorvedores, aumentando, assim, a área de absorção de radiação solar no interior das unidades de aquecimento.

A grade absorvedora foi pintada de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Os tubos da grade absorvedora foram colados com cola de PVC especial. O coletor apresenta área de 1,0 m². O coletor em estudo não tem caixa nem superfície de vidro como cobertura. O efeito estufa é gerado no interior das unidades de aquecimento. O diâmetro central das garrafas é de 100 mm. O diâmetro da lata é de 65 mm. A seguir são descritos os processos de fabricação e montagem desse tipo de coletor.

O processo de fabricação do ***coletor com latas semi-abertas*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Corte das garrafas de PET para montagem das unidades de aquecimento;
2. Lavagem das garrafas PET;
3. Corte dos tubos de PVC com 1,62 m;
4. Corte das latas;

Figura 18. Formato da lata cortada para a fabricação do coletor vazado.

5. Furo da lata para encaixe do tubo, através do uso de broca;
6. Pintura dos tubos absorvedores com tinta preto fosco esmalte sintético;
7. Pintura das latas semi-abertas;
8. Confecção da estrutura metálica para fixação do coletor.

O processo de montagem do ***coletor com latas semi-abertas*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Colocação dos têes de PVC nos tubos utilizando cola;

2. Encaixe no tubo de uma garrafa PET cortada, metade de uma unidade de aquecimento;

3. Encaixe das três latas vazadas no tubo absorvedor, através dos furos nas extremidades das latas;

4. Encaixe da outra garrafa PET cortada;

5. Fazer os procedimentos 2,3 e 4 para as outras unidades de aquecimento;

6. Colocação dos tês de PVC na outra extremidade dos tubos absorvedores;

O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 19.

Figura 19. Coletor com latas semi-abertas.

O terceiro tipo de coletor PET construído foi o **coletor com latas fechadas** que recebeu esse nome em função das latas estarem fechadas no interior das unidades de aquecimento. É constituído de 48 garrafas PET envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas latas fechadas, com furos nas extremidades para o encaixe dos tubos absorvedores, aumentando, assim, a área de absorção de radiação solar no interior das unidades de aquecimento.

A grade absorvedora foi pintada de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Os tubos da grade absorvedora foram colados com cola de PVC especial. O coletor apresenta área em torno de 1,0 m². O coletor em estudo não tem caixa nem superfície de vidro como cobertura. O efeito estufa é gerado no interior das unidades de aquecimento. O diâmetro central das garrafas é de 100 mm. O diâmetro da lata é de 65 mm. A seguir são descritos os processos de fabricação e montagem desse tipo de coletor.

O processo de fabricação do ***coletor com latas fechadas*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Corte das garrafas de PET para montagem das unidades de aquecimento;
2. Lavagem das garrafas PET;
3. Corte dos tubos de PVC com 1,62 m;
4. Furo da lata para encaixe do tubo, através do uso de broca;
5. Pintura dos tubos absorvedores com tinta preto fosco esmalte sintético;
7. Pintura das latas fechadas;
8. Confecção da estrutura metálica para fixação do coletor.

O processo de montagem do ***coletor com latas fechadas*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Colocação dos tês de PVC nos tubos utilizando cola;
2. Encaixe no tubo de uma garrafa PET cortada, metade de uma unidade de aquecimento;
3. Encaixe das três latas fechadas no tubo absorvedor, através dos furos nas extremidades das latas;

4. Encaixe da outra garrafa PET cortada;

5. Fazer os procedimentos 2,3 e 4 para as outras unidades de aquecimento;

6. Colocação dos tês de PVC na outra extremidade dos tubos absorvedores;

O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 20.

Figura 20. Coletor com latas fechadas.

O quarto tipo de coletor PET construído foi o **coletor aletado duplo** que recebeu esse nome em função da sua área ser o dobro da correspondente ao coletor aletado já descrito. É constituído de 96 garrafas PET envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 48, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas duas

aletas envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar global incidente. As aletas foram fabricadas utilizando-se latas de cervejas e refrigerantes, cortadas nas suas extremidades superior e inferior, e longitudinalmente. No espaço entre duas unidades de aquecimento foi colocada uma garrafa pet, cortada nas duas extremidades, formando uma luva, para minimizar o efeito sumidouro de calor.

Figura 21. Luva de PET utilizada no coletor aletado duplo.

A grade absorvedora foi pintada de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Os tubos da grade absorvedora foram colados com cola de PVC especial. O coletor apresenta área correspondente a 2,0 m². O coletor em estudo não tem caixa nem superfície de vidro como cobertura. O efeito estufa é gerado no interior das unidades de aquecimento. O diâmetro central das garrafas é de 100 mm. A seguir são descritos os processos de fabricação e montagem desse tipo de coletor.

O processo de fabricação do ***coletor aletado*** duplo é constituído pelas seguintes etapas:

1. Corte das garrafas de PET para montagem das unidades de aquecimento;
2. Corte das garrafas que servirão de luva;
3. Lavagem das garrafas PET;
4. Corte dos tubos de PVC com 1,62 m;
5. Corte das latas para fabricação das aletas;
6. Confecção das luvas de PET;
7. Fabricação das aletas por um processo artesanal de moldagem por compressão;
8. Pintura dos tubos absorvedores com tinta preto fosco esmalte sintético;
9. Pintura das aletas;
10. Confecção da estrutura metálica para fixação do coletor.

O processo de montagem do ***coletor aletado*** é constituído pelas seguintes etapas:

1. Colocação dos tês de PVC nos tubos utilizando cola;

2. Encaixe no tubo de uma garrafa PET cortada, metade de uma unidade de aquecimento;

3. Fixação das três aletas no tubo absorvedor através do uso de arame;

4. Encaixe da outra garrafa PET cortada;

5. Encaixe da garrafa pet em forma de luva;

6. Fazer os procedimentos 2,3 e 4 para as outras unidades de aquecimento;

7. Colocação dos tês de PVC na outra extremidade dos tubos absorvedores.

O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 22.

Figura 22. Coletor aletado duplo.

O reservatório térmico alternativo 1 **(RTA 1),** de volume correspondente a 200 litros**,** 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.

O processo de fabricação do reservatório alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Corte da tampa superior do tambor de polietileno de 200 litros, utilizado como elemento base, através do uso de formão e martelo;
2. Colocação no fundo do tambor de tubulação para saída de água para os coletores;
3. Confecção do tambor de fibra de vidro que envolve o tambor de polietileno, utilizando molde de eucatex, através do processo hand-lay-up;
4. Abertura dos furos para saída de água para consumo e entrada de água proveniente do(s) coletor(es), utilizando serra copo;
5. Confecção da tampa do reservatório utilizando molde de compensado.

O processo de montagem do tambor reservatório alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Colocação de EPS triturado no fundo do tambor de fibra;
2. Abertura do furo no tambor de fibra para a passagem da tubulação do tambor de polietileno;
3. Colocação do reservatório de polietileno no tambor de fibra;
4. Colocação do EPS triturado no espaço entre os dois cilindros;
5. Colocação das conexões para retirada de água para consumo e entrada de água no reservatório proveniente do(s) coletor(es);
6. Colocação de espuma no espaço entre os dois cilindros na parte superior dos mesmos;
7. Colocação da tampa do reservatório térmico alternativo.

O reservatório térmico 1 **(RT1**) proposto encontra-se mostrado na Figura 23.

Figura 23. Reservatório térmico alternativo 1.

O reservatório térmico alternativo 2 **(RTA 2),** de volume correspondente a 150 litros**,** foi confeccionado a partir de um elemento base, um tambor de polietileno de 200 litros, colocado no interior de um tambor confeccionado em fibra de vidro de espessura correspondente a 2mm. O reservatório foi cortado na parte superior para a diminuição de seu volume para 150 litros. O cilindro cortado foi acoplado no fundo do tambor de polietileno. No fundo do tambor de fibra e no espaço entre os dois cilindros foi colocado EPS triturado. A tampa do reservatório foi construída em fibra de vidro.

O processo de fabricação do reservatório alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Corte da parte superior do tambor de polietileno de 200 litros, utilizado como elemento base, através do uso de formão e martelo;

2. Acoplamento da parte cortada no fundo do tambor de polietileno;

2. Colocação no fundo do tambor de tubulação para saída de água para os coletores;

3. Confecção do tambor de fibra de vidro que envolve o tambor de polietileno, utilizando molde de eucatex, através do processo hand-lay-up;

4. Abertura dos furos para saída de água para consumo e entrada de água proveniente do(s) coletor(es), utilizando serra copo;

5. Confecção da tampa do reservatório utilizando molde de compensado.

O processo de montagem do tambor reservatório alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Colocação de espuma no espaço entre o fundo do tambor de polietileno e a parte que foi acoplada na sua superfície inferior;

2. Colocação de EPS triturado no fundo do tambor de fibra;

3. Abertura do furo no tambor de fibra para a passagem da tubulação do tambor de polietileno;

4.Colocação do reservatório de polietileno no tambor de fibra;

5. Colocação do EPS triturado no espaço entre os dois cilindros;

6. Colocação das conexões para retirada de água para consumo e entrada de água no reservatório proveniente do(s) coletor(es);

7. Colocação de espuma no espaço entre os dois cilindros na parte superior dos mesmos;

8. Colocação da tampa do reservatório térmico alternativo.

O reservatório térmico alternativo 2 (RTA 2) encontra-se mostrado na Figura 24.

Figura 24. Reservatório térmico alternativo 2.

O sistema foi ensaiado para as seguintes configurações:

CONFIGURAÇÃO I – COLETOR ALETADO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 1;

CONFIGURAÇÃO II – COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 1;

CONFIGURAÇÃO III – COLETOR COM LATAS FECHADAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 1;

CONFIGURAÇÃO IV – COLETOR ALETADO + COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 2;

CONFIGURAÇÃO V – COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + COLETOR ALETADO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 2;

CONFIGURAÇÃO VI – COLETOR ALETADO DUPLO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 2.

CONFIGURAÇÃO VII – COLETOR ALETADO DUPLO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO 1.

Os sistemas de aquecimento propostos funcionam em regime de termossifão, para dois volumes de água do reservatório de água quente correspondentes a 200 litros e 150 litros e foram ensaiados para o diagnóstico de sua eficiência térmica, sendo levantados os seguintes parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico, como também a susceptibilidade dos tubos absorvedores atingirem o nível crítico para o início da degradação térmica dos tubos de PVC em torno de 60°C. Os coletores foram inclinados de 15,5°S em função da latitude do local, no caso Natal, correspondente a 5,5°S.

