

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

MARCOS ROBERTO CARDOSO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA
CONSTRUÇÃO DE COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO
2018

MARCOS ROBERTO CARDOSO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA
CONSTRUÇÃO DE COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de graduação, do Curso Superior de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Professor Doutor Bruno Arantes Moreira

Coorientadora: Danielly Leticia Rebelato

FRANCISCO BELTRÃO
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Campus Francisco Beltrão
Curso de Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONSTRUÇÃO DE COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO

por

Marcos Roberto Cardoso Junior

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 10h horas e 00 min., do dia 08 de junho de 2018, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho _____ (Aprovado ou Reprovado).

Banca Avaliadora:

Dr. André Zuber

Coordenador do Curso

Dr. Bruno Arantes Moreira

Professor Orientador

Dr. Jeconias Rocha Guimarães

Membro da Banca

Danielly Leticia Rebelato

Professora Coorientadora

Dr. Michele Di Domenico

Professora do TCC2

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela infinita providência e principalmente pela graça da esperança na vitória certa dos obstáculos enfrentados até aqui, ao ministério Universidades Renovadas por fazer parte da minha graduação e mostrar que a fé e a razão podem e devem caminhar juntas.

Agradeço a minha mãe e meu pai pelo dom da vida e a minha família por todo ensinamento e virtudes plantadas no meu coração que hoje colho com alegria.

Agradeço também aos meus amigos e professores que foram sustento nas horas adversas. Deixo, de forma publica, meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr Bruno Arantes pela sabedoria, paciência e zelo com que me guiou nessa árdua missão, a Danielly L. pelo apoio e ajuda como coorientadora deste projeto, ao amigo Paulo H. pela amizade, ajuda e direcionamento em vários aspectos do presente trabalho e ao amigo e padrinho Gustavo Ginter Fey por sua leal amizade e enfim por todos que de alguma forma influenciaram para a elaboração deste trabalho.

E por fim, não menos especial que os outros, agradeço a minha querida e amada, amiga, conselheira, porto seguro e fiel esposa Dayane Dal Vesco Cardoso, que nos momentos em que pensei em desistir ela estava lá para me amparar e dizer que eu poderia mais.

RESUMO

CARDOSO, Marcos Roberto Junior. Avaliação Da Eficiência De Materiais Alternativos Na Construção De Coletores Solares De Baixo Custo. 2018 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de graduação em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2018.

Com os avanços da tecnologia e as perspectivas de crescimento da população ao longo do tempo, verifica-se a necessidade cada vez maior por demandas energéticas, que associem a geração de energia com sustentabilidade e baixo custo. Em busca de atender essa necessidade energética, diversos estudos têm sido realizados para desenvolver práticas alternativas de forma a utilizar energias sustentáveis e renováveis provenientes dos recursos naturais. Dentre as fontes de energia encontra-se em destaque a energia solar, por apresentar uma energia limpa, renovável e não poluente. Desta forma, este trabalho visou estudar coletores solares alternativos, que utilizam a radiação solar para aquecer a água e diminuir o uso de energia provida da rede elétrica para aquecer a água de chuveiros elétricos. E teve como objetivo estudar materiais alternativos para a fabricação de coletores solares, especificadamente o PVC e Polietileno e através dos resultados, comparou-se com a literatura, pois apresentaram excelente eficiência e alcançaram temperaturas maiores que a do corpo humano, tornando a água agradável para banho em dias ensolarados. Os resultados também indicam o quanto a cor do coletor influencia na eficiência e que os projetos de coletores solares alternativos podem substituir de forma satisfatória os coletores solares convencionais.

Palavras-chave: Coletor solar; PVC; Polietileno.

ABSTRACT

CARDOSO, Marcos Roberto Junior. Evaluation of the Efficiency of Alternative Materials in the Construction of Low Cost Solar Collectors. 2018 36 f. Graduation Course in Chemical Engineering - Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2018

With advances in technology and the prospects of population growth over time, there is a growing need for energy demands that associate energy generation with sustainability and low cost. In order to meet this energy need, several studies have been carried out to develop alternative practices in order to use sustainable and renewable energies from natural resources. Among the energy sources, solar energy is highlighted, as it presents a clean, renewable and non-polluting energy. In this way, this work aims to study alternative solar collectors, which use solar radiation to heat the water and reduce the use of energy provided by the electricity grid to heat the water of electric showers. The objective of this study was to study alternative materials for the manufacture of solar collectors, specifically PVC and Polyethylene and, through the results, compared with the literature, because they presented excellent efficiency and reached higher temperatures than the human body, making the water pleasant for bathing on sunny days. The results also indicate how much the collector color influences efficiency and that alternative solar collector designs can satisfactorily replace conventional solar collectors.

Keywords: Solar collectors; PVC; Polyethylene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formas de utilização da energia solar.	7
Figura 2- Componentes da radiação solar incidente na Terra.....	8
Figura 3 - Tipos de coletores solares	10
Figura 4 - Concentrador Sistema Torre Solar.....	11
Figura 5- Concentrador Sistema Torre Solar.....	11
Figura 6 - Concentrador Sistema Linear Fresnel.....	12
Figura 7- Concentrador Sistema Linear Fresnel.....	12
Figura 8 - Flate Plate Collector.....	13
Figura 9- Evacuated Tube Collector.....	14
Figura 10 - Compound Parabolic Collector.....	14
Figura 11- Aquecedor Solar Plano.	15
Figura 12 - Coletor Solar Fechado e Aberto.....	16
Figura 13 - Aquecedor Solar de forma espiral.....	17
Figura 14 - SISTEMA ASBC.....	19
Figura 15 - Configuração das Placas	21
Figura 16 - Tubos de PVC.....	22
Figura 17- Tubos de Polietileno.....	23
Figura 18 - Tubos prontos para receber água e o termômetro para coleta de dados Fonte O autor, 2018.	23
Figura 19 - Termômetro Digital.....	24
Figura 20 - Valores das temperaturas coletadas nos seus respectivos horários.....	26
Figura 21 - Valores das temperaturas dos tubos de PVC e PVC pintado coletadas nos seus respectivos horários	27
Figura 22 - Valor da porcentagem de aumento da temperatura alcançada pelo tudo de PVC Pintado para o tubo de PVC normal.....	29
Figura 23 - Variação da radiação e sua influência na porcentagem de aumento da temperatura do PVC pintado em relação ao normal	30
Figura 24 - Valores das temperaturas do tubo de PVC pintado e do Polietileno coletadas nos seus respectivos horários.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores do Albedo para Diferentes Tipos de Superfície.....	8
Tabela 2 - Características dos diferentes coletores	14
Tabela 3 - Coleta de dados nos seus respectivos horários.....	25
Tabela 4 - Coleta de dados nos seus respectivos horários e a porcentagem de aumento da temperatura com a utilização da tinta preta.....	28
Tabela 5 - Radiação Solar.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	5
3. JUSTIFICATIVA	5
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
4.1 A RADIAÇÃO SOLAR	7
4.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	9
4.3 TECNOLOGIA TÉRMICA.....	9
4.3.1 Concentradores solares.....	10
4.3.2 Não-concentradores solares.....	12
4.4 COLETORES PLACA PLANA	15
4.5 COLETORES DE PLACA PLANA ALTERNATIVOS	17
5. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	21
5.2 COLETA DE DADOS	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6.1 DADOS COLETADOS	25
6.2 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO PVC E DO PVC PINTADO.....	27
6.3 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO PVC PINTADO E DO POLIETILENO	30
6.4 COMPARAÇÃO COM OS DADOS OBTIDOS E A LITERATURA	32
6.5 AVALIAÇÃO DE PREÇOS E PROJETOS	33
7. CONCLUSÕES	34
7.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	34
8. REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e o crescimento populacional ao longo do tempo influencia diretamente na necessidade de energia, principalmente, as que associem a geração de energia com sustentabilidade e baixo custo (SOUZA, 1994).

Em busca de atender essa necessidade energética, diversos estudos têm sido realizados para desenvolver práticas alternativas de forma a utilizar energias sustentáveis e renováveis provenientes dos recursos naturais. Dentro destas especificações, pode-se encontrar as energias provenientes do sol, do vento, das biomassas, hídricas e geotérmicas.

Diante deste cenário, o Sol se destaca, por apresentar uma energia limpa, renovável e não poluente. Em comparação com a Europa, o Brasil está localizado em uma região privilegiada (entre a linha do Equador e o trópico de Capricórnio). É um país que pode beneficiar-se com a utilização desta fonte sustentável buscando novas tecnologias e aprimorando equipamentos (MORAES, 2010).

Baixar o custo e gastos da energia convencional é uma meta para o Brasil e o uso da energia solar pode auxiliar nesta redução. Desde a década de 60 o Brasil utiliza a tecnologia do aquecedor solar, mas na década de 90 essa tecnologia ganhou espaço com as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e com o surgimento de laboratórios especializados como a ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento). (SOLETROL, 2017; MORAES, 2010).

No entanto, mesmo com as vantagens que o Brasil possui em utilizar essa tecnologia, informações do Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL), indicam que o Brasil não ocupa uma posição favorável no mercado internacional quando comparado com países europeus e asiáticos (AZEVEDO 2007; BESTETI, 2007).