Mediram-se as **temperatura de entrada e saída do fluido do coletor, as temperaturas internas e externas do coletor, a temperatura dos tubos absorvedores, temperatura da água contida no reservatório 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 15 em 15 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.

Os ensaios 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.

A susceptibilidade ao início do processo de degradação térmica pode ser diagnosticada através dos níveis de temperatura alcançados pela superfície externa dos tubos absorvedores, que não devem alcançar 60°C.

A autonomia do sistema foi também avaliada no que diz respeito ao número de dias em que o sistema esteve apto para propiciar água quente na temperatura ideal de banho para uma residência com quatro pessoas.

Os banhos foram simulados às 07:00, 12:00 e 8:00 horas, retirando-se 40 litros (RT2) ou 50 litros (RT1) de água quente do reservatório térmico, através de um registro localizado a 2/3 de sua altura, a partir de sua base. Ressalte-se que a simulação dos banhos deu-se numa condição mais crítica do que a que ocorre na situação real, sem a mistura da água quente do reservatório com a água fria proveniente da rede.

Para testar a eficiência térmica do encheu-se o reservatório térmico alternativo e o interligou-se a um ou dois coletores em série propostos. Após um dia de funcionamento do sistema de aquecimento, às 15:00 horas, mediu-se a temperatura da água contida no reservatório, correspondente a 45°C e cortou-se a comunicação do mesmo com o coletor para evitar a troca térmica entre o reservatório e o coletor durante a noite.

Colocou-se um termopar de cromel-alumel no interior do reservatório térmico alternativo proposto para medir a temperatura da água, outro na superfície externa do mesmo para medir sua temperatura e outro para medir a temperatura ambiente. O teste consistiu em medir essas temperaturas, a cada hora, durante toda a noite para quantificar a queda de temperatura na massa de água contida no reservatório. As temperaturas foram medidas utilizando um termômetro digital, com precisão de 0,1% + 0,5°C).

Os sistemas de aquecimento alternativos propostos encontram-se mostrados nas Figuras 25 a 30.

Figura 25. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor aletado - Configuração1.

Figura 26. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor com latas semi-abertas – Configuração 2.

Figura 27. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor com latas fechadas - Configuração 3.

Figura 28. Sistema de aquecimento em ensaio com coletores em série: aletado + latas semi abertas - Configuração 4.

Figura 29. Sistema de aquecimento em ensaio com coletores em série: latas semi-abertas + aletado - Configuração 5.

Figura 30. Sistema de aquecimento em ensaio com coletor aletado duplo - Configuração 6.

Apresenta-se a seguir as teorias e as equações necessárias à determinação dos parâmetros que traduzem o comportamento dos coletores e sistemas alternativos de

aquecimento propostos, priorizando-se **o coeficiente global de perdas e o rendimento térmico (SOUZA, 2002, DUFFIE, 1991).**

3.1.Desenvolvimento teórico

a. 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.**

a.1. Coeficiente global de perdas

A placa coletora após receber radiação se aquece, surgindo, em conseqüência, 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 dos outros métodos, que a seguir são descritos.

a.1.1. Método da temperatura média de placa

Para determinar-se o Coeficiente Global de Perdas (U_{loss}) através desse método torna-se necessário o conhecimento da potência útil transferida ao fluido de trabalho (P_u), da radiação solar global (I), dos parâmetros ópticos do coletor, absortividade da placa (α_p) e transmissividade do grarrafa pet (τ_{pet}), da temperatura média da placa absorvedora (T_{pm}) e da temperatura ambiente (T_a). A equação (1) permite a determinação da grandeza pretendida

$$U_{loss} = \frac{(\tau_{pet}.\alpha_p - \eta_t)I}{(T_{pm} - T_a)}$$

onde:

τ_v = transmissividade da garrafa pet.

α_p = absortividade da placa.

η_t = rendimento térmico, em %.

T_{pm} = temperatura média da placa absorvedora, em K.

T_a = temperatura ambiente, em K.

I = radiação solar global, em kW/m$^{2.}$

a1.2. Método da perda térmica

Este método consiste na determinação do Coeficiente Global de Perda Térmica através do conhecimento dos parâmetros potência absorvida pelo coletor ($P_{abs.}$), 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 (m), do calor específico do fluido (c_p) e da diferença de temperatura do fluido obtida no sistema (ΔT), conforme as equações (3.2) a (3.5).

$$P_{abs} = \tau_v.\alpha_p.\mathrm{I.A} \tag{3.2}$$

$$P_u = \dot{m}.c_p.\Delta\mathrm{T} \tag{3.3}$$

$$P_p = P_{abs} - P_u \tag{3.4}$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A.(T_{pm} - T_a)} \tag{3.5}$$

a.1.3. Método das trocas térmicas

Este método se caracteriza pela determinação do U_{loss} como função de todas as trocas térmicas que ocorrem no interior e para o exterior do sistema. Essas trocas sob a forma de convecção, condução e radiação, ocorrem nas unidades de aquecimento, conforme a equação 3.6 (**INCROPERA, 2003**).

$$U_{loss} = U_{topo} \tag{3.6}$$

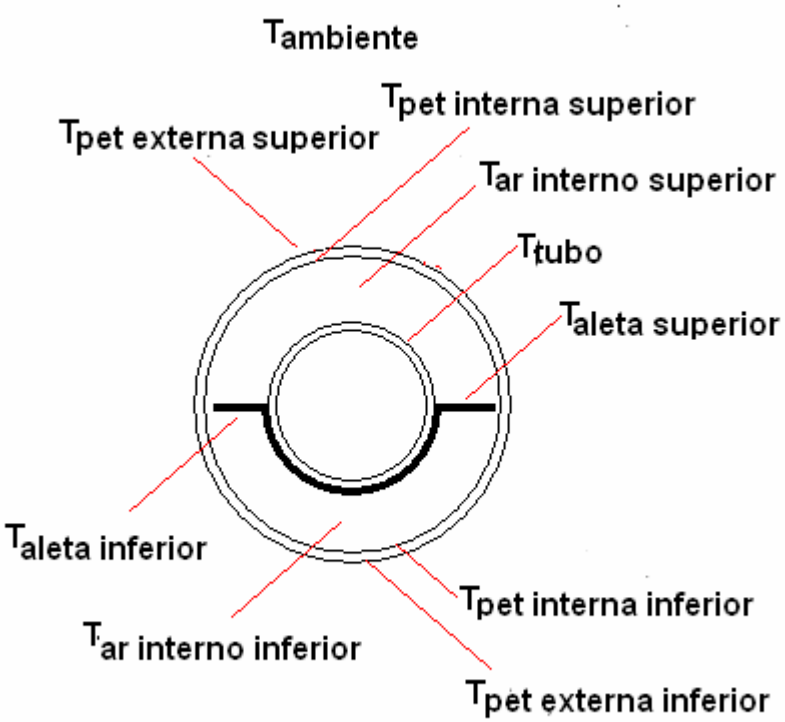
a.1.3.1. Perdas pela cobertura

As perdas pela parte de cima do coletor solar compreendem modos de transmissão de calor, do tipo convecção e radiação, entre a placa absorvedora e o ar atmosférico que envolve o sistema.

Para calcular as perdas pelo topo utilizando esse método adotam-se as seguintes condições:

1. As temperaturas da placa absorvedora e da garrafa pet são uniformes em toda sua extensão e espessura;
2. Não há acumulação de energia na placa absorvedora e na garrafa pet, considerando-se, portanto, regime permanente;
3. Os fluxos de calor envolvidos são unidimensionais, havendo, portanto, propagação perpendicular às superfícies consideradas;
4. A temperatura do tubo é uniforme em toda sua superfície.

A Figura 31 mostra as trocas térmicas que ocorrem no interior do sistema e do mesmo para o meio que o envolve e o circuito térmico do coletor em estudo.



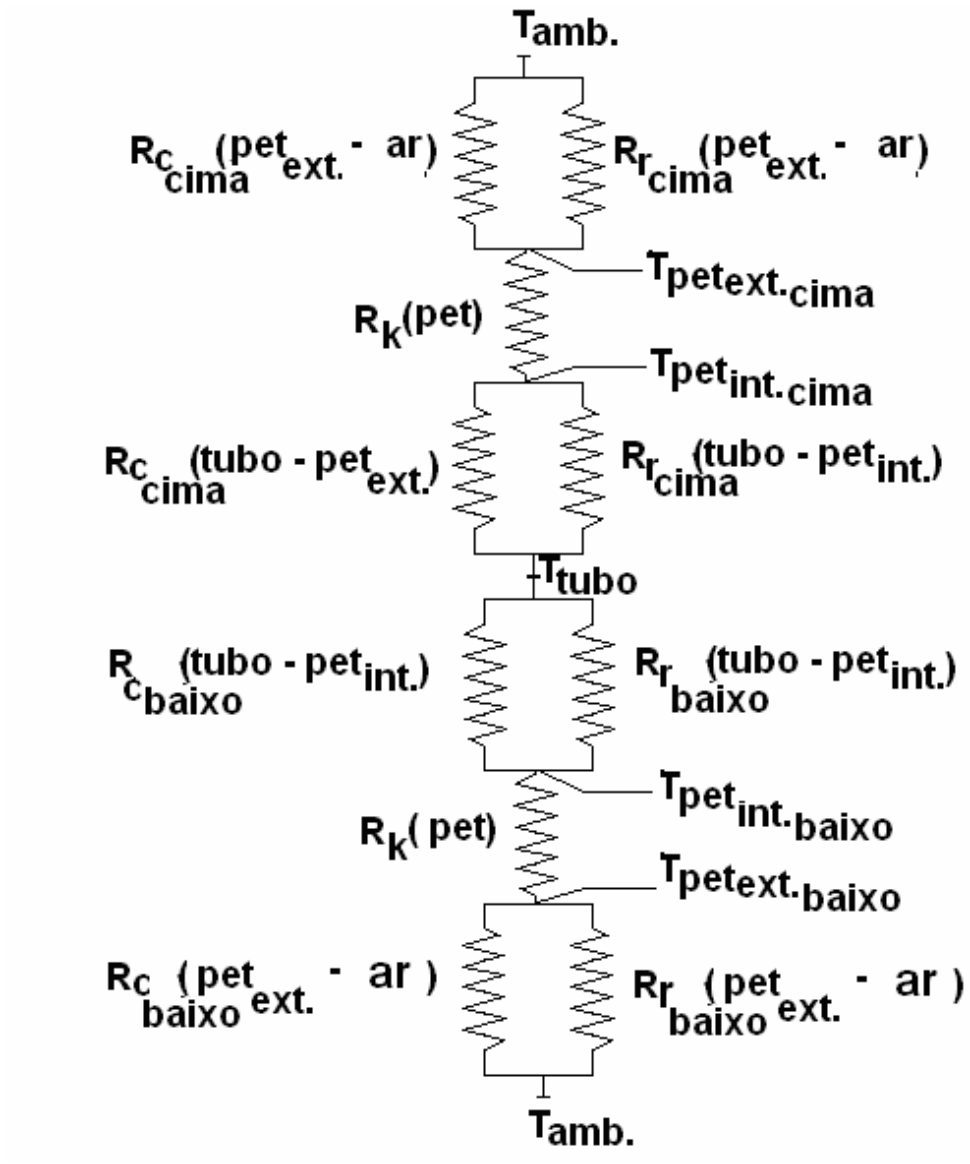


Figura 31. Circuito térmico no coletor solar em estudo.

O coeficiente de perda pela cobertura (topo) é dado pela equação (3.7).

$$U_{topo} = \frac{1}{\Sigma R_{eq}} \tag{3.7}$$

Do circuito térmico da figura 29, tem-se que:

$$\Sigma R_{eq} = R_{eq_{(t-pet_i)}} + R_{eq_{(pet_i - pet_e)}} + R_{eq_{(pet_e - amb)}} \tag{3.8}$$

Logo,

$$U_{topo} = \frac{1}{(R_{eq(t-pet_i)} + R_{eq(pet_i - pet_e)} + R_{eq(pet_e - amb)}} \quad (3.9)$$

Onde:

$$R_{eq(t-pet_i)} = \frac{1}{\frac{1}{R_{c(t-pet_i)}} + \frac{1}{R_{r(t-pet_i)}}} \quad (3.10)$$

$$R_{eq_{(pet_i - pet_e)}} = R_{k_{(pet_i - pet_e)}} \quad (3.11)$$

$$R_{eq_{(pet_e - amb)}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{c(pet_e - amb)}} + \frac{1}{R_{r(pet_e - amb)}}} \quad (3.12)$$

Sendo que:

R_c(t – pet_{int}) = Resistência convectiva entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet, em (m^2.K/W).

R_r(t – pet_{int}) = Resistência radiativa entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet, em(m^2.K/W).

R_k(pet_i - pet_e) = Resistência condutiva entre as superfícies interna e externa da garrafa de pet, em (m^2.K/W).

R_c(pet_e - amb) = Resistência convectiva entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente, em (m^2.K/W).

R_r(pet_e - amb) = Resistência radiativa entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente, em (m^2.K/W).

Substituindo-se as equações (3.10), (3.11) e (3.12) em (3.9), tem-se a equação (3.13) dada por:

$$U_{topo} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c(t-pet_i)} + h_{r(t-pet_i)}} + \frac{e_{pet}}{k_{pet}} + \frac{1}{h_{c(pet_e - a)} + h_{r(pet_e - a)}}} \quad (3.13)$$

Onde:

$h_c(t - pet_i)$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre o tubo absorvedor e a superfície interna da garrafa de pet, em W/m^2.K.

$h_r(t - pet_i)$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre o tubo absorvedor e a superfície interna garrafa de pet em W/m^2.K.

e_{peti} = espessura da garrafa de pet, em mm.

K_{peti} = condutividade térmica da garrafa de pet W/m.K.

$h_c(pet_e - a)$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre a superfície externa da garrafa de pet e ao ar ambiente, em W/m^2.K.

$h_r(pet_e - a)$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente, em W/m^2.K.

O coeficiente de transmissão de calor por convecção entre a placa absorvedora e a superfície interna obedece ao mecanismo da convecção livre em espaço fechado. Determinar o coeficiente de transferência de calor associado à convecção livre em espaços fechados é matéria de numerosas pesquisas. Estudos desenvolvidos por Buchberg para a convecção livre em espaços fechados, especificamente dispositivos relacionados à energia solar, mais precisamente coletores solares, mostram que tal coeficiente convectivo pode ser calculado pela equação abaixo.

$$h_{c(t-pet_i)} = N_{u\delta} \cdot \frac{k_{ar}}{\delta} \tag{3.14}$$

Onde:

k_{ar} = condutividade térmica do ar, em W/m.K.

δ = espessura da camada de fluido, em mm.

$N_{u\delta} = c.(R_a)^n \left(\frac{H}{\delta}\right)^m$ = número de Nusselt.

H = comprimento da camada de fluido, em mm.

A constante **c** e os expoentes **n** e **m**, têm valores empíricos recomendados para a convecção livre, dentro do domínio do numero de Prandtl, para o ar na temperatura média do sistema. Esse número faz parte do número de Rayleigh, conforme a equação (3.15).

$$R_a = \frac{g.\beta(T_t - Tpet_i).\delta^3.P_r}{\nu^2} \tag{3.15}$$

Onde:

g = constante da aceleração da gravidade, em m/s^2.

β = coeficiente de dilatação térmica, °K^{-1}.

ν = viscosidade cinemática, em m^2/s**.**

Pr = número de Prandtl.

O coeficiente de transmissão de calor por radiação entre a placa absorvedora e a superfície interna da garrafa de pet é calculado conforme modelo apresentado por Duffie & Beckman, 1991.

$$h_{r(t-pet_i)} = \frac{\sigma \in_v . \left(Tt^4 - Tpet_i^4\right)}{\left(T_t - Tpet_i\right)} \tag{3.16}$$

onde:

σ = constante de Stefan-Boltzman, em W/m^2.K^4

ε_v = emissividade da garrafa de pet.

T_t = temperatura média dos tubos, em K.

$Tpet_i$ = temperatura média da superfície interna da garrafa de pet, em K.

O coeficiente de transferência de calor, por convecção, entre a superfície externa da garrafa de pet e o ar ambiente, pode segundo Duffie&Beckman (1991), ser determinado por:

$$h_{c(pet_e - a)} = 2,8 + 3.v_v \tag{3.17}$$

Esta equação é valida para velocidades de vento compreendidas entre 0 e 7 m/s. No local onde foram feitos os testes a velocidade média situava-se entre 2,0 e 3,0 m/s.

O coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa da cobertura e o ambiente, conforme **Duffie&Beckman,**1991, pode ser determinado através da equação (3.18).

$$h_{r(ve-a)} = 5,7.10^{-8}.\varepsilon_{pet} \frac{(T_{pet_e}{}^4 - T_{amb}{}^4)}{(Tpet_e - T_a)} \tag{3.18}$$

Onde:

$Tpet_e$ = temperatura externa da garrafa de pet, em K.

T_a = temperatura ambiente, em K.

ε_{pet} = 0,9

a.2. Determinação do rendimento térmico

$$\eta_t = \frac{P_u}{A.I} \tag{3.19}$$

$$P_u = \dot{m}.c_p.\Delta T \tag{3.20}$$

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

I = radiação solar global, em kW/m^2 .

A = área do coletor (área exposta à radiação solar), em m^2.

$\dot{m}$ = vazão mássica, em kg/s.

c_p = calor específico da água, em KJ/kg ºC.

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

Resultados e Discussões

Serão avaliados a seguir os resultados obtidos com o sistema de aquecimento alternativo em suas várias configurações. Serão também analisados os dados de perda térmica obtidos nos coletores e nos reservatórios térmicos propostos. Os dados médios diários dos ensaios para cada tipo de configuração usada serão apresentados a seguir e os dados médios horários para cada configuração ensaiada serão apresentados no Anexo 1.

4.1 Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO I – COLETOR ALETADO + RTA1

A Tabela 3 mostra os dados médios medidos nos testes realizados para três dias de ensaio durante o levantamento de desempenho do coletor e sistema de aquecimento em estudo.

Tabela 3. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração I.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	31,6	40,5	8,9	0,70	0,37	37,5
DIA 2	31,1	39,5	8,5	0,70	0,35	37,0
DIA 3	31,0	40,1	8,8	0,70	0,37	37,5
MÉDIA	31,2	40,0	8,7	0,70	0,36	37,3

Os gradientes de temperatura gerados nos três dias de ensaio apresentaram variação pouco significativa, demonstrando que as condições solarimétricas nos dias ensaiados foram praticamente idênticas. A eficiência térmica esteve bem abaixo da relativa aos coletores convencionais, como já era de se esperar em função da inexistência de isolamento térmico no coletor. O nível de temperatura da mistura propicia a utilização da água aquecida para três banhos, embora a temperatura da água às 7:00 horas esteja abaixo da recomendada, em torno de 36°C.

4.2. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO II – COLETOR SEMI-ABERTO + RTA1

Tabela 4. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração II.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	30,4	38,2	7,8	0,70	0,32	35,3
DIA 2	30,8	38,7	7,9	0,70	O,33	35,3
DIA 3	29,3	36,9	7,6	0,70	0,32	35,2
MÉDIA	30,2	37,9	7,8	0,70	0,32	35,3

A eficiência térmica esteve também bem abaixo da obtida com coletores convencionais, como já era de se esperar em função da inexistência de isolamento térmico no coletor. O nível de temperatura da mistura propicia a utilização da água aquecida para dois banhos, as 12:00 e às 18:00 horas, uma vez que o sistema não tem autonomia para manter a água aquecida na temperatura ideal de banho durante a noite.

4.3. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO III – COLETOR COM LATAS FECHADAS + RTA1

Tabela 5. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração III.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	30,2	35,9	6,0	0,71	0,24	33,5
DIA 2	30,7	36,7	6,0	0,69	0,25	33,3
DIA 3	30,1	36,3	6,2	0,71	0,25	33,8
MÉDIA	30,3	36,3	6,1	0,70	0,25	33,5

Essa configuração apresenta uma eficiência bem menor que as outras duas ensaiadas, muito abaixo da relativa aos coletores convencionais. O nível de temperatura da mistura esteve abaixo da temperatura ideal para banho embora ao final do dia propicie um banho relativamente confortável.