Sendo assim, vários estudos têm sido realizados no país para melhorar o uso dos aquecedores solares alternativos, tanto na sua construção, quanto nos materiais utilizados para a fabricação do mesmo, sem perder o seu rendimento térmico e desempenho quando o assunto é transformar, conservar energia e se assemelhar aos aquecedores solares convencionais. (MORAES, 2010)

Os gastos de energia convencional dentro de indústrias, residências, estabelecimentos comerciais e afins, acaba sendo alto quando o assunto tratado é quantidade de pessoas e aquecimento de água. No mercado existem os aquecedores solares convencionais, onde suas placas coletoras de radiação solar são feitas de cobre, metal e materiais que aumentam a eficiência, porém com um alto valor agregado. Há também os alternativos, feitos de materiais recicláveis e/ou de baixo custo. (BURITY, 2012; SOLETROL 2017)

Os aquecedores solares, bem como suas placas coletoras, convencionais presentes no mercado, por questão de maior rendimento, buscam a melhor conversão da energia solar. Por este motivo os materiais utilizados na sua fabricação, são adquiridos com alto valor (US\$ 100/m²), sendo mais caro quando comparado ao chuveiro elétrico. Em vista disso, a obtenção, instalação e manutenção do mesmo não é compatível com a maioria das rendas familiares encontradas no Brasil. Desta forma, impossibilitando que haja o aproveitamento dessa tecnologia de forma expressiva por parte da maioria da população. (SOLETROL, 2017)

O conhecimento associado com o uso da tecnologia solar ainda é restrito ao público acadêmico e pesquisadores, de forma que nem todos podem usufruir deste bem. Além disso, um dos grandes responsáveis pelo consumo residencial de energia elétrica, o chuveiro elétrico, possui um valor relativamente acessível (preços entre R\$ 20,00 a R\$ 300,00), o que dificulta ainda mais o estímulo para a utilização de captadores solares. (LEROYMERLIN, S/A)

As tubulações e infraestrutura elétrica de uma residência é limitada quando o assunto é instalação para coletores solares, pois, as tubulações são previamente pensadas em cima dos chuveiros convencionais.

Os coletores solares podem ser adquiridos de várias formas, uma delas é a aquisição por meio de um coletor convencional, comprado comercialmente. A outra é buscar uma forma alternativa, de baixo custo e que mesmo assim alcance um rendimento aceitável. A utilização do mesmo, diminui consideravelmente a emissão de CO₂ (dióxido de carbono), os impactos ambientais e aumenta a conservação dos recursos hídricos. Há também a possibilidade de influenciar a aplicação e o reuso de materiais recicláveis. (SIQUEIRA, 2009)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da utilização de tubos de Plicroleto de Vinila (PVC) e Polietileno para serem utilizados como como material alternativo na construção de um coletor solar e comparar com as tubulações comumente utilizadas nos coletores convencionais, através da literatura.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar a viabilidade do PVC e do Polietileno para a construção de coletores solares alternativos;
- Avaliar o quanto a tinta preta pode influenciar na variação da temperatura da água dentro dos tubos de PVC;
- Comparar os resultados obtidos com a literatura e com os coletores convencionais utilizados no mercado.

3. JUSTIFICATIVA

Os coletores solares podem ser convencionais, como já descrito acima, comprado comercialmente ou de forma alternativa, de baixo custo sem perder seu rendimento. A utilização do mesmo colabora com a diminuição da poluição ambiental. Há a possibilidade de influenciar a aplicação e o reuso de materiais recicláveis.

Com o desenvolvimento e análise de coletores solares alternativos (que podem ser desenvolvidos com materiais com baixo custo ou recicláveis) permitirá o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e de menor custo, bem como, uma maior conscientização acerca do assunto.

Neste contexto, torna-se claro a importância de analisar o rendimento de alguns materiais que podem ser utilizados na construção de coletores alternativos e comparar com os convencionais. Desta forma, a justificativa deste trabalho se dá pelo fato da necessidade de avaliar a viabilidade da Avaliar a viabilidade da utilização de materiais

de baixo custo em um captador solar alternativo, porém que ainda possua um bom aproveitamento da energia solar.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia é uma necessidade imprescindível para a vida humana (PALZ, 2002). Todas as espécies presentes na terra buscam alimentos e formas de armazenar energia para suprir a energia química responsável por sua sustentação vital.

A maneira como os seres vivos vivem e a forma em que são construídos seus lares, são algumas formas de armazenar e reduzir gastos de energia.

Toda ação, tomada de decisão e comportamento, são expressões da existência de energia em cada ser, por este motivo, diversos estudos têm sido realizados para descobrir mais sobre as maneiras de conversão, geração e armazenamento de energia. (PRADO, 2011).

Como premissa de suprir a necessidade de energia, são conhecidas atualmente, várias formas e tecnologias para aquisição energética, como: solar, eólica biomassa, hídrica e geotérmica. (MORAES, 2010).

Dentre as diversas formas de energia, a solar ganha espaço entre as mais importantes dentro do conhecimento humano. Tal forma de energia é renovável, inesgotável e principalmente não poluente. Diferentemente de outras fontes de energia, ainda hoje utilizadas, que ocasionam uma poluição exagerada para o meio ambiente, como a queima de combustíveis fósseis. (PRADO, 2011).

A Figura 1 mostra as formas de utilização da energia solar pelo homem.

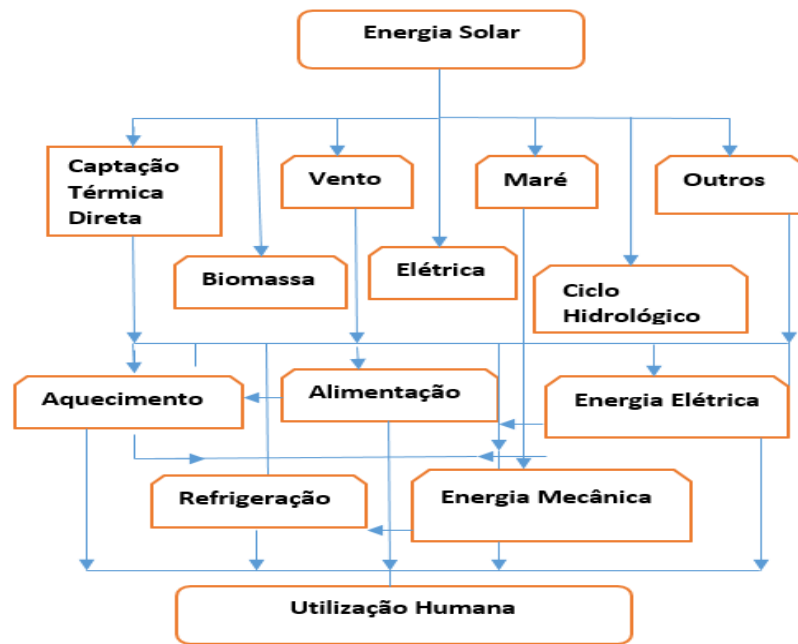


Figura 1- Formas de utilização da energia solar.
Fonte: Souza, 1994.

A radiação solar é essencial para toda a vida na Terra, sua utilização nas diversas áreas de estudos acadêmicos sobre como absorvê-la de forma mais eficaz e como transformá-la para satisfazer as necessidades humanas tem ganhado espaço. Dentro desse campo de pesquisas foram desenvolvidos projetos essenciais de captar a energia solar e transformá-la, sendo eles: os processos térmicos e os fotovoltaicos. (SIQUEIRA, 2009).

4.1 A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é originada do Sol, sua temperatura na região da fotosfera é cerca de 5800 K (Kelvin), com comprimento de onda na faixa de $0,3 \mu\text{m}$ a $3,0 \mu\text{m}$ e pico de emissão aproximadamente de $0,50 \mu\text{m}$, esta radiação classifica-se como radiação de onda curta. A radiação de onda longa é originada de fontes que estão na temperatura ambiente ou próximas e, portanto, com comprimentos de ondas acima de $3,0 \mu\text{m}$. O comprimento de onda longa é obtido da radiação emitida pela atmosfera e pelas superfícies retentoras de energia existentes na Terra, como o solo e os coletores solares. Pode-se classificar a radiação solar como direta e difusa. (SIQUEIRA, 2009)

A radiação solar direta é a radiação solar recebida do Sol sem sofrer ação das partículas constituintes da atmosfera. A radiação solar difusa é a radiação solar recebida do Sol depois de sofrer mudança na sua direção original e pode ser caracterizada pela reflexão ou espalhamento devido a interação com atmosfera. Pode-se calcular a radiação solar incidente (global), que é a soma da radiação difusa mais a radiação direta. (SIQUEIRA, 2009)

A Figura 2 apresenta de forma ilustrativa o explicado acima.

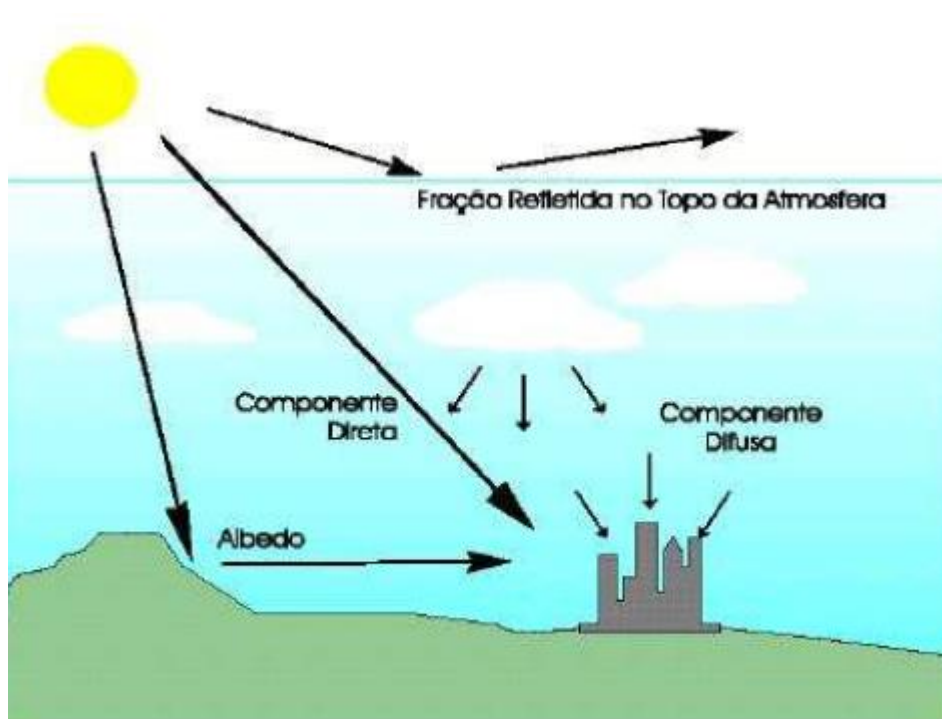


Figura 2- Componentes da radiação solar incidente na Terra.
Fonte: Siqueira, 2009.