4.4. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO IV – COLETOR ALETADO +COLETOR COM LATAS VAZADAS + RTA2

Tabela 6. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração IV.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	34,1	43,5	9,4	0,70	0,15	43,5
DIA 2	34,3	43,8	9,5	0,7	0,15	44,0
DIA 3	36,3	45,5	9,2	0,70	0,15	43,0
MÉDIA	34,9	44,3	9,4	0,70	0,15	43,5

As temperaturas de saída dos coletores estiveram sempre acima da temperatura ideal de banho. A eficiência térmica foi mais baixa pelo fato da área dessa configuração corresponder ao dobro das outras configurações apresentadas anteriormente. O nível de temperatura da mistura esteve bem acima do obtido com as configurações anteriores apresentadas e propicia a utilização da água aquecida para três banhos diários.

4.5. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO V COLETOR COM LATAS VAZADAS + COLETOR ALETADO + RTA2

Tabela 7. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração V.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	33,7	45,3	11,6	0,70	0,18	44,5
DIA 2	33,7	45,3	11,6	0,70	0,19	44,6
DIA 3	32,2	43,5	11,3	0,69	0,18	44,1
MÉDIA	33,2	44,7	11,5	0,70	0,18	44,4

As temperaturas de saída dos coletores estiveram sempre acima da temperatura ideal de banho. A eficiência térmica esteve um pouco acima da configuração anterior de mesma área. O nível de temperatura da mistura foi maior que o obtido pela configuração anterior e propicia a utilização da água aquecida para três banhos diários.

4.6. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO VI COLETOR ALETADO DUPLO + RTA2

Tabela 8. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração VI.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	35,2	47,9	12,7	0,70	0,20	46,2
DIA 2	35,0	47,7	12,7	0,70	0,20	46,0
DIA 3	35,2	48,2	13,0	0,70	0,21	46,4
MÉDIA	33,1	47,9	12,8	0,70	0,20	46,2

As temperaturas de saída dos coletores estiveram sempre acima da temperatura ideal de banho. Isso se explica pela menor perda térmica característica dessa configuração, uma vez que foi utilizada a luva de pet para minimizar o efeito sumidouro de calor. A eficiência térmica esteve bem abaixo da relativa aos coletores convencionais, demonstrando que o coletor apresenta uma elevada perda térmica em função da inexistência de isolamento térmico, caixa de armazenamento e vidro de cobertura. O nível de temperatura da mistura propicia a utilização da água aquecida para três banhos diários.

4.7. Sistema de aquecimento alternativo – CONFIGURAÇÃO VII COLETOR ALETADO DUPLO + RTA1

Tabela 9. Dados médios dos dias de testes realizados - Configuração VII.

DIA	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
DIA 1	35,7	47,1	14,7	0,70	0,31	43,5
DIA 2	32,1	47,3	15,2	0,70	0,32	44,0
DIA 3	32,2	46,6	14,3	0,70	0,30	43,0
MÉDIA	33,3	47,0	14,7	0,70	0,31	43,5

As temperaturas de saída dos coletores estiveram sempre acima da temperatura ideal de banho. O nível de temperatura da mistura propicia a utilização da água aquecida para três banhos diários.

Os resultados de todos os ensaios realizados demonstram a viabilidade de utilização dos sistemas de aquecimento propostos com coletores que utilizam unidades de aquecimento constituídas por garrafas pet, canos de PVC e latas de cervejas e refrigerantes.

Dentre os sistemas ensaiados com apenas um coletor o que apresentou melhor desempenho foi o aletado. O coletor com latas fechadas é o gerou um menor gradiente de temperatura e em conseqüência uma menor temperatura da água contida no reservatório alternativo.

No que diz respeito ao sistema com coletores em série a configuração que apresentou uma maior temperatura da água do reservatório foi a constituída pelo coletor com latas vazadas + coletor aletado + RTA2.

O coletor aletado duplo foi construído a partir da constatação do melhor desempenho das aletatas em relação às latas vazadas ou fechadas. Este coletor foi o que gerou uma maior temperatura da mistura e uma maior velocidade de aquecimento dessa massa líquida.

Os valores de eficiência térmica foram inferiores aos apresentados pelos coletores alternativos que utilizam isolamento térmico, em torno de 40% (**SOUZA, 2002**).

A temperatura ambiente media no local dos testes ficou em torno de 31°C e a radiação solar global média no período de realização dos testes esteve em torno de 700W/m², dentro da faixa média para o Nordeste brasileiro, entre 500 e 700 W/m².

Para ter-se uma análise comparativa entre os dias de ensaio, faz-se a Tabela 10 que mostra os valores médios obtidos para os três dias de testes, para as várias configurações. Serão também apresentados gráficos que mostram o comportamento assumido por tais parâmetros.

Tabela 10. Valores médios obtidos para os três dias de ensaio para cada configuração estudada.

CONFIGURAÇÂO	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)	Tmistura (°C)
ALE + RTA1	8,7	0,70	0,36	37,3
VAZADO + RTA1	7,8	0,70	0,32	35,3
FECHADO + RTA1	6,1	0,70	0,25	33,5
ALE + VAZADO + RTA2	9,4	0,70	0,15	43,5
VAZADO + ALE + RTA2	11,5	0,70	0,18	44,4
ALE DUPLO + RTA2	12,8	0,70	0,20	46,2
ALE DUPLO + RTA1	14,7	0,70	0,31	43,5

Como foi pretendido percebe-se que os dias escolhidos para a realização dos ensaios apresentaram condições solarimétricas idênticas, ou seja, tempo ensolarado, com baixa

nebulosidade, permitindo a comparação entre os dados medidos para diferentes dias de ensaio.

A configuração que permitiu a obtenção de um maior nível de temperatura na água contida no tambor foi **ALE DUPLO + RTA2, porém com exceção das configurações VAZADO + RTA1 e FECHADO + RTA1,** todas as outras propiciaram uma temperatura da massa líquida contida no reservatório térmico acima da temperatura ideal de banho.

As configurações que são mais indicadas para o fim proposto são as que utilizam dois coletores em série ou coletor aletado duplo. A eficiência térmica dos coletores está bem abaixo dos valores relativos aos coletores convencionais e a maioria dos coletores alternativos, porém como já foi ressaltado, tal fato já era esperado, em função da inexistência de isolamento térmico, vidro de cobertura e caixa de armazenamento, elementos que minimizam as perdas térmicas de um coletor solar. No que diz respeito ao gradiente de temperatura gerado no coletor a configuração **ALE DUPLO + RT1** foi a que apresentou o maior valor.

Os gráficos das Figuras 32, 33 e 34 mostram o comportamento comparativo dos parâmetros medidos quando da realização dos testes para todas as configurações.

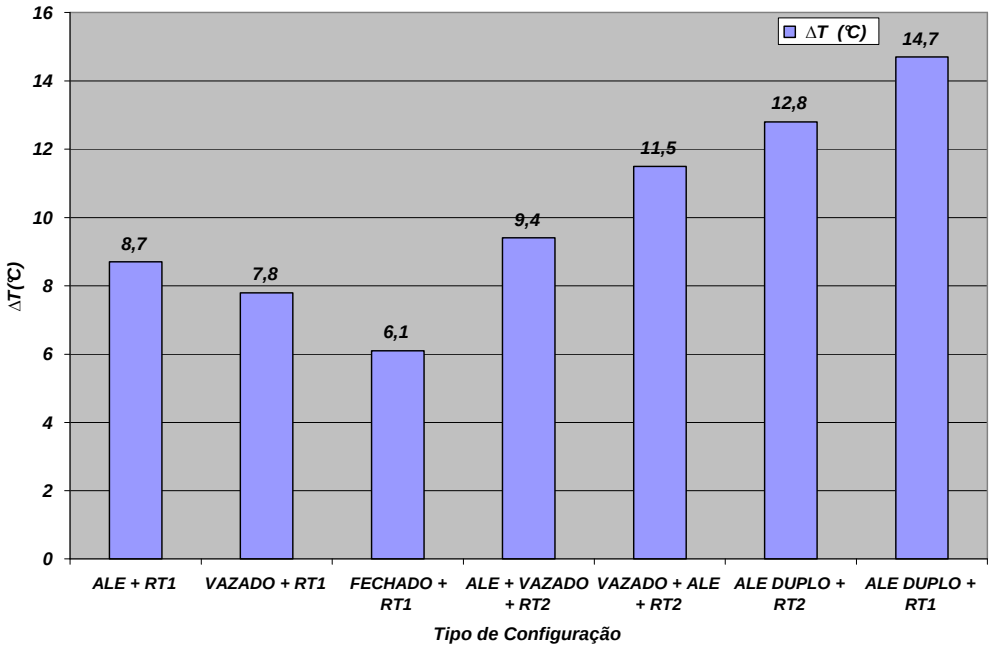


Figura 32. Comportamento dos valores de gradiente de temperatura no coletor para todas as configurações ensaiadas.

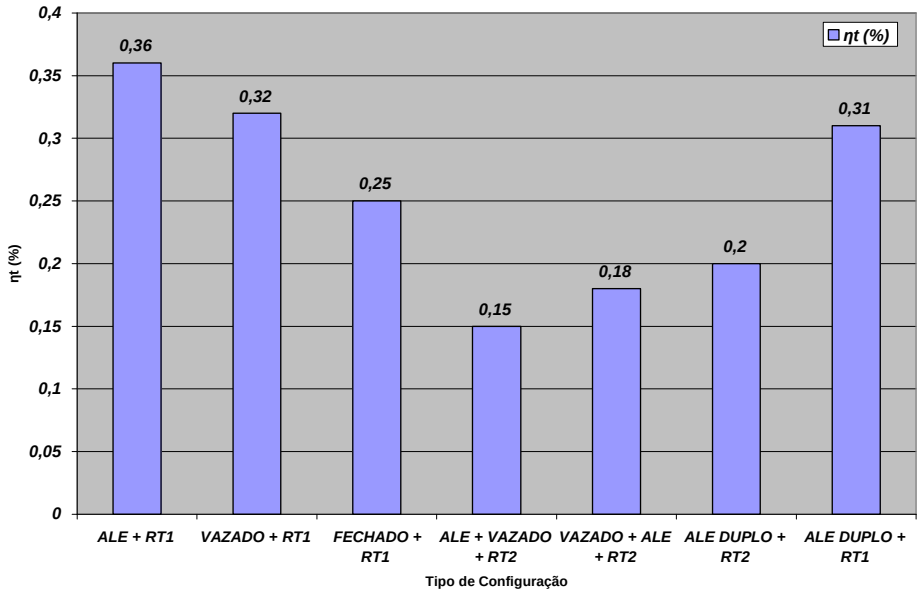


Figura 33. Comportamento dos valores de rendimento térmico no coletor para todas as configurações ensaiadas.

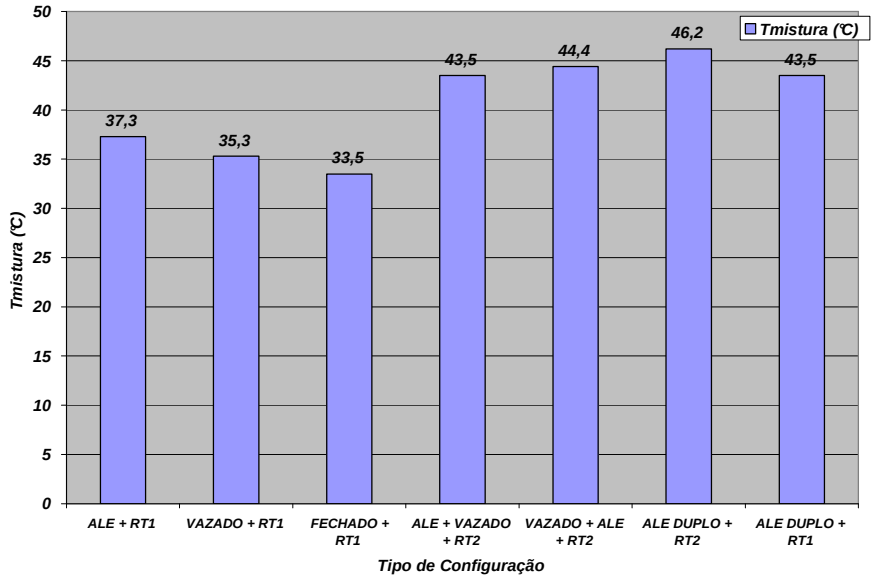


Figura 34. Comportamento dos valores de temperatura da água no reservatório térmico para todas as configurações ensaiadas.

Para avaliar a velocidade de aquecimento da água contida no reservatório térmico, mediu-se sua temperatura no fundo, a ¼, ½, ¾ e na parte de cima do reservatório térmico, após as oito horas de funcionamento, cujos valores encontram-se mostrados para um dia na Tabela 11.

Tabela 11. Níveis de temperatura em vários pontos do reservatório térmico para vários dias de ensaio.

CONFIGURAÇÃO	Tbaixo (°C)	T1/4 (°C)	Tmeio (°C)	T3/4 (°C)	Tcima (°C)	Tmistura (°C)
ALE + RTA1	34,2	35,1	36,6	37,5	38,6	37,5
VAZADO + RTA1	33	34	34,8	35,7	36	35,3
FECHADO + RTA1	32,1	33,8	34,2	34,9	35	33,8
ALE + VAZ + RTA2	40,3	42,8	43,6	44,6	44,7	43,6
VAZ + ALE + RTA2	41,7	42	44,5	45,7	46,1	44,4
ALE DUP + RTA1	38,5	43,8	45,9	46,3	46,5	44,0
ALE DUP + RTA2	43,2	45,1	46,2	47,3	47,9	46,2

Os dados apontam para uma maior velocidade de aquecimento da massa líquida para as configurações **VAZ + ALE + RTA2 e ALE DUP + RTA2,** principalmente para a segunda configuração citada, pelo fato do gradiente térmico entre as partes inferior e superior do reservatório ser de pequena magnitude, demonstrando uma maior uniformidade na temperatura da água aquecida, destinada ao banho.

Os valores de temperatura medidos mostram que a massa de água no reservatório térmico apresenta níveis de temperatura acima do ideal para banho, demonstrando que o sistema foi capaz de aquecer toda a água reservatório em apenas um dia de funcionamento. Isso é uma importante característica para um sistema solar de aquecimento de água.

O gráfico da Figura 35 mostra o comportamento comparativo das temperaturas da água no reservatório térmico quando da realização dos testes para todas as configurações.

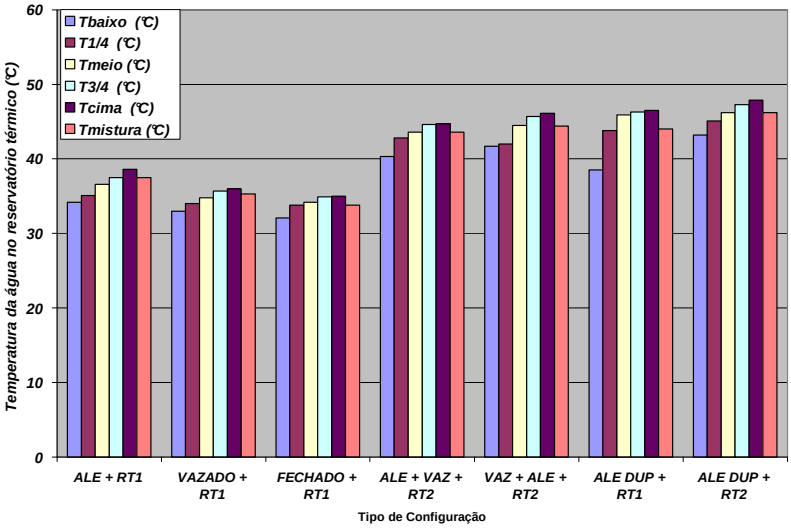


Figura 35. Comportamento da temperatura da água em vários pontos do reservatório térmico.

Para avaliar o sistema na condição real de funcionamento procedeu-se a simulação dos banhos através da retirada de um certo volume de água do reservatório, nos seguintes horários: 07:00h, 12:00h e 18:00h. Através de um registro colocado a ¾ do reservatório, a partir da base, retirava-se 50 litros de água quente para o RTA1 e 40 para o RTA2 e em seguida recolocava-se a mesma quantidade de água no reservatório.

Os valores correspondentes aos níveis de temperatura, para as configurações que produziram um maior gradiente de temperatura e uma temperatura da mistura mais elevada, **VAZADO + ALETADO + RTA2, ALETADO DUPLO + RTA1 E ALETADO DUPLO + RTA2**, antes e após cada retirada de água encontram-se mostrados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Dados da simulação dos banhos - **VAZADO + ALETADO + RTA2**

Dia	Tágua retirada (°C)	Tágua após recolocação (°C)	Hora
24/OUT	42,7	38,6	18:00
25/ OUT	36	34	07:00
25/ OUT	44,5	38	12:00
25/ OUT	38,6	36,7	18:00
26/ OUT	34,2	31	07:00
26/ OUT	41,9	35	12:00
26/ OUT	39,3	37,5	18:00
26/ OUT	35	33,3	07:00

Tabela 13. Dados da simulação dos banhos - **ALETADO DUPLO + RTA1**

Dia	Tágua retirada (°C)	Tágua após recolocação (°C)	Hora
07/DEZ	43,7	40,2	18:00
08/DEZ	36,2	34	07:00
08/DEZ	46,4	40,2	12:00
08/DEZ	42,7	37,5	18:00
09/DEZ	34,5	32,5	07:00
09/DEZ	48,3	40,0	12:00
09/DEZ	42,3	37,2	18:00
10/ OUT	33,8	32	07:00
10/DEZ	44,6	39	12:00
10/DEZ	40	36,1	18:00
11/ OUT	32,3	31	07:00

Os dados apresentados demonstram que o sistema tem autonomia para pelo menos três dias de uso, proporcionando a obtenção de níveis de temperatura geralmente superiores aos níveis ideais para banho. Os níveis de radiação para tais dias de ensaios foram em torno 700W/m².

Para avaliar a perda térmica do coletor solar alternativo do sistema de aquecimento solar de água mediram-se os níveis de temperatura de parâmetros inerentes a esse processo, que se encontram mostrados em seus valores médios na Figura 36.

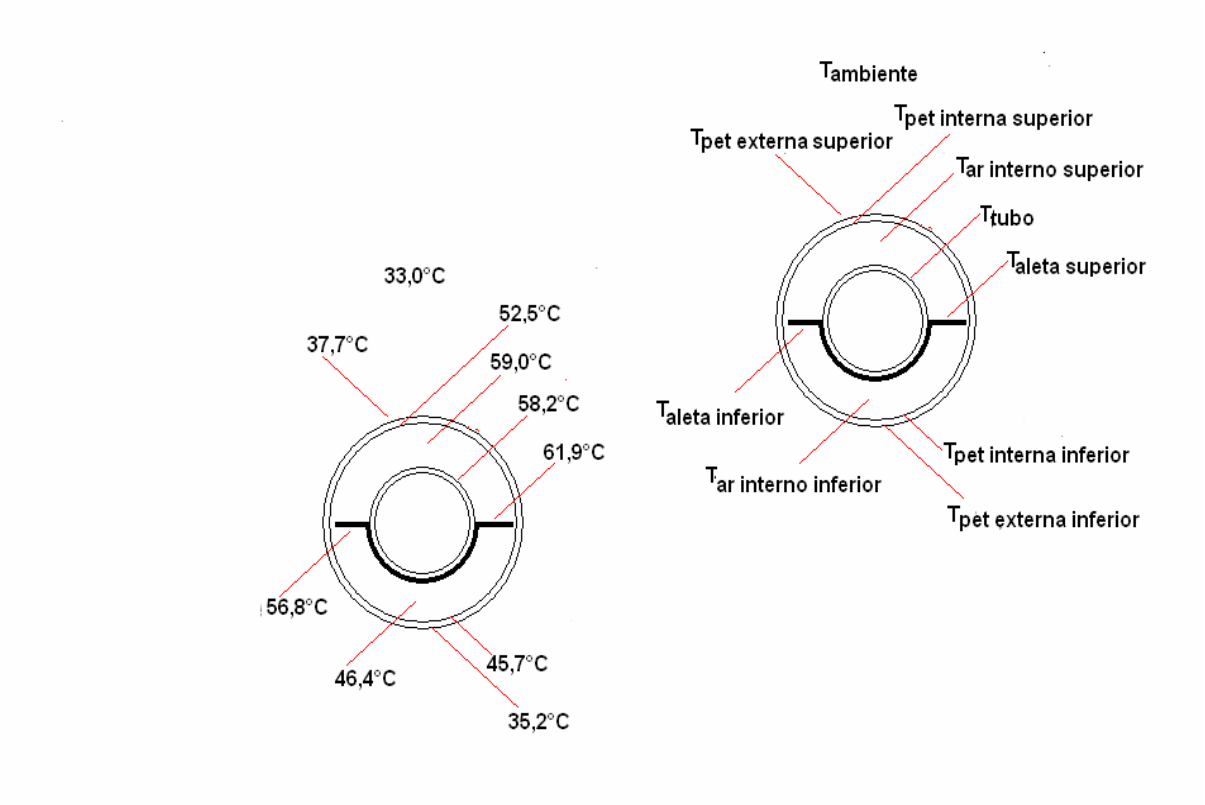


Figura 36. Parâmetros de perda térmica do coletor em estudo.