A radiação Albedo é definida como a parcela de radiação que é refletida após atingir o solo, por existirem vários tipos de solos, suas absorções variam de acordo com região, coloração e especificidade. A tabela a seguir, Tabela 1, apresenta os tipos de superfícies e seus respectivos Albedos. (SIQUEIRA, 2009)

Tabela 1- Valores do Albedo para Diferentes Tipos de Superfície

Tipos de Superfície	Albedo (%)
Solo negro e seco	14
Solo nu	7 a 20
Areia	15 a 25
Florestas	3 a 10

Campos Naturais	3 a 15
Campos de cultivo seco	20 a 25
Gramados	15 a 30
Neve recém caída	80
Neve caída há semanas	50 a 70
Água com altura solar > 40°	2 a 4
Água com altura solar < 30°	6 a 40
Cidades	4 a 18

Fonte: Ríspoli, 2008.

As superfícies mais escuras e cidades apresentam menores Albedos comparadas com as superfícies mais claras como as Neves.

4.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica, baseia-se na utilização de placas solares com semicondutores. Tais materiais transformam diretamente os fótons de energia da radiação solar em energia elétrica. (SIQUEIRA, 2009)

Com grande potencial para obtenção de energia através da radiação solar, as células fotovoltaicas têm grande espaço nos estudos e pesquisas no campo da energia. Esses sistemas são de grande confiabilidade e econômicos, comparado com outras tecnologias energéticas importantíssimas. Pode-se ter sistemas em rede ou de modo independente. Países de terceiro mundo tem utilizado essa tecnologia para suprir suas necessidades energéticas, principalmente em áreas rurais. (COSTA, 2007)

4.3 TECNOLOGIA TÉRMICA

Segundo Almeida (2013), a utilização da energia solar através da tecnologia solar térmica, pode ser por meio de três tipos de mecanismos, sendo eles: conversão de energia de radiação para calor, de calor para energia térmica e de energia mecânica para eletricidade.

A conversão de radiação térmica para energia térmica ocorre por meio dos coletores solares e estes podem ser divididos em duas categorias: concentradores ou não-concentradores.

A Figura 3 ilustra os principais tipos de coletores solares existentes e suas respectivas classificações:

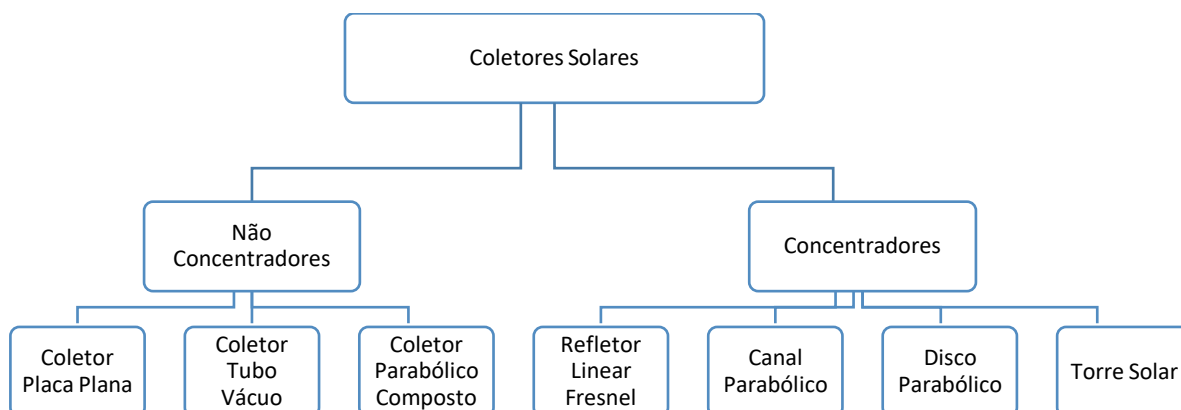


Figura 3 - Tipos de coletores solares
Fonte: O Autor, 2018.

Concentradores solares convergem a energia radiante em um ponto ou uma linha, aquecendo os fluidos de interesse com alto rendimento e alcançam altas temperaturas. Tais coletores podem ser utilizados para geração de energia elétrica e dessalinização de água salobra. (ALMEIDA, 2013)

Os coletores que não são concentradores, convertem a radiação solar diretamente em energia térmica e são utilizados para o aquecimento de água de residências. Hoje, essa tecnologia é a mais utilizada no mercado. (ALMEIDA, 2013)

4.3.1 Concentradores Solares

Os quatro tipos de concentradores solares mais utilizados atualmente são em forma de: Torre Solar, Canal Parabólico, Linear Fresnel e Disco Parabólico. Todos diferem entre si em várias características como: construção, formato dos espelhos, movimentação em relação ao Sol e a temperatura atingida.

- **SISTEMA TORRE SOLAR:** Utiliza heliostatos, campos circulares ou semicirculares, de espelhos de grandes dimensões e realizam um seguimento individual do Sol a dois eixos, de forma a concentrar a radiação solar em um receptor central montado no topo de uma torre, utiliza-se principalmente como fluido de trabalho o sal fundido e o vapor de água, conforme Figura 4. (SILVA, 2011)



Figura 4 - Concentrador Sistema Torre Solar
Fonte: Silva, 2011.

- **SISTEMA DE CANAL PARABÓLICO:** Utiliza espelhos refletores com forma de cilindro parabólico e concentra a radiação solar num tubo receptor. O líquido de transferência de calor é um óleo sintético que circula dentro do tubo metálico do elemento coletor de calor, conforme Figura 5. (SILVA, 2011)



Figura 5- Concentrador Sistema Torre Solar
Fonte: Silva, 2011.

- **REFLETOR LINEAR FRESNEL:** Possui um conjunto de espelhos planos, arranjados em filas e direciona a radiação solar para um tubo receptor situado acima dos espelhos, conforme apresentado a seguir na Figura 6. (SILVA, 2011)



Figura 6 - Concentrador Sistema Linear Fresnel
Fonte: Silva, 2011.

- **SISTEMAS DE DISCO PARABÓLICO:** Com um receptor no foco do espelho, esse sistema movimenta-se em conjunto com os coletores e o rastreo solar, conforme apresentado na Figura 7. (SILVA, 2011)



Figura 7- Concentrador Sistema Linear Fresnel
Fonte: Silva, 2011.

4.3.2 Não-Concentradores solares

Segundo Maranhão (2014), estes coletores utilizam a radiação solar principalmente para convertê-la em energia térmica, aquecendo água residencial. Trazendo uma diminuição no gasto da energia convencional utilizado em residências, esta tecnologia tem uma fácil utilização e aquisição podendo ser utilizado coletores convencionais ou alternativos, feitos com materiais recicláveis.

- COLETORES PLACA PLANA: Conhecidos no termo inglês como Flat Plate Collectors (FPC), este tipo de coletor alcança intervalos de temperatura de aquecimento do fluido de 30 a 80°C e possuem tubos que absorvem a energia térmica, onde o fluido circula e aquece. É disposto um vidro a uma certa distância dos tubos de circulação, para evitar as perdas de calor para a atmosfera por meio da radiação e convecção e possui um isolamento de fundo para evitar a perda por condução dos tubos para o fundo do coletor. Este tipo de coletor pode ser fabricado a partir de materiais recicláveis, conforme apresentado na Figura 8 (MARANHÃO, 2014).



Figura 8 - Fplate Plate Collector.

Fonte: <<https://www.renewableenergyhub.co.uk/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors.html>>. Acesso em abril 2018.

- COLETORES TUBO VÁCUO: Conhecidos como Evacuated Tube Collector (ETC), são compostos de tubos de vidros duplos concêntricos evacuados e esses tubos envolvem um tubo de cobre, por onde circula a água a ser aquecida. Seu rendimento é consideravelmente alto comparado com os coletores de placas planas e a temperatura da água pode chegar a 200°C, Figura 9. (MARANHÃO, 2014)



Figura 9- Evacuated Tube Collector.

Fonte: <<http://mbztech.com/2017/11/26/evacuated-tube-collector/>>. Acesso em abril 2018.

- **COLETORES PARABÓLICOS:** Conhecidos como Compound Parabolic Collector (CPC), são compostos por tubos absorvedores onde circula a água, possuem um vidro acima da estrutura, por onde entra a radiação solar e evita a perda por convecção e condução para a atmosfera, criando uma estufa, aumenta o rendimento de absorção de calor, Figura 10. (MARANHÃO, 2014)



Figura 10 - Compound Parabolic Collector

Fonte: <<http://www.mdpi.com/1996-1944/10/8/888/htm>>. Acesso em abril 2018.

A Tabela 2, apresentada abaixo, descreve os tipos de coletores solares não concentradores bem como suas características e faixas de temperaturas que alcançam.