Através dos valores medidos e de outros parâmetros encontrados na literatura, calculou-se o coeficiente global de perda térmica através de dois procedimentos: o primeiro através do método das trocas térmicas que calcula todos os coeficientes convectivos, radiativos e condutivos inerentes aos processos de troca térmica entre tubo, pet e ambiente e o segundo através do método do calor perdido, que leva em conta a temperatura média dos tubos absorvedores do coletor proposto.

O coeficiente global de perda térmica pelo topo e por baixo calculado pelo primeiro método, cujo procedimento encontra-se descrito no capítulo anterior, correspondeu a 12,84W/m².°C, conforme procedimento abaixo:

$$U_{topo} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c(t-pet_i)} + h_{r(t-pet_i)}} + \frac{e_{pet}}{k_{pet}} + \frac{1}{h_{c(pet_e-a)} + h_{r(pet_e-a)}}}$$

$$U_{topo} = \frac{1}{\frac{1}{7,96+55,82} + \frac{0,001}{0,24} + \frac{1}{10,3+6,7}} = 12,84\ W/m^2.K$$

Para o cálculo através do segundo método utilizou-se o seguinte procedimento: determinou-se a potência absorvida pelo coletor, a potência transmitida pelo coletor ao fluido de trabalho e através desses dois parâmetros calculou-se a potência perdida pelo coletor, e em seguida o coeficiente global de perda térmica, que foi igual a 15,2 W/m². K)

$$P_{abs} = \tau_{pet}.\alpha_{tubo}.\mathrm{I.A}$$

$$P_{abs} = 0,85.0,9.750.2 = 1.147,5W$$

$$P_u = \dot{m}.c_p.\Delta\mathrm{T}$$

$$P_u = 10^3.\frac{150}{8}.\frac{10^{-3}}{3600}.4180.15 = 326,6W$$

$$P_p = P_{abs} - P_p$$

$$P_p = 1.147,5 - 326,6 = 820,9W$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A.(T_{pm} - T_a)}$$

$$U_{loss} = \frac{820,9}{2.(333-306)} = 15,2W/m^2.K$$

Os valores calculados pelos dois métodos apontam para um coeficiente global de perda bem superior aos característicos de coletores convencionais, situados no intervalo médio entre 6,0 e 12,0 W/m².°C **(DUFFIE&BECKMAN,1991)** porém deve-se levar em conta que o coletor em estudo não apresenta isolamento térmico, cobertura de vidro e caixa de armazenamento. Mesmo com esse coeficiente o sistema foi viável para o fim proposto, e ressalte-se seu baixo custo.

No que diz respeito à temperatura da superfície externa dos tubos absorvedores de PVC seu valor médio, **58,2°C** esteve um pouco abaixo da temperatura para início da degradação térmica, em torno de 60°C, o que demonstra que é viável a utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores solares.

Os materiais necessários à construção do coletor em estudo foram: garrafas pet, latas de cervejas e refrigerantes, tubos de PVC de ½", joelhos e tês de PVC de ½" e cola PVC. O custo de fabricação do coletor de maior área ficou em torno de R$ 56,00 e encontra-se discriminado na Tabela 14. O coletor foi colocado em um suporte confeccionado utilizando-se cantoneiras.

Tabela 14. Custo dos materiais utilizados para a construção do coletor aletado duplo.

ELEMENTO	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R$)	CUSTO TOTAL (R$)
GARRAFAS	**136 und.**	**0,05**	**6,80**
LATAS	**144 und.**	**0,03**	**4,32**
TUBOS	**24 m**	**1,30**	**31,20**
TÊS	**14 und.**	**0,45**	**6,30**
JOELHOS	**02**	**0,40**	**0,80**
COLA	**01 und.**	**6,50**	**6,50**
			55,92

4.8 Reservatório térmico alternativo (RTA2)

Os resultados do teste para avaliar a eficiência térmica do reservatório térmico alternativo encontram-se apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados do teste realizado com o reservatório térmico alternativo proposto.

TEMPO (HORA)	Tágua (℃)	Tambiente (℃)	Treserv. cima (℃)	Treserv. meio (℃)	Treserv. baixo (℃)
16:00	**45,3**	**27,0**	**28,0**	**28,3**	**28,5**
17:00	45,3	27,0	27,5	28	28,2
18:00	45,0	26,0	27,0	27,5	28
19:00	44,8	26,0	26,5	27,0	27,5
20:00	44,2	25,5	25,1	25,6	26,2
21:00	43,8	25,0	25,1	25,4	25,8
22:00	43,5	25,0	25,1	25,6	25,6
23:00	43,2	25,0	25,2	25,5	25,6
00:00	42,9	25,0	25,1	25,2	25,6
01:00	42,6	24,5	24,5	24,9	25,1
02:00	42,5	24,9	24,9	25,5	25,6
03:00	42,2	24,9	24,9	25,3	25,5
04:00	41,8	25,0	25,0	25,4	25,5
05:00	41,6	25,3	25,3	25,7	25,6
06:00	40,9	27,7	28,0	30,4	28,7
07:00	**40,6**	**28,4**	**28,8**	**29,6**	**28,4**
08:00	40,3	31,9	33,0	33,2	32,0
09:00	40,1	31,8	36,0	36,8	32,3
10:00	40,1	31,9	38,0	36,0	33,6
11:00	40,1	31,9	38,5	35,5	33,7
12:00	40,1	32,0	38	35,5	34,0
13:00	40,1	32,0	38,0	36,0	34,5
14:00	40,4	32,4	38,2	36,0	35,0
15:00	40,8	31,4	37,0	35,0	34,0
16:00	**40,7**	**30,0**	**35,0**	**33,0**	**32,0**

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 reservatório térmico RTA1 apresentou uma perda térmica maior, em torno de 6,0°C, para 24 horas, um pouco superior ao que aponta a literatura, porém isso não inviabiliza sua utilização como armazenador da água aquecida para o sistema de aquecimento proposto. Essa maior perda foi função do pequeno espaço entre a parte superior do tambor de fibra e a sua tampa de cobertura. O custo de fabricação dos reservatórios térmicos construídos ficou em torno de R$ 200,00, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16. Custo dos materiais utilizados para a construção de cada reservatório térmico alternativo.

ELEMENTO	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R$)	CUSTO TOTAL (R$)
Tambor de polietileno 200 l	**01**	**40,00**	**40,00**
Resina ortoftálica	**06 Kg**	**10,00**	**60,00**
manta de fibra de vidro	**1,0 Kg**	**50,00**	**50,00**
Madeira para molde (eucatex)	**01 folha**	**40,00**	**40,00**
catalisador	**100ml**	**3,00**	**3,00**
trinchas	**02 unidades**	**3,00**	**6,00**
			199,00

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados dos ensaios efetuados com o sistema de aquecimento durante o levantamento de desempenho térmico, pode-se apresentar as conclusões a seguir, como também possíveis sugestões para otimizações e efetivação de futuros trabalhos com coletores alternativos.

1. O sistema alternativo proposto apresenta viabilidades nos campos térmico, de materiais e econômico. Seu custo de fabricação fica bem abaixo em relação aos coletores convencionais comercialmente disponíveis;

2. Os sistemas de aquecimento, em suas várias configurações, apresentam uma ótima relação custo benefício, podendo contribuir sensivelmente para a socialização do uso da água aquecida para banho através do uso da energia solar;

3. O coletor aletado duplo (configurações VI e VII) é o mais indicado para um sistema de aquecimento alternativo utilizando unidades de aquecimento formadas por garrafas Pets e tubos absorvedores de PVC;

4. Os reservatórios térmicos alternativos propostos são viáveis para ser utilizados em sistemas de aquecimento, por apresentarem níveis de perda térmica muito próximos aos reservatórios convencionais. O reservatório de 150 litros mostrou-se mais eficiente que o de 200 litros, em função do maior espaço entre o nível superior do reservatório e sua tampa, proporcionando um maior isolamento térmico;

5. Os coletores alternativos em estudos mostraram-se resistentes em relação às variações atmosféricas;

6. Toda a água contida no reservatório térmico pode ser aquecida acima da temperatura ideal de banho com apenas um dia de aquecimento. Houve configurações para as quais a temperatura no fundo do tambor esteve próxima da temperatura do nível superior, o que demonstra a elevada taxa de aquecimento proporcionada pelo sistema de aquecimento alternativo proposto;

7. As configurações que utilizam coletores em série ou coletores aletados de maior área são as mais viáveis para o fim proposto, qual seja, aquecimento de água residencial para banho;

8. A forma de montagem da grade absorvedora, através do uso de conexões em T de PVC concedeu simplicidade para o seu processo de montagem, podendo ser montada com rapidez;

9. A cola PVC para alta temperatura utilizada na ligação das conexões em T e tubos absorvedores mostrou-se bastante eficiente, não produzindo vazamentos;

10. Apesar de apresentar perda térmica um pouco superior aos reservatórios térmicos convencionais, o baixo custo e a desempenho térmico dos reservatórios alternativos conduzem-no a apresentar uma boa relação custo benefício;

11. Os processos de fabricação e montagem dos sistemas propostos são simples e podem ser facilmente repassados para pessoas de quaisquer níveis sociais e intelectuais;

12. A temperatura dos tubos absorvedores no coletor alternativo esteve abaixo do nível crítico para início do processo degradativo térmico. No que diz respeito à degradação por UV tal efeito é amenizado pela tinta preto fosco que recobre os tubos absorvedores, que contém pigmentos pretos absorvedores de radiação ultravioleta;

13. O custo de fabricação do sistema, inferior a R$ 500,00 (US 250.00) representa uma vantagem importante em relação aos sistemas de aquecimento disponíveis comercialmente, sendo capaz de contribuir significativamente para socializar a utilização dos sistemas solares de aquecimento de água;

14. A perda térmica dos coletores propostos é bem superior a relativa aos coletores convencionais, e até mesmo em relação a outros coletores alternativos, porém ressalte-se que tais coletores são constituídos por três elementos, a grade absorvedora, as aletas ou latas e as garrafas PETS, o que diminui significativamente o seu custo de fabricação. Outra importante característica desse tipo de coletor é seu reduzido peso;

15. É importante fazer-se um estudo da degradação das garrafas Pets quando submetidas a radiação ultravioleta para um tempo significativo de exposição. Esse estudo deve ser feito

utilizando a microscopia eletrônica de varredura para uma análise acurada da degradação microestrutural;

16. Em função do desempenho apresentado pelos sistemas de aquecimento estudados, pode-se afirmar que podem ser já utilizados para fim de aquecimento de água para banho em comunidades de baixa renda. O aletado duplo seria o mais indicado para tal fim;

17. Para aumentar a autonomia do sistema e garantir a disponibilidade de água quente para um número maior de dias, pode-se construir um coletor com maior área em relação aos coletores estudados, e isso não representa um acréscimo significativo no seu custo uma vez que os materiais utilizados são de baixo preço;

18. É imprescindível que se instale o sistema em um banheiro, com bóia de alimentação do reservatório térmico e ligação do coletor ao ponto de banho, com dupla tubulação de água fria e quente, para estudar o sistema de forma mais acurada. Faz-se necessário também a introdução de alguns acessórios (registros, bóias, válvulas de retenção) para uma melhor operacionalidade do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BLISS, R.W., ***The derivations of several plate efficiency factors useful in the design of flat plate solar heat collectors***, *Solar Energy, 3, 55, 1959.*

CEMPRE (***COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM***) e ABIPET (***Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET***), Manual *Reciclagem & Negócios – PET, Enfardamento e revalorização de sucatas de PET,* 1997, São Paulo - SP.

CENSOLAR, ***La Energía Solar: Aplicaciones Prácticas***, Tercera edición, Sevilla, 1999. (30)

COMETA, E., ***Energia solar: utilização e empregos práticos, Editora*** Hemus, 127 p., São Paulo, 1978.

COSTA, R.N.A., **viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 2007.

CRISTOFARI, C. Et al., ***Modeling and performance of a copolymer solar water heating collector***, Solar Energy, v. 72: (2), p. 99-112, 2002.

DICKINSON, W.C., CHEREMISINOFF, P.N., ***Solar Energy Technology Handbook, Part B***, Marcel Dekker, New York, 03-30, 1980.

DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., ***Solar Engineering of Thermal Processes***, II edition, New York, John & Sons, 757 p.,1991.

GIL, M. C.; SANTOS, A.C., ***Energía solar térmica de baja temperatura***, CENSOLAR(Centro de Estudios de la Energia Solar), PROGENSA, Sevilla, 2001.

HOTTEL, H.C.; WILLIER, A., ***Evaluation of flat plate collector performance. In: Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy***, 2, *University of Arizona Press, 174, 1958.*

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

JÚNIOR, F.S., ***Otimização e Desempenho Térmico de um Coletor Solar Alternativo com Tubos Absorvedores de Cobre***, 1995. 150f. 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.

LEITE, P. R. Logística Reversa - Meio Ambiente e Competitividade, São Paulo: Prentice Hall, 2003. 246p.

LOURENÇO, J.M., ***Estudo de um Coletor Solar Alternativo, usando Tubos Absorvedores de Alumínio***, 1997. 144f. 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.

MANO, E. B., ***Polímeros como materiais de engenharia***, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 2000.

MATRAWY, K.K.; FARKAS, I., ***Comparison study for three types of solar collectors for water heating***, *Energy Convers. Manage, 38, 861-869, 1997.*

RAGAB, A.R.; ALAWI, H., ***Weathering effects on the fracture properties of polyvinyl pipes***, *Journal of Testing and Evaluation, 9: (1), 44-49, 200.1*

RIVERA, D.A.L., ***Projeto de Construção e Análise de Desempenho de um Coletor Solar Alternativo a Baixo Custo***, 1994. 127f. 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.

SHAH, L.J., ***Investigation and Modeling of Thermal Conditions in Low Flow SDHW Systems***, Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark, Report R-034, 1999.

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

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., ***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., 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, L.G.M., ***Alternative solar energy water heating system***, COBEM 2007 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília- 2007.

SOUZA, L.G.M., ***Low cost alternative solar collector with PVC tubes absorption surface*** COBEM 2005 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Ouro Preto – 2005.

SULLIVAN, F.R.; ELLEITHY, R.H.; ABU-ALI, A., ***Effect of thermal degradation on the impact properties of PVC compounds***, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 5: (4), 200-204, 1999.

Trends in Renewable Energies, SolarAcess.com, Canadian Association for Renewable Energies, 2005-2007.

VAN NIEKERK, W.M.K; Du TOIT, C.G.; SCHEFFLER, T.B., ***Performance modeling of a parallel tube polymer absorber***, *Solar Energy, 58, 39-44, 1996*.

VARELLA, F.K.O.M., ***Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no Distrito de Barão Geraldo – Campinas,*** Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas-São Paulo, 2004.

YACOV, T., ZEMEL, A., ***Long-term perspective on the development of solar energy***, *Solar Energy, 68: (5), 379-392, 2000.*

YAO, Q.; WILKIE, C.A., ***Thermal degradation of PVC in the presence of polystyrene***, *Journal Vinyl Additives Technological, 7: (1), 26-30, 2001*.

www.vick.com.br

www.projekte.org

www.mourabezerra.sites.uol.com.br

www.furg.br

www.sociedadedosol.org.br

www.ebanataw.com.br

www.abipet.org.br

ANEXO 1

1. CONFIGURAÇÃO I – COLETOR ALETADO + RTA1

As Tabelas a seguir mostram os dados medidos nos testes realizados para o levantamento de desempenho do coletor e sistema de aquecimento em estudo.

Tabela 17. Dados do primeiro dia de teste – Configuração I.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	30,0	38,5	8,5	0,65	0,38
9:00-10:00	30,5	40,1	9,6	0,72	0,39
10:00-11:00	31,2	41,1	9,9	0,74	0,39
11:00-12:00	31,5	41,6	10,1	0,74	0,40
12:00-13:00	32,1	41,8	9,7	0,75	0,38
13:00-14:00	32,6	41,2	8,6	0,72	0,35
14:00-15:00	32,3	41,0	8,7	0,65	0,39
15:00-16:00	32,6	39,0	6,4	0,63	0,30
MÉDIA	31,6	40,5	8,9	0,70	0,37

T mistura = 38,0°C

Tabela 18. Dados do segundo dia de teste - Configuração I.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,0	37,3	8,3	0,72	0,33
9:00-10:00	29,3	38,8	9,5	0,73	0,38
10:00-11:00	29,5	39,0	9,5	0,74	0,37
11:00-12:00	30,3	39,5	9,2	0,71	0,38
12:00-13:00	31,7	40,5	8,8	0,70	0,37
13:00-14:00	32,7	40,9	8,3	0,71	0,34
14:00-15:00	32,7	41,0	8,3	0,67	0,36
15:00-16:00	34,0	40,0	6,0	0,58	0,30
MÉDIA	31,1	39,5	8,5	0,70	0,35

T mistura = 37,0°C

Tabela 19. Dados do terceiro dia de teste - Configuração I.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,9	37,5	8,6	0,65	0,39
9:00-10:00	29,3	39,0	9,7	0,72	0,39
10:00-11:00	30,4	40,0	9,6	0,75	0,37
11:00-12:00	30,5	40,5	10,0	0,75	0,39
12:00-13:00	31,0	40,5	9,5	0,75	0,37
13:00-14:00	31,3	40,5	9,2	0,75	0,36
14:00-15:00	32,0	40,0	8,0	0,65	0,36
15:00-16:00	33,0	39,0	6,0	0,55	0,32
MÉDIA	31,0	40,1	8,8	0,70	0,37

T mistura = 37,5°C

2. CONFIGURAÇÃO II – COLETOR SEMI-ABERTO + RTA1

Tabela 20. Dados do primeiro dia de teste – Configuração II.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,5	36,0	7,5	0,65	0,34
9:00-10:00	29,0	37,0	8,0	0,70	0,33
10:00-11:00	29,5	38,0	8,5	0,70	0,35
11:00-12:00	30,0	38,5	8,5	0,75	0,33
12:00-13:00	30,2	38,6	8,4	0,74	0,33
13:00-14:00	31,0	39,0	8,0	0,72	0,32
14:00-15:00	32,0	39,4	7,4	0,72	0,30
15:00-16:00	33,0	39,0	6,0	0,60	0,29
MÉDIA	30,4	38,2	7,8	0,70	0,32

T mistura = 35,3 °C

Tabela 21. Dados do segundo dia de teste – Configuração II.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,5	37,0	7,5	0,65	0,33
9:00-10:00	30,1	38,0	7,9	0,72	0,32
10:00-11:00	30,3	38,6	8,4	0,75	0,32
11:00-12:00	30,7	39,2	8,5	0,75	0,33
12:00-13:00	31,0	39,2	8,2	0,75	0,32
13:00-14:00	31,2	40,5	9,3	0,75	0,36
14:00-15:00	31,6	39,9	8,3	0,65	0,37
15:00-16:00	31,8	37,3	5,5	0,55	0,29
MÉDIA	30,8	38,7	7,9	0,70	0,33

T mistura = 35,2 °C

Tabela 22. Dados do terceiro dia de teste – Configuração II.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,0	34,5	6,5	0,65	0,29
9:00-10:00	28,3	35,5	7,2	0,72	0,29
10:00-11:00	28,5	36,0	7,5	0,72	0,30
11:00-12:00	29,0	37,0	8,0	0,72	0,32
12:00-13:00	29,5	38,0	8,5	0,72	0,34
13:00-14:00	30,0	38,5	8,5	0,71	0,35
14:00-15:00	30,5	38,6	8,1	0,71	0,33
15:00-16:00	30,5	37,0	6,5	0,62	0,31
MÉDIA	29,3	36,9	7,6	0,70	0,32

T mistura = 35,3 °C

3. CONFIGURAÇÃO III – COLETOR COM LATAS FECHADAS + RTA1

Tabela 23. Dados do primeiro dia de teste – Configuração III.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,0	34,0	6,0	0,72	0,24
9:00-10:00	29,0	35,0	6,0	0,74	0,24
10:00-11:00	29,7	36,0	6,3	0,75	0,24
11:00-12:00	30,3	37,0	6,7	0,75	0,26
12:00-13:00	31,0	37,5	6,5	0,73	0,26
13:00-14:00	31,3	37,5	6,2	0,71	0,25
14:00-15:00	31,0	37,0	6,0	0,69	0,25
15:00-16:00	31,0	35,0	4,0	0,58	0,20
MÉDIA	30,2	35,9	6,0	0,71	0,24