Tabela 2 - Características dos diferentes coletores

Tipo de Coletor (Receptor)	Tipo de Concentrador (Absorvedor)	Intervalo de Temperatura (°C)
Coletor de Placa Plana (Flat Plate Collector)	Plano	30 – 80
Coletor Tubo de Vácuo (Evacuated Tube Collector)	Tubular	50 – 200

Coletor Parabólico Composto (Compound Parabolic Collector)	Tubular	60 – 240
---	---------	----------

Fonte: Maranhão, 2014.

Os coletores Parabólicos Compostos alcançam uma maior temperatura comparado com os outros modelos, entretanto cada um tem sua característica de funcionalidade.

4.4 COLETORES PLACA PLANA

O sistema de aquecimento de água possui quatro etapas distintas: a captação da energia solar, o aumento da temperatura da água provido da energia absorvida pelo coletor, o transporte da água através do coletor para o reservatório e o armazenamento da água. (PRADO, 2014)

Segundo Prado (2014), os coletores de placa plana trabalham de forma fixa, com uma determinada inclinação pois esta variável também implica em eficiência por parte do coletor. Existem coletores de placas planas com sistemas de rastreamento solar, esta otimização na placa fixa traz uma maior eficiência para o coletor, porém ainda é uma tecnologia cara. Um modelo mais explicativo pode ser visto na Figura 11 a seguir.

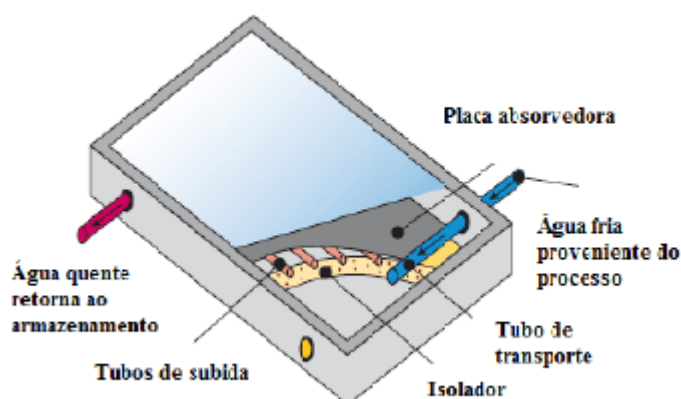


Figura 11- Aquecedor Solar Plano.
Fonte: PRADO, 2014.

Fraidenraich (2002), caracteriza o coletor solar plano como o equipamento mais popular da tecnologia solar e de acordo com Costa (2002), os coletores planos ou painéis planos, tem equipamentos simples em sua construção, seu processo

acontece com a conversão da radiação solar em calor e a transferência da energia através dos materiais utilizados na fabricação das mangueiras ou tubos para a água, os coletores podem ser fechados ou abertos.

Tem-se na construção dos aquecedores solares planos, duas partes: absorvedor e gabinete. O absorvedor é o que recebe, converte e transfere a energia solar para o fluido de trabalho, tem em sua construção tubos e chapas de material condutor para melhor desempenho do sistema. No caso dos alternativos, busca-se o material mais viável economicamente para tal uso, no caso deste trabalho estará sendo estudado o PVC e o Polietileno como tubos de coletores solares alternativos.

O material mais empregado na construção dos coletores convencionais no mercado é o cobre, pois apresenta uma ótima condutividade térmica, resistência a corrosão e fácil manuseio. E o gabinete, tem a função isolante que separa o absorvedor do meio ambiente, dificultando a perda térmica para a atmosfera e aumentando a eficiência térmica. (SOUZA; MIRANDA; SILVA, 2010)

Medeiros (2012), classifica os coletores solares de placas planas de duas formas, segundo a temperatura alcançável e a sua aplicação. Os coletores solares planos fechados podem ser utilizados para temperaturas que chegam até 60°C, os coletores solares planos abertos podem ser aplicados para atingir temperaturas de até 30°C, conforme Figura 12. Este último coletor, embora seja fabricado de forma plana, tem seu formato caracterizando um círculo plano e com as mangueiras dispostas em espiral, pois o material utilizado apresenta flexibilidade. Dispondo-o desta forma, alcança-se uma maior superfície de contato e assim uma maior área de troca térmica entre fluido e matéria, conforme Figura 13.

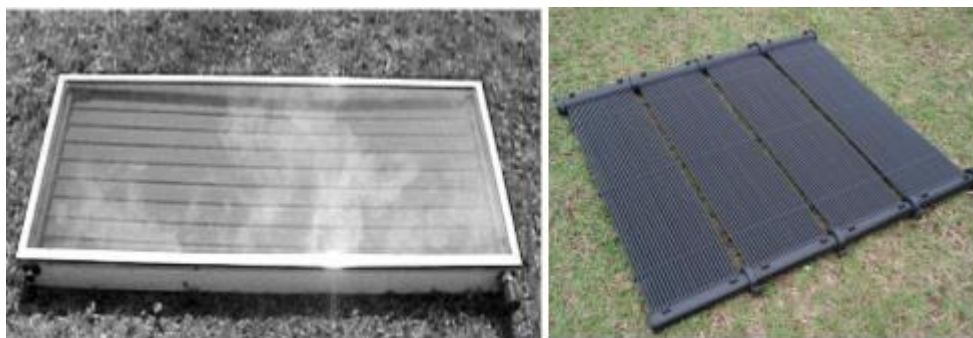


Figura 12 - Coletor Solar Fechado e Aberto
Fonte: Costa, 2002.



**Figura 13 - Aquecedor Solar de forma espiral
Fonte: Gonçalves, 2012.**

Os coletores apresentados acima, não apresentam dificuldades elevadas em sua construção e seus materiais são de fácil aquisição nos comércios de construção civil.

4.5 COLETORES DE PLACA PLANA ALTERNATIVOS

Os chamados ASBC (aquecedores solares de baixo custo) ganharam espaço e campo de pesquisa, pois trata-se de coletores solares feitos de PVC ou materiais mais comuns, econômicos e que tornam o sistema de aquecimento acessível principalmente à população de baixa renda. (SIQUEIRA, 2009)

Em 1999, a Organização Não governamental (ONG) Sociedade do Sol, portadora da missão de difundir a tecnologia termo solar para o território Brasileiro e aliada ao Centro Incubador de Empresas Tecnológicas da USP (CIETEC), desenvolveu o chamado ASBC, utilizando um processo de autoconstrução e disponibilizou manuais gratuitos no site da ONG.

Alguns autores como Cristofari et al (2002), Souza (2002), Jurado (2004) e Costa (2007) avaliaram tipos de sistemas de aquecedores solares, bem como os tipos de coletores alternativos.

Souza (2002) mostrou que o PVC quando utilizado acima de 60° C pode apresentar degradação de sua superfície. O autor estudou um reservatório térmico alternativo e obteve excelentes resultados.

Cristofari et al (2002) desenvolveram um coletor solar de placa plana feito utilizando copolímero e foi avaliado a variação de alguns parâmetros como: espessura de isolamento, fluxo mássico e espessura de camada de fluido.

Costa (2007) avaliou a viabilidade de um sistema alternativo de um coletor feito de material compósito de gesso e isopor e o reservatório feito de tambor polietileno por um cilindro em fibra de vidro.

Jurado (2004) desenvolveu um coletor solar de PVC e um reservatório vertical de polipropileno, seus resultados possibilitaram ao autor encontrar a relação entre área coletora e capacidade do reservatório térmico para qualquer localidade do Brasil.

O sistema ASBC opera da mesma forma que o aquecedor convencional trabalhando em regime de termossifão ou bombeado. O sistema bombeado é utilizado quando temos um grande volume de água para ser aquecido ou quando os níveis dos coletores estão acima do reservatório. Sem cobertura de vidro ou uma cobertura transparente e caixa retangular, o coletor apresenta-se mais simples que os convencionais, porém a sua exposição direta a luz solar pode prejudicar a sua superfície, sendo assim necessária. As placas coletoras podem ser de PVC e pintadas de preto fosco para aumentar a absorção solar. Os reservatórios podem ser a própria caixa d'água da residência ou reservatórios com uma baixa condutividade térmica, caixas de EPS (isopor) também podem ser utilizadas, desde que haja um isolamento térmico nas laterais e na tampa superior com materiais simples e baratos, exemplos: isopor, lã de vidro, poliuretano, madeira e jornal. (SIQUEIRA, 2009)

A água quente possui uma menor densidade em relação a água fria permitindo a estratificação nos projetos ASBC, essas diferenças de densidade mantem-se enquanto não há turbulência ou movimentação da água. (SIQUEIRA, 2009)

A Figura 14 apresenta um sistema ASBC e cada componente numerado e seus funcionamentos, que são:

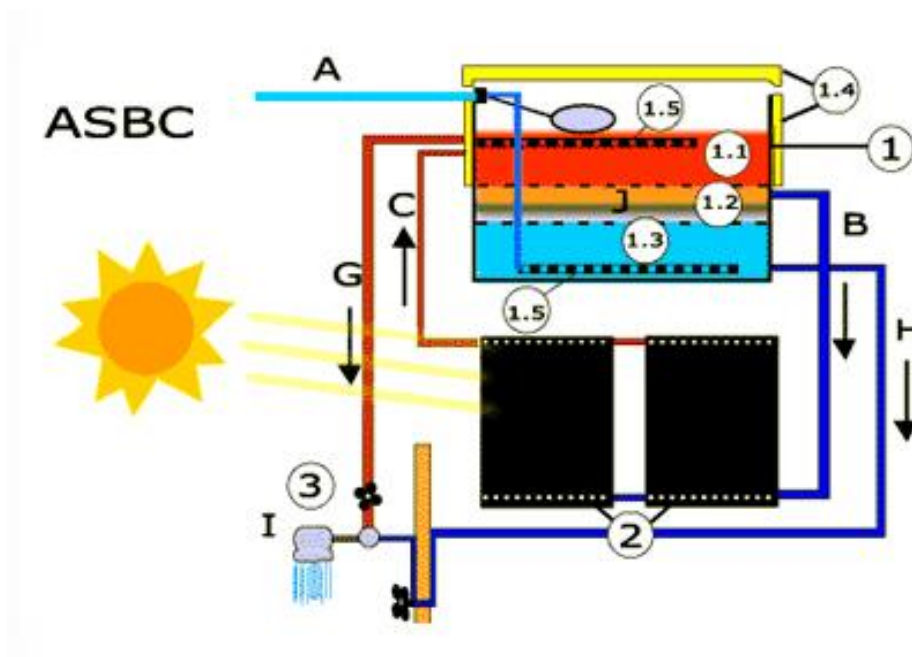


Figura 14 - SISTEMA ASBC

Fonte: <http://www.sociedadedosol.org.br>, acessado em abril 2018.

1 – Caixa de água tradicional

1.1 – Camada de água quente: seu volume é comandado pela diferença de altura entre saída de água fria aos coletores B e o nível da água da caixa. Quanto maior esta diferença, maior o volume disponível no final de um dia de aquecimento.

1.2 – Camada de transição: é a camada que interliga a camada de água quente com a camada de água fria. Ela deve ser estreita para que a energia térmica fornecida à caixa pelos coletores solares fique a mais possível concentrada na camada de água quente.

1.3 – Camada de água fria: tem a função do reservatório tradicional. Seu volume é a diferença entre o volume total da caixa e o volume do espaço destinado à água quente. Engloba assim a camada de transição.

1.4 – Isolamento térmico da caixa de água: cobre as áreas da caixa ocupadas pelo volume de água quente. Evita perda de calor no decorrer do período, dia e noite.

1.5 – Sistema de “dutos furados”: distribui na caixa de água os fluxos provenientes respectivamente dos coletores solares e da (torneira de) boia. Estas entradas da água na caixa não podem, de forma alguma, dar origem a turbulências ou movimentos de água que poderiam desfazer a sua estratificação.

2 – Coletores solares simplificados

Tem a mesma função dos coletores tradicionais, aquecer água. Caracterizam-se por serem mais simples, sem cobertura de vidro, mais econômicos, não esquentando a água tanto quanto o coletor solar tradicional. Isto traz três vantagens: reduz as perdas térmicas de todo o circuito de circulação de água, minora o perigo da água quente ferir crianças, permite o uso dos dutos de água tradicionais da casa brasileira (PVC) para a água quente.

3 – Misturador de água quente

Apesar da água quente dificilmente ultrapassar a temperatura do corpo, o usuário tem o direito de tomar um banho frio. Para que isto seja possível, a água quente que vem pelo duto G, deverá ser adicionada a água fria do duto H. Com um registro 3, a água quente será controlada, temperando a água oferecida ao usuário através do duto I e do chuveiro elétrico.

4 – Dutos de água do sistema ASBC – A, B, C, G e H

Face às relativamente baixas temperaturas que envolvem o aquecimento do ASBC, todo o sistema poderá ser desenvolvido com dutos de PVC, muito conhecidos por todos envolvidos em construções e reformas de habitações no Brasil.

Siqueira (2009), explica que o duto do reservatório de água quente distribui o fluxo advindo da torneira de boia, sendo assim muito importante, pois evita as turbulências que prejudicariam a estratificação. Tratando-se de um sistema de médio porte, o limite de volume para um ASBC é de 1000L com dez coletores que se dividem em dois conjuntos de cinco coletores cada.

Em sistemas de pequeno porte, com reservatórios com capacidade de 200L, deve-se deixar uma distância vertical entre o ponto da linha do centro dos coletores e o ponto de retorno da caixa de 60cm, para sistemas de 1000L essa distância deve ser 140cm. Caso o telhado tenha a presença de laje, o afastamento da bateria de coletores e outra deve ser de 60cm. São utilizadas essas distâncias de modo a evitar que a fileira dianteira crie sombra sobre a fileira de trás no inverno, conforme apresentado pela Figura 15.

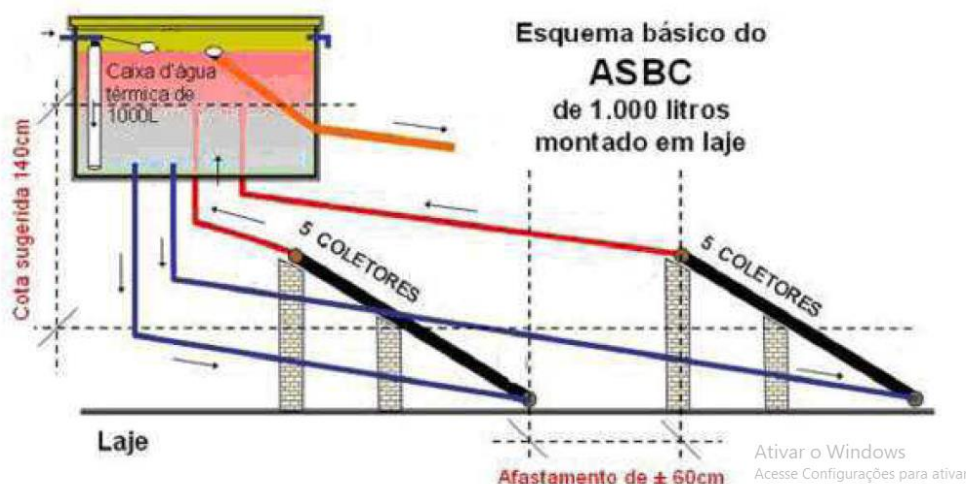


Figura 15 - Configuração das Placas

Fonte: <http://www.sociedadedosol.org.br>, acessado em abril 2018.

Logo, sempre quando for estruturado um sistema de coletor solar é indicado seguir este padrão para maior eficiência do projeto.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram estudados materiais que podem ser utilizados na construção de um captador solar plano, com principal objetivo de analisar a viabilidade de usar estes materiais na construção dos coletores alternativos.

5.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Nos sistemas de captação solar encontrados comercialmente, geralmente o fluido é aquecido no interior de tubulações constituídas por materiais de cobre. No presente trabalho foi estudada a viabilidade da utilização de condutos circulares de Policloreto de Vinila (PVC) e de polietileno, como materiais alternativos de baixo custo em substituição aos clássicos tubos de cobre.

Tubos de Policloreto de Vinila (PVC): O PVC possui versatilidade e durabilidade, isso explica o fato de encontrar tais materiais nos mais variados lugares e aplicações. Sua aplicabilidade tem uma vasta área de atendimento, desde a condução de água fria até a impermeabilizações de barragens e sua utilização diminui consideravelmente os custos de um projeto/construção, justamente por apresentar durabilidade evitando-se manutenções constantes e caras. (MORAES, 2010)

Segundo o instituto do pvc, este material apresenta algumas características básicas:

1. Quimicamente inerte;
2. Resistente as intempéries (sol, chuva e vento);
3. Impermeável a gases e líquidos;
4. Bom isolador térmico e elétrico e acústico;
5. Mantém as propriedades por longos períodos de tempo;
6. Bom isolador térmico;
7. 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 extingüível, reciclável e reciclado e fabricado com baixo consumo de energia.

Para complementar toda a versatilidade do PVC ele pode ser encontrado em várias espécies desde mole até a mais rígida. A Figura 16 apresenta alguns tipos de tubo de PVC comumente utilizados.



Figura 16 - Tubos de PVC

Fonte: http://www.comercialkaribe.com.br/show_book.php?story=5021, acessado em abril 2018.

Tubos de Polietileno: Segundo site da TIGRE, os tubos de polietileno são utilizados nas redes de saneamento de água, com a garantia de resistência a impactos e químicas, além de ser atóxico para transportar a água com qualidade. Tem elevada vida útil e alto desempenho. São leves e flexíveis e é possível encontrá-lo em diversas opções de diâmetros e pressão para adaptar a diferentes projetos. A Figura 17 representa o tubo de Polietileno utilizado no trabalho.



Figura 17- Tubos de Polietileno

Fonte: <http://lufelindustrial.com.br/polietileno-pead/>, acessado em abril 2018.

Tinta: O recobrimento da tubulação de Policloreto de Vinila, para avaliar do cano adquirido convencionalmente. A cor Preto Fosco garante uma maior absorção da radiação solar.

5.2 OBTENÇÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS

Foram adquiridos dois metros de tubo de PVC de 25 mm (Figura 16), e um metro de tubo de Polietileno de 1 polegada (Figura 17). As três tubulações foram dispostas separadamente para a montagem do sistema batelada, conforme mostra a Figura 18.

Para a realização dos ensaios experimentais, foi o utilizado um tubo de PVC sem qualquer modificação, um tubo de PVC, pintado com tinta preto fosco e um tubo de polietileno. Cada tubo possuía um metro de comprimento com água em seu interior, de forma a medir a variação de temperatura ao expô-los a radiação solar, Figura 18.



Figura 18 - Tubos prontos para receber água e o termômetro para coleta de dados
Fonte O autor, 2018.

As aquisições dos dados foram feitas durante o dia através de sensores de temperatura e um termômetro digital (Figura 19), ligado a água dentro dos tubos. Foi obtida também a temperatura ambiente do local. Para tal aquisição foi necessário a realização do ensaio em dia de céu claro, com poucas nuvens.



Figura 19 - Termômetro Digital
Fonte: O autor, 2018.

Uma vez fechado as extremidades dos condutos circulares e deixado somente uma extremidade aberta, para ter-se o sistema batelada, adicionou-se água a temperatura ambiente e os tubos foram dispostos sobre uma cobertura em metal, com uma inclinação de 12,49 graus em relação a horizontal do telhado.

Para análises da influência da radiação solar no aumento da temperatura da água dentro dos tubos, foram fornecidos dados meteorológicos da estação meteorológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Os resultados foram obtidos com a medição da temperatura em intervalos de 15 minutos durante as 13h:25min até as 16h:15min, para melhor aproveitar a incidência solares do dia.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 DADOS COLETADOS

A Tabela 3, juntamente com a Figura 19, apresentam os resultados obtidos com o experimento, sendo descrito a hora que foi coletado e a temperatura ambiente no momento da medição com o termômetro. Os tempos com (*) representa dados onde havia presença de nuvem no céu. Os valores que não apresentam índices estão associados com a irradiação solar alcançando a unidade experimental sem qualquer interferência de nuvens.

Tabela 3 - Coleta de dados nos seus respectivos horários.

Horário	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
13h25min	24,5	24,5	24,5	32,5	T1- Temperatura do tubo de PVC;
13h40min	39,4	42,1	41,9	37,1	T2- Temperatura do tubo de PVC pintado;
13h55min	43,6	46,5	46,1	36	T3- Temperatura do tudo de Polietileno.
14h10min	45,8	48,4	48,8	35,8	T4- Temperatura ambiente no horário da coleta.
14h25min	46,5	48,9	50	35	
14h40min*	42,9	43,5	45,9	33,1	
14h55min*	39,1	41	42,2	31,8	
15h10min	43,3	45,1	45,1	32,9	
15h25min*	42,7	44	44,4	32	
15h40min*	38,5	39,1	40,1	31,2	
15h55min*	34,9	35,5	37,1	29,8	
16h10min	37,4	38,1	39,5	30,3	

Fonte: O autor, 2018.

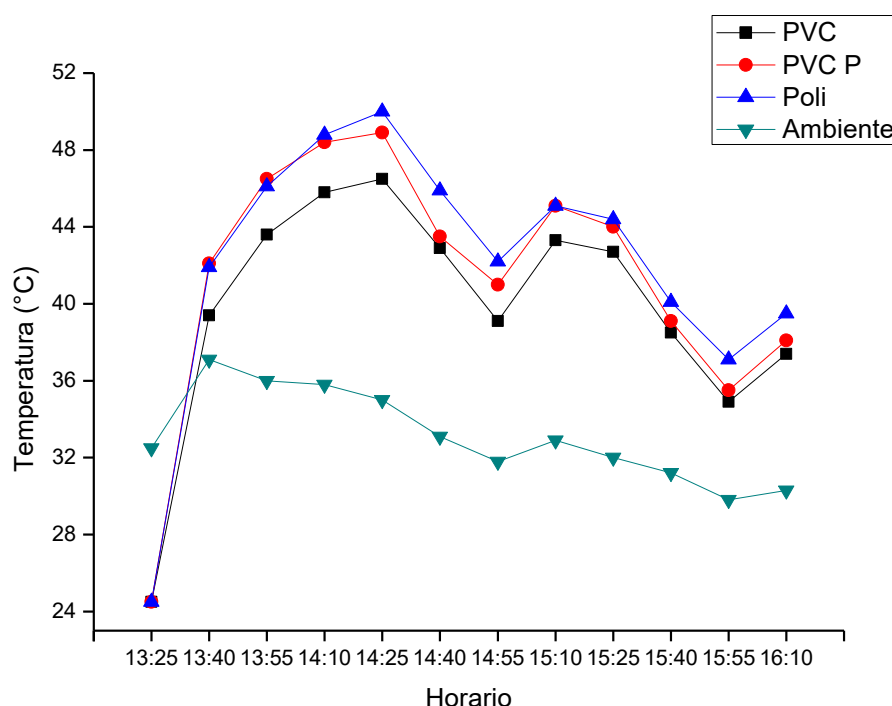


Figura 20 - Valores das temperaturas coletadas nos seus respectivos horários.
Fonte: O autor, 2018.

Analisando a Figura 20, verifica-se que os valores de temperatura da água obtidos, quando comparados com a temperatura ambiente, apresentaram uma considerável variação, atingindo um máximo, em todos os tubos, por volta das 13h55min até as 14h25min, em que a temperatura chegou próxima a 50 °C no tubo de polietileno e no tubo de PVC pintado.

Verificou-se também que a partir das 16h10min começou a ocorrer uma diminuição da temperatura na unidade experimental, porém a temperatura da água ainda permaneceu acima da temperatura do corpo humano (37 °C). Desta forma, uma pessoa não sentiria frio, caso utilizasse a água do sistema para tomar banho. Tal afirmação está embasada na segunda lei da termodinâmica que postula que a transferência de energia térmica sempre ocorre de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura até atingir o equilíbrio.

Observa-se também que houve redução de temperatura nos horários de 14h e 40 min, 14h e 55min e também nos horários de 15h e 25min até 15h 55 min, devido ao aparecimento de nuvens no céu e essas atenuarem parte da radiação solar incidente, sobre as superfícies dos tubos. Como a variação na temperatura foi significativa, percebe-se uma forte influência da presença de nuvens na eficiência de um coletor solar.

A queda de temperatura influenciada por mudanças climáticas, indica que os reservatórios dos coletores devem ser planejados de forma que apresente um excelente isolamento térmico, pois quando a água é aquecida e transferida para dentro desses reservatórios suas temperaturas internas permaneçam quase que constantes e com pouca perda de energia térmica.

6.2 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO PVC E DO PVC PINTADO

A Figura 21 ilustra os dados de temperatura ambiente e temperatura dos tubos de PVC.

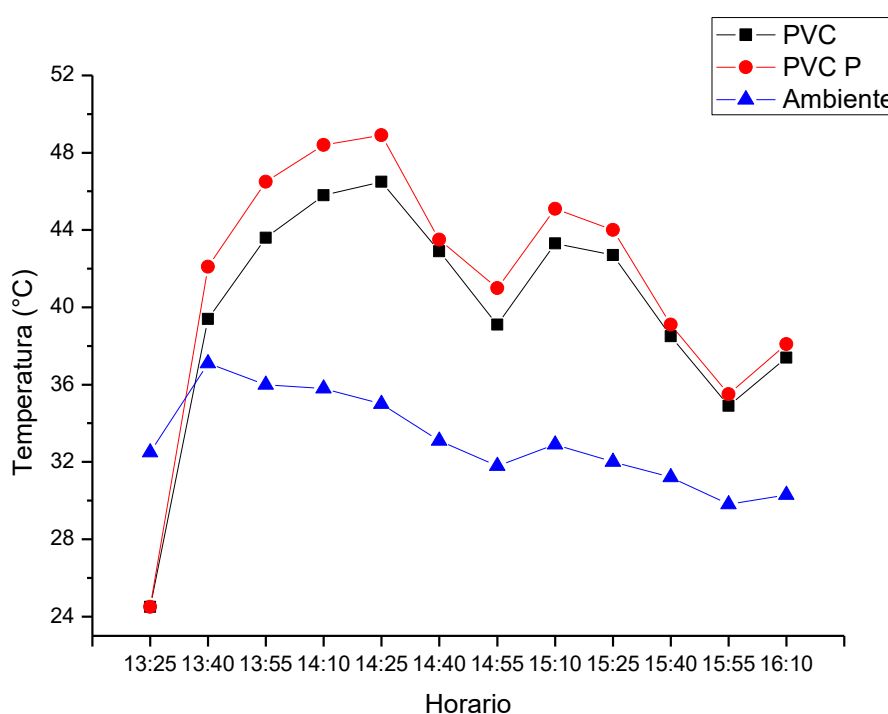


Figura 21 - Valores das temperaturas dos tubos de PVC e PVC pintado coletadas nos seus respectivos horários
Fonte: O autor, 2018.

Na Figura 21 observa-se que a temperatura da tubulação de PVC pintada alcançou um máximo de 48,9 °C, enquanto que, o tubo de PVC sem o recobrimento alcançou seu máximo de temperatura, no mesmo horário, de 46,5 °C. Esta diferença existe, pois, a o recobrimento do tubo de PVC com a tinta na cor preto fosco ocasiona uma maior capacidade de absorção de radiação solar do que o PVC convencional, que possui originalmente a cor próxima ao marrom.

A Tabela 4 apresenta o percentual de aumento da temperatura por influência do recobrimento, calculado com a Equação 1,

$$Aumento(\%) = \frac{(T(K)PVCP - T(K)PVC)}{T(K)PVCP} \quad (1)$$

em que o termo $T(K)PVCP$ indica o valor da temperatura em Kelvin do tubo de PVC que possui o recobrimento de tinta na cor preto fosco e $T(K)PVC$ indica a temperatura do PVC sem qualquer recobrimento.

Tabela 4 - Coleta de dados nos seus respectivos horários e a porcentagem de aumento da temperatura com a utilização da tinta preta.

Horário	T1 (°C)	T2 (°C)	% de aumento	T4 (°C)	
13h25min	24,5	24,5	0	32,5	T1- Temperatura do tubo de PVC;
13h40min	39,4	42,1	6,42	37,1	T2- Temperatura do tubo de PVC
13h55min	43,6	46,5	6,24	36	pintado;
14h10min	45,8	48,4	5,37	35,8	T4- Temperatura ambiente no
14h25min	46,5	48,9	4,91	35	horário da coleta.
14h40min*	42,9	43,5	1,37	33,1	
14h55min*	39,1	41	4,63	31,8	
15h10min	43,3	45,1	4,00	32,9	
15h25min*	42,7	44	2,96	32	
15h40min*	38,5	39,1	1,53	31,2	
15h55min*	34,9	35,5	1,70	29,8	
16h10min	37,4	38,1	1,84	30,3	

Fonte: O autor, 2018. (*) Momentos em que o céu se encontrava com nuvens.

Para uma melhor análise dos resultados, os valores da tabela 4 foram dispostos na forma gráfica a seguir.

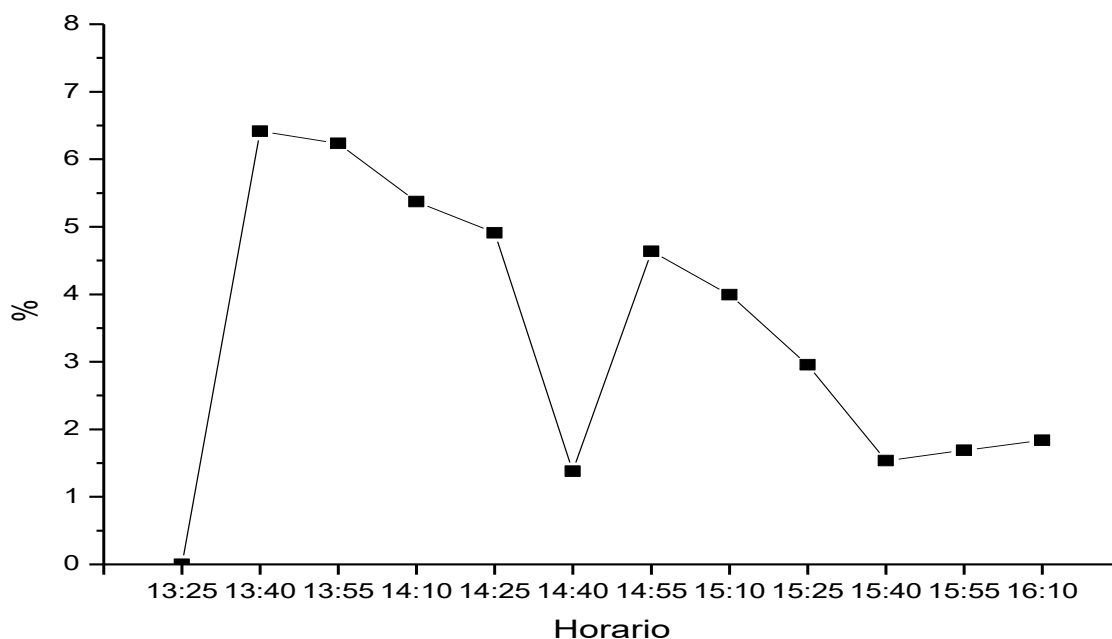


Figura 22 - Valor da porcentagem de aumento da temperatura alcançada pelo tubo de PVC Pintado para o tubo de PVC normal.

Fonte: O autor, 2018.

A partir da análise da Tabela 4 e Figura 22, foi possível verificar que quanto maior a temperatura do meio ambiente maior a diferença de temperatura percentual entre o tubo com a pintura e o sem pintura. Tal resultado indica que o recobrimento com tinta auxilia no aumento da eficiência do coletor principalmente em temperaturas ambiente elevadas (acima de 35 °C). Desta forma, o presente trabalho indica maiores estudos sobre esta constatação para confirmação deste efeito.

Mediante dados fornecidos pela estação meteorológica do campus da UTFPR de Francisco Beltrão, no dia seis de abril de 2018, nos horários dos experimentos, foram obtidos os seguintes dados médios da intensidade de radiação solar nos respectivos horários:

Tabela 5 - Radiação Solar

Horário (h)	Intensidade da radiação média (W/m ²)
14:00	683,68
15:00	474,3
16:00	470,62

As informações da Tabela 5, foram dispostas na Figura 23 a para melhor análise.

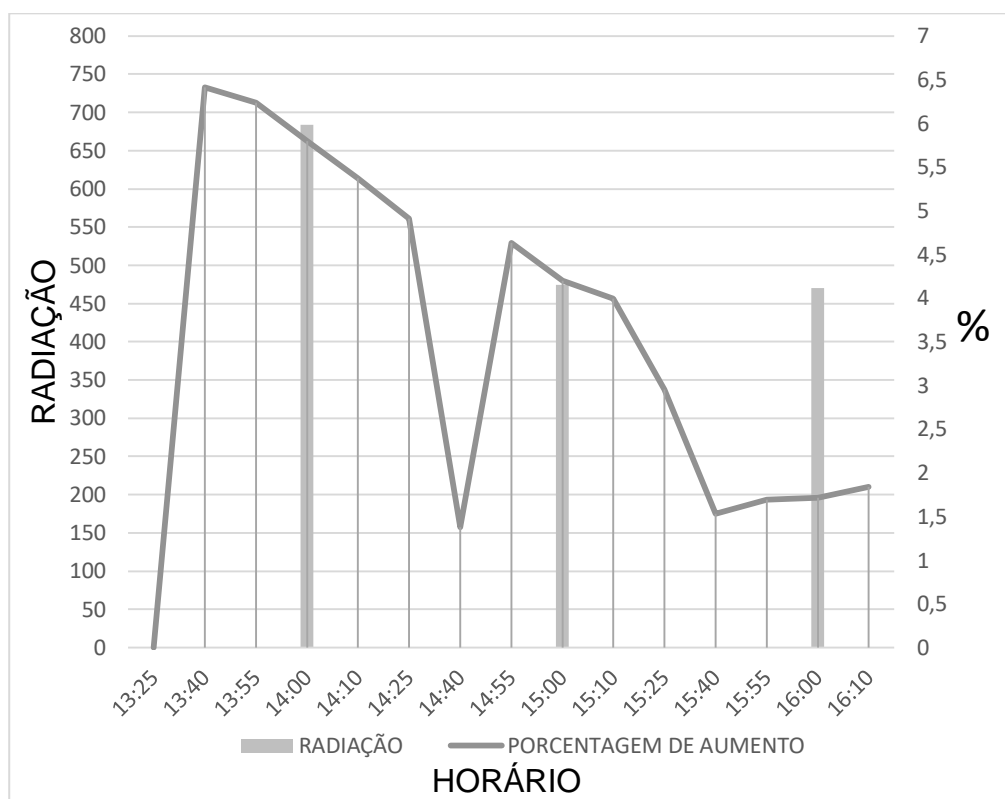


Figura 23 - Variação da radiação e sua influência na porcentagem de aumento da temperatura do PVC pintado em relação ao normal
Fonte: O autor, 2018.

Ao analisar estes dados e a Figura 23, pode-se perceber que os maiores desvios relativos em relação a tubulação com recobrimento e sem, ocorreram quando a intensidade da radiação solar incidente sobre os tubos era maior. Esta constatação confirma o aumento da eficiência do coletor com recobrimento para situações de maior irradiação solar.

Embora os projetos de placas coletoras aconteçam em uma escala maior do que a utilização de um cano de PVC o gasto com a tinta preta não seria grande e pode-se alcançar uma maior eficiência no projeto.

6.3 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DO PVC PINTADO E DO POLIETILENO

A Figura 24 ilustra os resultados obtidos utilizando o tubo de PVC pintado e o tubo de Polietileno.

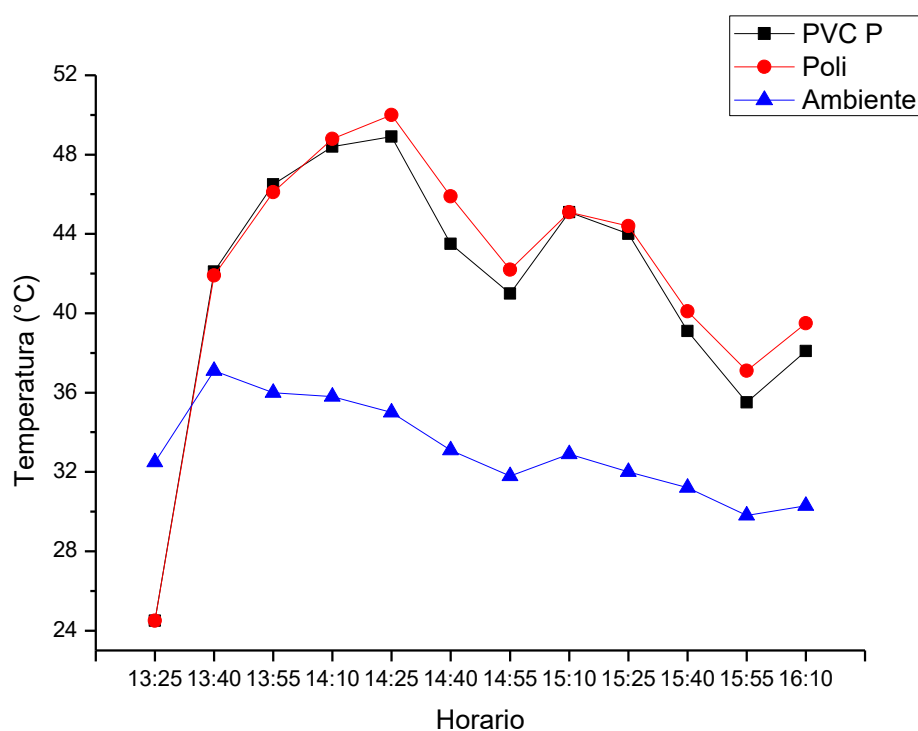


Figura 24 - Valores das temperaturas do tubo de PVC pintado e do Polietileno coletadas nos seus respectivos horários.
Fonte: O autor, 2018.

Pode-se observar que o tubo de Polietileno alcançou um máximo de temperatura de 50° C, enquanto que o tubo de PVC pintado alcançou uma temperatura de 48,9, ambos no mesmo horário. Embora as temperaturas estejam próximas, uma explicação consideravelmente aceita é que o tubo de Polietileno apresenta um material mais fino em sua construção. Sendo ambos de cor preta a absorção da radiação solar pode ser aproximadamente a mesma, porém a resistência térmica que o material de PVC possui é maior por apresentar uma camada mais grossa. Tal fator influencia no aquecimento da água e da transferência de calor da superfície externa até a superfície do líquido dentro do tubo.

Além disso, ao comparar os preços de mercado, foram encontrando valores próximos de cada material. Por isso, o presente trabalho não sugere especificamente qual dos materiais utilizar (PVC ou polietileno), pois ambos apresentaram, consideravelmente, um aumento de temperatura eficiente e valores de compra similares.

6.4 COMPARAÇÃO COM OS DADOS OBTIDOS E A LITERATURA

Almeida (2007) avaliou a variação de temperatura de um coletor de PVC pintado de preto completo e alcançou uma média máxima de 52,86°C e mínima de 46,28°C, pode-se perceber que a temperatura obtida pelo autor se apresenta maior do que a alcançada no trabalho presente, este fato pode ser explicado devido ao coletor de Almeida apresentar uma cobertura transparente de vidro de 3 *mm* de espessura criando um efeito estufa e impedindo uma maior perda de calor para o ambiente, entretanto os dados obtidos somente com os canos apresenta-se próximos ao obtido pelo autor, dando maior ênfase no tudo de polietileno que apresentou temperatura máxima de 50°C.

Siqueira (2009) realizou um experimento para comparar a eficiência de dois coletores alternativos e um convencional, os valores obtidos de temperatura máxima com uma vazão ideal de 40L/h foram de 48,0°C para um aquecedor solar com placa coletora de PVC e 53,3°C para um coletor solar convencional, avaliando os dados obtidos no presente trabalho observa-se uma proximidade na temperatura máxima do PVC e do Polietileno, sendo de 48,9°C e 50°C respectivamente, porém como o sistema apresentado por Siqueira (2009), ser um sistema com vazão e o estudo presente ter realizado um esquema em batelada com água parada dentro dos tubos, os dados obtidos podem sofrer alterações e ter uma diminuição nos seus valores máximos de temperatura. Comparado ao coletor convencional o tudo de polietileno se aproximou dos dados obtidos por Siqueira, porém o valor de 50°C alcançado pelo tudo pode sofrer uma diminuição considerável pelo fato da vazão.

Comparado com coletores recicláveis, segundo Celesc (2005) um coletor solar de garrafas PET's alcançou temperaturas de 55,2°C no verão e 37,6°C no inverno, porém, assim como o coletor de PVC este valor de temperatura está intimamente relacionado a quantia de garrafas PET's usadas, ou seja, da área superficial do coletor para adquirir tal temperatura.

Segundo estudos de Santos et al. (2001) durante oito meses utilizando um coletor solar alternativo de PVC, uma residência obteve cerca de R\$ 82,00 de economia em seus gastos em relação a energia, este valor representa 1/3 do valor investido e dentro de 24 a 30 meses já se obtém o retorno do mesmo, considerando a vida útil de 10 anos do coletor de baixo custo.

6.5 AVALIAÇÃO DE PREÇOS E PROJETOS

Deve-se levar em consideração o preço das placas coletoras para análise de gastos e a eficiência alcançada.

Segundo Siqueira (2009), os coletores solares alternativos alcançaram uma eficiência de 47,1% e o convencional alcançou eficiência de 50,9%, e as temperaturas máximas alcançadas nos reservatórios foram bem próximas sendo 43,1 °C para a alternativa e 45,0 °C para o convencional. Um sistema ASBC para banhar de 30 a 50 crianças e de 20 a 40 adultos, com uma vida de 10 anos possui um valor de implantação de R\$ 1000,00 segundo site da Sociedade do Sol, sendo que um aquecedor solar convencional para 400L de água custa, no mercado, cerca de R\$ 3000,00, segundo site de uma empresa com 21 anos de mercado. Neste caso, é interessante avaliar que, como as eficiências e temperaturas alcançadas são próximas, o custo benefício tenderia para adquirir aquecedores alternativos.

Tratamos acima dos coletores, abordando os coletores propriamente dito, temos que relacionar o preço com a área do mesmo e o material utilizado. No mercado encontramos vários preços e tipos de coletores, visando uma maior proximidade dos que utilizam os materiais apresentados no presente trabalho, vamos avaliar a área em m² de cada coletor e os seus preços.

Segundo Oliveira 2005, uma placa coletora de PVC, custaria em média R\$ 186,00 para ser montada, uma placa de polietileno aumentaria R\$ 50,00 do preço. No mercado é possível encontrar um sistema de placas coletoras de PVC de 0,72 m² cada para por R\$ 125,00 comparando este preço com placas coletoras convencionais encontramos uma diferença muito grande, pois as placas coletoras convencionais de 1,5 m² custa em média R\$ 600,00, podemos perceber que duas placas coletoras alternativas custam 20% do valor de uma placa convencional.

7. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do estudo, bem como análise bibliográfica e pesquisa de preço de mercado, indicou que o PVC e o Polietileno apresentaram potencial quase que equivalentes para serem utilizados como coletores solares alternativos e comparados com os convencionais mostraram-se eficientes e com um maior custo-benefício de uso.

Indicou também que a tinta influência de forma direta na absorção da radiação solar e no aumento de temperatura da água dentro do coletor, sendo mais viável utilizar um PVC pintado do que o normal.

Quando comparado os tubos de PVC ao Polietileno, o presente estudo apresentou que ambos os tubos alcançaram máximo de temperaturas próximas, porém o tubo de Polietileno apresentou uma maior temperatura.

Este foi um estudo inicial do potencial do material de polietileno em comparação com o PVC para a utilização dos mesmos em coletores solares alternativos. Tratando-se de materiais de fácil aquisição, o estudo pode ser aprofundado nos três pilares do desenvolvimento sustentável, sendo eles: social, econômico e ambiental.

7.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Seguindo o trabalho apresentado e o conhecimento desenvolvido pode-se indicar um avanço nos estudos nos seguintes tópicos:

- Criação de um projeto inteiro de aquecimento solar utilizando coletores tanto de PVC pintado, quanto de Polietileno;
- A influência na adição de aletas e placas transparentes para aumento de absorção da energia solar;
- A eficiência de um coletor solar feito de Polietileno, bem como preços de projetos e seu custo-benefício.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.S.M; **Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema Termoelétrico do tipo Linear Fresnel Reflector**. Dissertação de Mestrado em Energia Renováveis. S.1., Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2013. p. 86.

AZEVEDO, C. G., BESTETI, M. D., **Projeto e Construção de um Aquecedor Solar de Água em Escala de Laboratório, Projeto de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Química**, UFU, 2007.

BURITY, L. V. **especificação de procedimentos para balanço energético de residências**. Ante tese de Pós-Graduação, para Mestrado, Rio de Janeiro, UBM, 2011-2012.

CELESC., **Aquecedor solar composto de produtos descartáveis**, Manual de construção e instalação, 2005.

COSTA, R. N. A., **Viabilidade 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.

COSTA, EURIDES RAMOS. **Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CRISTOFARI C.; NOTTON G.; POGGI P.; LUCHE A. **Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector**. Solar Energy, vol.72, 2002, Número 2.

FRAINDENRAICH, NAUM. **Tecnologia Solar no Brasil. Os próximos 20 anos. In: Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos. Campinas, SP: UNICAMP, 2002.**

GIL, M. SANTOS, A.C., **Energia solar térmica de baja temperatura**, CENSOLAR (Centro de Estudos de la Energia Solar), PROGNSA, Sevilla, 2001.

GONÇALVES, N. G., MENDES, J. U., et al., **Análise de um aquecedor solar de água tipo espiral para uso em piscinas residenciais**, VII CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luis-Pe, 2012.

INTERNETIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy Technologies: Cost analysis series-concentrating Solar Power**. S.1: IRENA,2012.

JURADO, D. A. J. **Modelagem dinâmica de um sistema solar termo-sifão usando coletores atmosféricos de plástico**. Dissertação de Mestrado, Uberlândia, FEMEC-UFU, 2004, 102p.

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor**, Editora Edgard Blucher Ltda, 1973.

LEROYMERLIN., **Chuveiros Elétricos**. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/chuveiros-comuns> . Acesso em 29 de junho, 2018.

MARANHÃO, I.M., **Estudo Sobre a Tecnologia Heliotérmica e sua Viabilidade no Brasil**. Monografia de Graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, Universidade Estadual de Brasília., 2014. p.47

MEDEIROS, M. **Simulação e avaliação de um sistema de aquecimento solar de água utilizando balanço energético**. Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 2012.

MORAES, A. M. A., **Influência do Material, tipo de escoamento e proteção transparente sobre o desempenho do coletor de um aquecedor solar de baixo custo**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU, 2010.

PALZ, W., **Energia Solar e Fontes Alternativas**, Tradução de 'Solar electricity: na economic approach to solar energy', Hemus, 2002.

PRADO, O. G., **Concentrador Solar para dessalinização de água: projeto e construção**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU, 2014.

RISPOLI, I. A. G., **O Aquecedor Solar Brasileiro: Teoria e Prática em Prol de uma Transferência de Tecnologia Sustentável**, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

SILVA, R.B.T; **Geração de energia elétrica a partir da concentração solar**. Dissertação de Graduação em Engenharia Mecânica. S.1.: Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista., 2011. p.47.

SIQUEIRA, D. A., **Estudo de Desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU, 2009.

SOLETROL., **Aquecedores solares de água**. Disponível em: www.soletrol.com.br . Acesso em 06 de out, 2017.

SOUZA, L.G.M.; GOMES, U.U. 2002. **Viabilidade 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.