T mistura = 33,5 °C

Tabela 24. Dados do segundo dia de teste – Configuração III.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,4	35,5	6,1	0,66	0,27
9:00-10:00	30,1	36,8	6,7	0,70	0,28
10:00-11:00	30,2	37,1	6,9	0,74	0,27
11:00-12:00	30,4	37,3	6,9	0,74	0,27
12:00-13:00	30,7	37,4	6,7	0,74	0,26
13:00-14:00	31,2	37,0	5,8	0,74	0,23
14:00-15:00	31,5	36,4	4,9	0,65	0,22
15:00-16:00	32,0	36,4	4,4	0,55	0,23
MÉDIA	30,7	36,7	6,0	0,69	0,25

T mistura = 33,5 °C

Tabela 25. Dados do terceiro dia de teste – Configuração III.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,1	34,5	6,4	0,65	0,28
9:00-10:00	28,7	35,5	6,8	0,70	0,28
10:00-11:00	29,2	36,0	6,8	0,75	0,26
11:00-12:00	29,7	37,0	7,3	0,76	0,28
12:00-13:00	30,2	37,0	6,8	0,76	0,26
13:00-14:00	31,0	37,0	6,0	0,76	0,23
14:00-15:00	32,1	37,0	4,9	0,71	0,20
15:00-16:00	32,0	36,5	4,5	0,60	0,22
MÉDIA	30,1	36,3	6,2	0,71	0,25

T mistura = 33,8 °C

4. CONFIGURAÇÃO IV – COLETOR ALETADO +COLETOR COM LATAS VAZADAS + RTA2

Tabela 26. Dados do primeiro dia de teste – Configuração IV.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,5	38,5	10,0	0,66	0,17
9:00-10:00	29,5	40,0	10,5	0,70	0,17
10:00-11:00	30,5	41,3	10,8	0,73	0,16
11:00-12:00	32,0	43,7	11,7	0,75	0,17
12:00-13:00	35,0	45,3	10,3	0,75	0,15
13:00-14:00	38,0	47,0	9,0	0,73	0,14
14:00-15:00	39,3	46,0	6,7	0,66	0,11
15:00-16:00	40,0	46,0	6,0	0,58	0,11
MÉDIA	34,1	43,5	9,4	0,70	0,15

T mistura = 43,5 °C

Tabela 27. Dados do segundo dia de teste – Configuração IV.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,0	39,6	10,6	0,65	0,18
9:00-10:00	30,0	41,2	11,2	0,72	0,17
10:00-11:00	30,5	42,6	12,1	0,75	0,18
11:00-12:00	32,0	44,5	12,5	0,75	0,18
12:00-13:00	35,0	45,8	10,8	0,75	0,16
13:00-14:00	38,0	46,5	8,5	0,73	0,13
14:00-15:00	40,0	45,6	5,6	0,65	0,09
15:00-16:00	40,1	44,7	4,6	0,60	0,08
MÉDIA	34,3	43,8	9,5	0,7	0,15

T mistura = 44,0 °C

Tabela 28. Dados do terceiro dia de teste – Configuração IV.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	30,0	42,0	12,0	0,66	0,20
9:00-10:00	32,0	44,0	12,0	0,72	0,18
10:00-11:00	33,7	46,3	12,5	0,75	0,18
11:00-12:00	35,9	46,8	11,0	0,75	0,16
12:00-13:00	37,6	46,9	9,3	0,74	0,14
13:00-14:00	39,6	46,8	7,2	0,72	0,11
14:00-15:00	40,2	46,0	5,9	0,66	0,10
15:00-16:00	41,3	45,1	3,8	0,56	0,08
MÉDIA	36,3	45,5	9,2	0,70	0,15

T mistura = 43,0 °C

5. CONFIGURAÇÃO V COLETOR COM LATAS VAZADAS + COLETOR ALETADO + RTA2

Tabela 29. Dados do primeiro dia de teste – Configuração V.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,1	40,4	12,2	0,65	0,21
9:00-10:00	28,7	42,5	13,9	0,72	0,21
10:00-11:00	30,0	44,6	14,6	0,75	0,21
11:00-12:00	31,4	45,9	14,5	0,75	0,21
12:00-13:00	34,1	47,4	13,3	0,75	0,20
13:00-14:00	36,2	48,0	11,8	0,74	0,18
14:00-15:00	39,6	47,6	8,0	0,65	0,14
15:00-16:00	41,2	46,3	5,1	0,55	0,10
MÉDIA	33,7	45,3	11,6	0,70	0,18

T mistura = 44,5 °C

Tabela 30. Dados do segundo dia de teste – Configuração V.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,0	36,0	8,0	0,65	0,14
9:00-10:00	29,0	38,0	9,0	0,72	0,14
10:00-11:00	29,5	42,5	13,0	0,75	0,19
11:00-12:00	30,5	45,1	14,6	0,76	0,21
12:00-13:00	31,5	45,7	14,2	0,75	0,21
13:00-14:00	32,5	46,5	14,0	0,71	0,22
14:00-15:00	34,0	46,0	12,0	0,68	0,19
15:00-16:00	36,0	45,6	9,6	0,55	0,19
MÉDIA	33,7	45,3	11,6	0,70	0,19

T mistura = 44,6 °C

Tabela 31. Dados do terceiro dia de teste – Configuração V.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,0	39,1	11,0	0,65	0,19
9:00-10:00	28,5	39,9	11,4	0,71	0,18
10:00-11:00	29,5	43,0	13,5	0,74	0,20
11:00-12:00	30,5	44,0	13,5	0,74	0,20
12:00-13:00	32,8	44,9	12,2	0,74	0,18
13:00-14:00	34,4	46,0	11,6	0,72	0,18
14:00-15:00	36,4	46,0	9,6	0,67	0,16
15:00-16:00	37,6	45,0	7,4	0,57	0,14
MÉDIA	32,2	43,5	11,3	0,69	0,18

T mistura = 44,1 °C

6. CONFIGURAÇÃO VI COLETOR ALETADO DUPLO + RTA2

Tabela 32. Dados do primeiro dia de teste – Configuração VI.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,5	43,0	14,5	0,65	0,25
9:00-10:00	29,5	45,0	15,5	0,70	0,24
10:00-11:00	30,4	46,0	15,6	0,75	0,23
11:00-12:00	33,0	47,5	14,5	0,76	0,21
12:00-13:00	36,5	49,6	13,1	0,76	0,19
13:00-14:00	39,5	51,0	11,5	0,72	0,17
14:00-15:00	41,0	51,0	10,0	0,68	0,16
15:00-16:00	43,2	50,0	6,8	0,55	0,14
MÉDIA	35,2	47,9	12,7	0,70	0,20

T mistura = 46,2 °C

Tabela 33. Dados do segundo dia de teste – Configuração VI.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,0	41,2	13,2	0,65	0,22
9:00-10:00	30,0	44,0	14,0	0,72	0,21
10:00-11:00	32,0	46,0	14,0	0,75	0,21
11:00-12:00	34,0	48,0	14,0	0,75	0,21
12:00-13:00	36,0	50,0	14,0	0,75	0,21
13:00-14:00	38,0	50,0	12,0	0,75	0,18
14:00-15:00	40,0	51,0	11,0	0,67	0,18
15:00-16:00	42,0	51,0	9,0	0,55	0,18
MÉDIA	35,0	47,7	12,7	0,70	0,20

T mistura = 46,0 °C

Tabela 34. Dados do terceiro dia de teste – Configuração VI.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,5	43,0	14,5	0,65	0,25
9:00-10:00	29,5	45,0	15,5	0,72	0,24
10:00-11:00	30,5	47,0	16,5	0,75	0,24
11:00-12:00	33,0	49,0	16,0	0,75	0,23
12:00-13:00	36,0	51,0	15,0	0,75	0,22
13:00-14:00	39,0	50,5	11,5	0,71	0,18
14:00-15:00	42,0	50,5	8,5	0,67	0,14
15:00-16:00	43,2	50,0	6,8	0,58	0,13
MÉDIA	35,2	48,2	13,0	0,70	0,21

T mistura = 46,4 °C

7. CONFIGURAÇÃO VII COLETOR ALETADO DUPLO + RTA1

Tabela 35. Dados do primeiro dia de teste – Configuração VII.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	28,8	43,0	14,2	0,65	0,32
9:00-10:00	30,0	46,5	16,5	0,70	0,34
10:00-11:00	31,0	47,5	16,5	0,75	0,32
11:00-12:00	32,0	49,0	17,0	0,76	0,32
12:00-13:00	33,0	50,0	17,0	0,76	0,32
13:00-14:00	35,0	50,5	15,5	0,72	0,31
14:00-15:00	38,0	49,0	11,0	0,68	0,23
15:00-16:00	38,5	48,5	10,0	0,55	0,26
MÉDIA	35,7	47,1	14,7	0,70	0,31

T mistura = 43,5 °C

Tabela 36. Dados do segundo dia de teste – Configuração VII.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,8	44,3	14,5	0,65	0,32
9:00-10:00	30,3	46,8	16,6	0,72	0,33
10:00-11:00	30,7	48,5	17,8	0,75	0,34
11:00-12:00	31,3	49,0	17,7	0,75	0,34
12:00-13:00	32,0	49,2	17,2	0,75	0,33
13:00-14:00	32,9	48,1	15,2	0,75	0,29
14:00-15:00	34,3	46,6	12,3	0,67	0,27
15:00-16:00	35,4	46,0	10,6	0,55	0,28
MÉDIA	32,1	47,3	15,2	0,70	0,32

T mistura = 44,0 °C

Tabela 37. Dados do terceiro dia de teste – Configuração VII.

TEMPO (HORA)	TENTRADA (°C)	TSAÍDA (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m²)	ηt (%)
8:00 - 9:00	29,2	43,8	14,6	0,65	0,33
9:00-10:00	29,9	46,5	16,5	0,72	0,33
10:00-11:00	30,8	47,0	16,3	0,75	0,31
11:00-12:00	31,7	48,3	16,6	0,75	0,32
12:00-13:00	32,0	49,0	17,0	0,75	0,33
13:00-14:00	32,4	48,1	15,7	0,71	0,32
14:00-15:00	34,7	45,9	11,2	0,67	0,24
15:00-16:00	37,3	44,1	6,8	0,58	0,17
MÉDIA	32,2	46,6	14,3	0,70	0,30

T mistura = 43,0 °C

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo