



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

RAVIEL DE LIMA PEREIRA

**ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTOS DE COLETORES SOLARES PARA
AQUECIMENTO DA PISCINA DE USO CONTROLADO DO IEFES - UFC**

FORTALEZA

2019

RAVIEL DE LIMA PEREIRA

ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTOS DE COLETORES SOLARES PARA
AQUECIMENTO DA PISCINA DE USO CONTROLADO DO IEFES – UFC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Energias Renováveis da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro de
Energias Renováveis.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Fabíola Leite
Almeida.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P495a Pereira, Raviel de Lima.
Análise técnica e de custos de coletores solares para aquecimento da piscina de uso controlado do IEFES – UFC / Raviel de Lima Pereira. – 2021.
61 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.
1. Aquecimento solar . 2. Energia solar . 3. Dimensionamento e custos . 4. Solar heating . 5. Solar energy . I. Título.

CDD 621.042

ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTOS DE COLETORES SOLARES PARA
AQUECIMENTO DA PISCINA DO IEFES – UFC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Energias Renováveis da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro de
Energias Renováveis.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Fabíola Leite
Almeida.

Aprovada em: 13/12/2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof^a. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof^a. Dra. Aline Mara Maia Bessa
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Eng. Eletricista Fernando Wesley Silva de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Finalmente essa fase da minha vida se encerra, o caminho foi longo e árduo, porém não faltou incentivo de vários lados, por isso não poderia deixar de agradecer.

Primeiramente a força maior que rege o universo e mais além.

Agradeço também aquele que foi meu porto seguro em vida, ao meu avô Raimundo a quem sempre amarei e serei eternamente grato por ter acreditado que através dos estudos eu venceria e fez o que pode para que isso fosse possível.

À minha avó Antônia, não tenho palavras melhores para descrever do que amor incondicional puro, obrigado por acreditar em mim e continuar acreditando. Não podia deixar de agradecer à minha mãe Rosângela pela torcida amorosa, minha tia Rodilândia que foi a minha primeira professora, obrigado pela paciência. E pelo suporte e torcida, meus irmãos Rafael e Paulo Vitor, amo vocês.

A Prof.^a Dr.^a Fabíola Leite, que mesmo cheia de compromissos com outros formandos e pelo pouco tempo que lhe coube, não deixou de me orientar, corrigir e incentivar.

À Universidade Federal do Ceará pelo conhecimento que obtive ao longo dos anos de graduação e ao IEFES que cedeu os dados necessários para que a pesquisa fosse realizada. Um agradecimento especial as meninas da coordenação, em especial Cristina por sempre me ajudar nas inúmeras vezes que visitei a coordenação com problemas em relação a vida acadêmica.

Aos meus amigos e também engenheiros José Roberto e Jeymyson, que apesar da distância foram parte essencial para que eu pudesse chegar aqui.

Aos meus amigos do grupo Várzea Intelectual, Ana Carolina, Eugênia, Camila, Rafael, Ueber e Cleber pela troca constante de conhecimento.

Aos meus amigos de república Tamanda, Ian e especialmente Tayane, minha mana e confidente de todas as horas, vocês são muito importantes pra mim, obrigado pela amizade.

Aos meus amigos de CsF, em especial Angélica que mesmo depois de tanto tempo que voltamos e não pudemos nos reencontrar pessoalmente, não perdemos a amizade cultivada em terras húngaras, obrigado por me ouvir e me ajudar, mesmo à distância.

Aos meus amigos da UFC que me acolheram desde o primeiro ano, obrigado por deixar meus dias menos maçantes na universidade, pela troca de conhecimento e pelo apoio emocional, em especial ao meu amigo Emanuel, Ruth e a galera do Lab de Ondas.

A Jorn Michels, que mesmo tendo descido no meio do caminho, foi um grande torcedor do meu sucesso e sempre acreditou em mim, eternamente grato pelo tempo de caminhada juntos e torcida dedicada.

A Geoff Payne que foi uma das peças fundamentais me ajudando de diversas formas que foi possível para que eu não desistisse no meio do caminho.

Aos meus amigos de infância, de escola e da vida, pela contribuição direta e indiretamente para que eu pudesse chegar até aqui.

“- Não importa o que façam, nunca passará de uma simples gota num oceano infinito. – Mas, o que é um oceano senão um conjunto de várias gotas?” – Atlas de Nuvens

RESUMO

O uso da energia solar para aquecimento de água já é bastante utilizado em algumas partes do mundo e em algumas regiões do Brasil, no entanto, a utilização dessa energia para aquecimento de piscinas não é comum devido a alguns fatores como a falta de conhecimento sobre o tema e o elevado custos de implantação. Este trabalho propõe um sistema de aquecimento solar para piscina de uso controlado do tipo semiolímpica do Instituto de Educação Física e Esportes da Universidade Federal do Ceará no Campus do Pici (IEFES – UFC). Este trabalho consiste na análise técnica do local e na quantificação dos custos para instalação, tem como objetivo quantificar os custos de implementação e o tempo de retorno do investimento, além de fazer uma estimativa de consumo por tipo de aquecimento entre fontes renováveis e não renováveis. O trabalho propõe um sistema de aquecimento devidamente dimensionado a fim de evitar perdas tanto por super dimensionamento como por subdimensionamento, baseando-se em fontes confiáveis como as normas brasileiras e informações disponibilizadas por órgãos como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL e a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilador e Aquecimento - ABRAVA que são especialistas no tema. O estudo mostrou que os custos de implantação para um sistema de aquecimento solar para piscina do tipo semiolímpica ainda são bastante elevados. Uma das razões é o grande volume de água que a ser aquecido requerendo muitos coletores solares e encarecendo o sistema.

Palavras-chave: Aquecimento solar. Energia solar. Dimensionamento e Custos.

ABSTRACT

Use of solar energy for heating water is widely used in certain areas around the world include regions of Brazil, however, solar energy for pool heating is not common due to some reasons such as lack of knowledge about high implementation costs. This work proposes a solar heating system for a controlled use semi-Olympic swimming pool type of the Physical Education and Sports Institute of the Federal University of Ceará at Pici Campus. The aim of this work, besides technically analyzing the location of a possible installation, aims to quantify the implementation costs and the return of the investment, as well as to estimate the consumption by type of heating, renewable and non-renewable sources. This work proposes a properly sized heating system in order to avoid losses due to oversizing and under sizing, it is based on trustworthy sources such as Brazilian standards and information provided by expert agencies such as PROCEL and ABRAVA. The study demonstrated that implement costs of solar heating system for a semi-Olympic swimming pool are still quite high, one of the reasons may be explained because of the large volume of water that would need to be heated requiring more solar collectors, letting the system more expensive.

Keywords: Solar heating. Solar energy. Sizing and Costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Incidência dos raios solares na superfície terrestre.	20
Figura 2 – Radiação solar global e seus componentes.	26
Figura 3 – Irradiação global horizontal	27
Figura 4 – Capacidade global de coletores para aquecimento de água, 2007 – 2017.	28
Figura 5 – Total diário da irradiação global horizontal – Média anual	29
Figura 6 – Concentrador do tipo cilíndrico.	32
Figura 7 – Concentrador do tipo parabólico.	32
Figura 8 – Coletor solar plano aberto para aquecimento de piscinas.	33
Figura 9 – Coletor solar plano fechado – Modelo MC Evolution Pro Heliotek - Borsch	34
Figura 10 – Coletor solar de tubos à vácuo – Modelo Unisol de 15 tubos.....	35
Figura 11 – Eficiência dos coletores planos com e sem vidro.....	36
Figura 12 – Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico	39
Figura 13 – Associação dos coletores solares	40
Figura 14 – Ilustração esquemática do funcionamento de um sistema de aquecimento de piscina por circulação forçada em uma residência.	41
Figura 15 – Número máximo de coletores por bateria	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Investimento versus Poder calorífico.....	56
Gráfico 2 - Comparativo do Payback dos combustíveis.....	57

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Fases e etapas de um projeto de aquecimento solar.....	45
Fluxograma 2 - Premissas básicas que devem ser seguidas durante a visita técnica.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos coletores solares para aplicação em piscinas	37
Tabela 2 - Fator de Correção.	50
Tabela 3 - Poder Calorífico Superior.....	55
Tabela 4 - Custo por dia.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Documentação do projeto.....	44
Quadro 2 – Estimativa de preços de implantação do SAS.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABRINSTAL	Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CPVC	Policloreto de Vinila Clorado
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
FINA	Federação Internacional de Natação
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IEFES	Instituto de Educação Física e Esportes
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NBR	Normas Brasileiras
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
REN21	Renewables Now
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Real
%	Porcentagem
°C	Celsius
°	Graus
kW	Quilo watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
2	JUSTIFICATIVA	23
3	OBJETIVOS.....	24
3.1	Objetivos gerais	24
3.2	Objetivos específicos	24
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
4.1	A fonte solar.....	25
4.2	Radiação solar.....	25
	Fonte: Adaptado de: < http://amdro2003.blogspot.com/2011/02/influencia-do-sol-no-aquecimento-global.html >. Acesso em: 19 jul. 2019.....	26
4.2.1	<i>Radiação solar no mundo</i>	26
	Fonte: Adaptado de: < http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_03/chapter_03/#sub_6 >. Acesso em: 19 jul. 2019.....	28
4.2.2	<i>Radiação solar no Brasil</i>	29
5	COLETORES SOLARES	31
5.1	Coletores solares do tipo com concentração.....	31
5.2	Coletores solares do tipo sem concentração	33
5.3	Eficiência dos coletores	36
5.4	Posicionamento dos coletores	38
5.5	Associação dos coletores	40
6	PROJETO PARA AQUECIMENTO DA PISCINA.....	41
6.1	A NBR 15569	44
6.2	Etapas do projeto	45
7	ESTUDO DE CASO: PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR DA PISCINA PARA USO ESPORTIVO DO IEFES – UFC.....	47
7.1	Metodologia.....	47

7.2	Escolha do local	47
7.3	Visita ao IEFES	47
7.4	Dimensionamento	48
7.4.1	<i>Viabilidade Técnica</i>	48
7.4.2	<i>Dimensionamento do Sistema</i>	49
8	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO.....	53
8.1	Tempo de retorno	54
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
10	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS	61

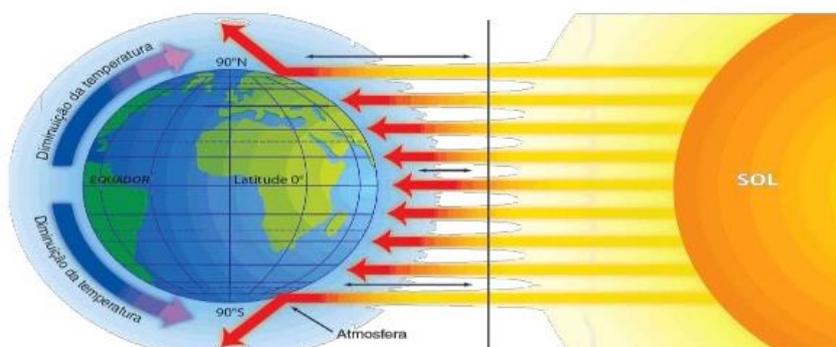
1 INTRODUÇÃO

O sol, além de ser a estrela mais próxima da Terra é, sem dúvidas, essencial para a manutenção da vida. Produz cerca de $4,0 \times 10^{23}$ kW de potência por segundo, essa quantidade de energia é equivalente ao poder energético de 9.1020 litros de gasolina consumidos por minuto, a dez milhões de vezes a produção mundial de petróleo ou, ainda, a dez bilhões de vezes a potência da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Dessa forma, uma variação de apenas 0,01% na atividade solar impactaria muito a quantidade de energia que atinge nosso planeta. (ZUFFO, 2014).

Segundo o site ASTRONOO, a Terra é pequena em comparação com o Sol, no volume do Sol poderia colocar mais de um milhão de Terras (1 305 620). Por ser muito maior do que o planeta Terra, assume-se que seus raios atinjam o planeta paralelamente, o planeta receberia a mesma quantidade de energia por toda a superfície projetada, porém a Terra não é um círculo ou um disco, mas, sim, uma esfera. Devido a essa esfericidade, como pode ser visto na Figura 1, os raios solares que atingem a região do Equador (latitude zero) são perpendiculares à superfície e os que atingem as regiões de latitudes maiores são inclinados. Apesar de o metro quadrado da área projetada receber a mesma quantidade de energia, as áreas reais são diferentes, pois não são mais projeções.

Dessa forma, quanto maior for a latitude, maior será a área que receberá a mesma quantidade de energia e menor será a temperatura. A diferença de temperatura, então, é criada sobre a superfície. A terra aquece mais rapidamente que a água e, dessa forma, as maiores extensões de terra próximas ao Equador se aquecerão mais rapidamente. (ZUFFO, 2014).

Figura 1 – Incidência dos raios solares na superfície terrestre.



Fonte: Adaptado de: < <http://prof-paulo-geografia.blogspot.com> >. Acesso em 23 de Jul de 2019.

A região Norte do Brasil é cortada pela linha do Equador, a região Nordeste fica bem próxima, sendo uma das regiões que recebe mais energia do sol diariamente.

Geograficamente o país possui vantagem em relação aos demais países que ficam mais afastados da linha. Ciente dessa vantagem, instituições e órgãos governamentais lançaram ao longo dos anos quatro levantamentos do potencial de energia solar no país:

1. O Atlas de Irradiação Solar no Brasil, publicado em 1998, e elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;
2. O Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado em 2000, e elaborado pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB;
3. O Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado em 2006, e elaborado sob a coordenação da Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DMA/CPTEC/INPE).

Informações como mapas de isolinhas de radiação solar e de insolação, tabelas de dados solarimétricos e de localidades podem ser consultados de forma gratuita, além de estudos de variabilidade e tendências e cenários de aplicação da energia solar. Em 2010, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), em parceria com a Secretaria da Infraestrutura (SEINFRA), produziu o *Atlas Solarimétrico do Ceará* no intuito de consolidar o conhecimento sobre o potencial de energia solar do Estado e de fornecer um instrumento de apoio às políticas de planejamento público e privado e de promoção do desenvolvimento econômico e social.

A energia solar é a principal fonte de energia para o planeta, conseqüentemente, quase todas as demais fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos - são formas indiretas da energia solar. A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica no aquecimento de fluidos ou ambientes e na geração de potência mecânica ou elétrica. Além de que também pode ser convertida diretamente em energia elétrica, utilizando efeitos sobre determinados materiais tornando-o possível, como por exemplo, o efeito fotovoltaico em uma placa solar.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de

água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). O presente trabalho apresentará um estudo focado em sistemas para aquecimento solar de piscinas.

2 JUSTIFICATIVA

A energia solar é uma forma de energia renovável, praticamente inesgotável e que pode ser aproveitada pela sociedade para suprir suas necessidades energéticas (VIANA, 2010). Sendo essencial para a manutenção da vida terrestre e pode ser aproveitada de diversas formas, seja por motivos biológicos para a maioria dos seres vivos ou para a conversão em eletricidade. Atualmente há três formas de energia solar: Energia Fotovoltaica (gera energia elétrica diretamente dos raios solares), Energia Termossolar (geração de energia elétrica proveniente dos raios solares de maneira indireta. Chama-se de forma indireta porque o calor do sol é captado e armazenado, para depois ser transformado em energia solar mecânica e, por fim, em eletricidade) e a Energia Térmica (utiliza o calor do sol para aquecer líquidos).

O estado do Ceará possui clima tropical (Köppen e Geiger, 1936) com temperatura média anual de 26° (INMET, 2018), além de um dos maiores setores hoteleiros do país, sendo esse um potencial para a demanda de aquecimento de água, além de clubes e parques aquáticos, piscinas residenciais e academias de ginástica que possuem atividades com piscinas.

Como consequência de um calor específico alto, a água absorve calor de forma mais lenta, dessa forma, em ambientes parados tais como piscinas ou caixas d'água, sua temperatura é mais baixa. Mesmo em dias em que as temperaturas estão muito altas, a água continua fria. Dias chuvosos a temperatura cai, em piscinas com cobertura o aquecimento da água proporciona conforto corporal durante a prática de exercícios ou lazer.

A temperatura indicada para a piscina depende de qual será sua finalidade de uso. Temperaturas determinadas por finalidades de uso de acordo com os padrões da Federação Internacional de Natação (FINA):

- Piscinas privadas (residenciais) e públicas (clubes e academias), usam-se temperaturas entre 28 e 30°C;
- Piscinas para prática de atividades físicas e esportivas (competições), usam-se temperatura de 26,5°C;
- Piscinas para tratamentos medicinais (fisioterapia), é empregado temperatura entre 33 e 35°C.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Análise da viabilidade técnica para implantação de coletores solares para aquecimento da piscina de uso esportivo do Instituto de Educação Física e Esportes da Universidade Federal do Ceará - IEFES, bem como os custos necessários para o investimento.

3.2 Objetivos específicos

- a) Dimensionar um sistema com coletores solares para aquecimento da piscina do IEFES – UFC.
- b) Averiguar a viabilidade técnica do local de acordo a NBR 15569.
- c) Análise dos custos e local para instalação dos coletores solares.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico discorrerá sobre os conceitos que são importantes para a pesquisa realizada neste trabalho. O Sol, radiação no Brasil e no mundo e os tipos de coletores usados para aquecimento de fluídos.

4.1 A fonte solar

O sol é uma bola quente de gases, principalmente hélio e hidrogênio, brilhante no coração do nosso sistema solar (NASA, 2017). Sem sua intensa energia e calor, a vida na terra não seria possível e sua influência vai além dos limites de Plutão. A temperatura no núcleo é de 15.000.000°C e na superfície de 6.000°C. O Potencial para energia solar é imenso, uma vez que essa energia é cerca de 200.000 vezes a capacidade de geração elétrica diária total do mundo (S. ASHOK, 2019). A radiação solar pode ser convertida em energia térmica (calor) ou em energia elétrica. Apesar de ser uma energia disponível de forma gratuita, a sua coleta, conversão e armazenamento ainda são caras diminuindo sua exploração.

O aproveitamento da energia solar pode ser usado de forma direta na iluminação, aquecimento de fluidos e ambientes ou na geração de potência mecânica ou elétrica, como fonte de energia térmica (ANEEL, 2005).

4.2 Radiação solar

Segundo Schoffel (2010, P.1), a radiação solar é fonte primária de energia para os processos biológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície. A sua importância para as plantas é, tanto, quantitativa (densidades de fluxos de energia usada na fotossíntese) como qualitativamente (comprimento de ondas e fotoperíodo, para indução ao florescimento e fotossíntese). Somado as condições atmosféricas, a energia total incidente sobre a superfície terrestre, também chamada de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Ocorre devido à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação).

O calor pode ser transmitido na atmosfera através de três processos: condução, convecção e radiação. Segundo Schoffel (2010, P.1), a Figura 2 mostra de forma ilustrativa os processos. Radiação é o processo de transferência de energia entre dois corpos sem haver, necessariamente, um meio de conexão entre eles. Esse é o principal processo de troca de energia

entre a Terra e o Sol. De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA),

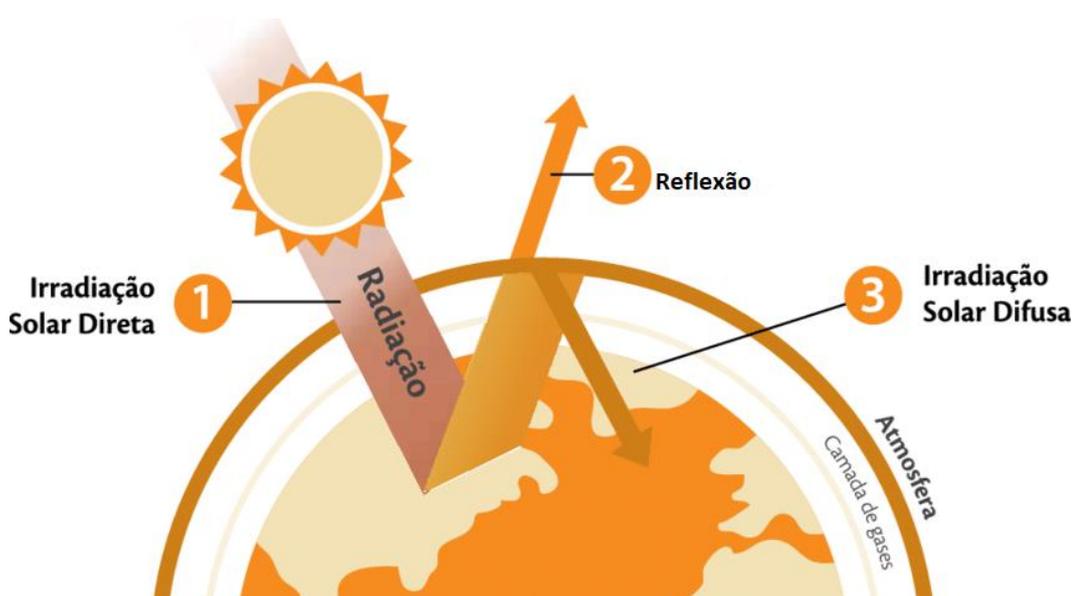
Radiação solar direta (GB): definida como a fração da irradiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua direção original.

Radiação difusa (GD): refere-se à componente da irradiação solar que, ao atravessar a atmosfera, é espalhada por aerossóis, poeira, ou mesmo, refletida pelos elementos constituintes dessa atmosfera.

Radiação global: é a soma das radiações direta e difusa.

Irradiação G: Define-se a constante solar (GSC) como a energia incidente por unidade de tempo e área, em uma superfície instalada fora da atmosfera da Terra, de modo a receber os raios solares com incidência normal. Essa constante tem valor aproximado de 1370 W/m^2 .

Figura 2 – Radiação solar global e seus componentes.



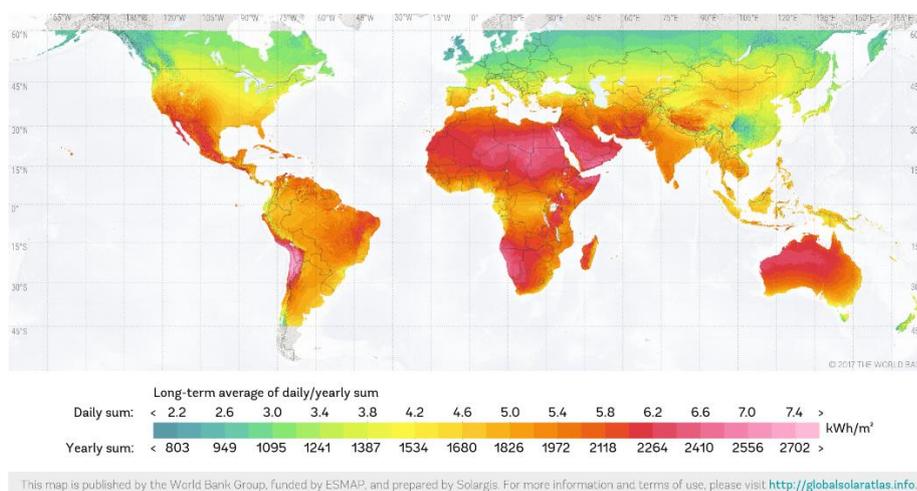
Fonte: Adaptado de: <<http://amdro2003.blogspot.com/2011/02/influencia-do-sol-no-aquecimento-global.html>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

4.2.1 Radiação solar no mundo

A energia fornecida pelo sol é intermitente e muda durante o dia e com as estações do ano, constante aproximada de 1370 W/m^2 . Quando 170 W/m^2 são integrados ao longo de 1 ano, os $5,4 \text{ GJ}$ resultantes que incidem em 1 m^2 ao nível do solo são aproximadamente a energia que pode ser extraída de um barril de petróleo, 200 kg de carvão ou 140 m^3 de gás natural. (World Energy Resources: 2013 Survey- World Energy Council).

No entanto, o fluxo muda de um lugar para outro. Algumas partes da terra recebem muito mais do que essa média anual. A maior irradiância média anual de 300W/m^2 pode ser encontrada na área do Mar Vermelho, e valores típicos são cerca de 200W/m^2 na Austrália, 185W/m^2 nos Estados Unidos e 105W/m^2 no Reino Unido. Estes dados mostram que o recurso solar anual é quase uniforme em quase todas as regiões do mundo. Já foi demonstrado que aplicações economicamente atraentes de energia solar não estão limitadas apenas às regiões mais ensolaradas. (World Energy Council, 2013). A figura 3 ilustra a irradiação global horizontal ao longo do dia e a soma anual.

Figura 3 – Irradiação global horizontal



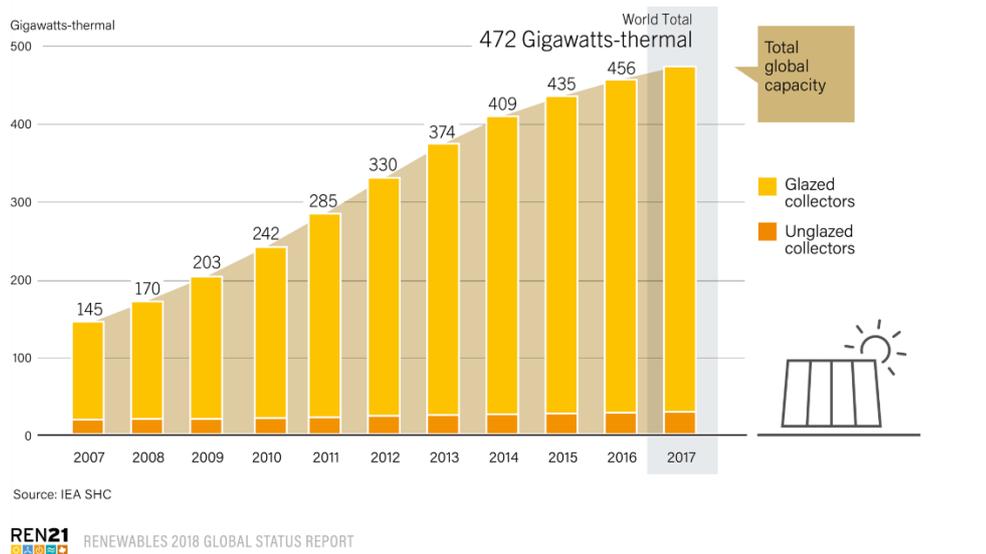
Fonte: Adaptado de: < <https://globalsolaratlas.info/downloads/world>>. Acesso em 19 Jul de 2019.

Segundo a Renewables Now (REN21 - 2018), o ano de 2017 bateu novos recordes em energias renováveis, caracterizado pelo aumento na capacidade de energia renovável, bem como pela queda dos custos, aumento de investimento e avanços em tecnologias. Esse aumento continuado em 2017 deu-se devido a alguns fatores, tais como, aumento do acesso ao financiamento; preocupações sobre segurança energética, meio ambiente e saúde humana; demanda crescente por energia em economias emergentes e em desenvolvimento; a necessidade de acesso a eletricidade e instalações de cozinha limpa; e iniciativas políticas dedicadas e metas ambiciosas.

Os sistemas de aquecimento e refrigeração abasteceram milhões de residências e edifícios comerciais em 2017 ao redor do planeta (REN21, 2018). A tecnologia térmica solar foi usada para diversos fins: água quente, aquecimento e resfriamento de espaços, secagem de produtos, dessalinização de água, fornecimento de vapor direto para processos industriais e comerciais. Os sistemas com coletores vidrados e não vitrificados forneceram

aproximadamente 388 TWh (1.397 PJ) de calor anualmente até o final de 2017, equivalente ao conteúdo energético de 228 milhões de barris de petróleo. (REN21, 2018). A Figura 4 ilustra o aumento exponencial da capacidade global dos coletores durante uma década.

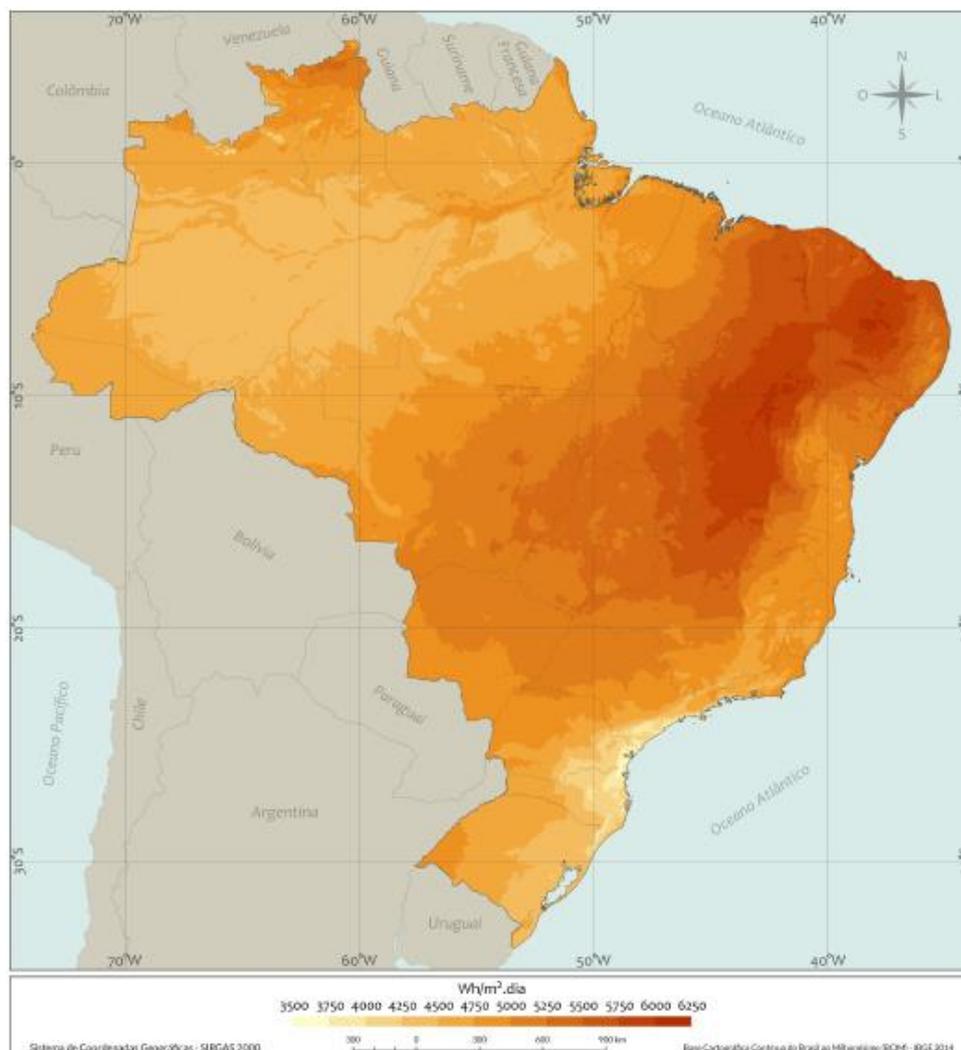
Figura 4 – Capacidade global de coletores para aquecimento de água, 2007 – 2017.



Fonte: Adaptado de: <http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_03/chapter_03/#sub_6>. Acesso em: 19 jul. 2019.

4.2.2 Radiação solar no Brasil

Figura 5 – Total diário da irradiação global horizontal – Média anual



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed. São José dos Campos: INPE, 2017. (Adaptado).

O mapa apresentado da Figura 5 mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – $6,2\text{kWh/m}^2$ - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global – $4,25\text{kWh/m}^2$ – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-

2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (1053 kWh/m²), Países Baixos (1019 kWh/m²) e Espanha (1766 kWh/m²), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados. (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2017).

5 COLETORES SOLARES

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como sendo coletor solar todo dispositivo que absorve radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica. Outra definição encontrada na literatura define coletores solares como sendo trocadores de calor que transformam radiação solar em calor. O coletor capta a radiação solar, a converte em calor, e transfere esse calor para um fluido (ar, água ou óleo em geral) (KALOGIROU, 2009).

Os coletores podem ser basicamente de dois tipos: não-concentradores e concentradores. Os coletores não concentradores possuem a mesma área de abertura (área para interceptação e absorção da radiação) e são aplicáveis para sistemas que necessitem de baixa temperatura. Em aplicações que demandem temperaturas mais elevadas, são mais adequados os concentradores solares, que possuem em geral uma superfície refletora (em alguns modelos são utilizadas lentes) que direcionam a radiação direta a um foco, onde há um receptor pelo qual escoam o fluido absorvedor de calor (KALOGIROU, 2009).

5.1 Coletores solares do tipo com concentração

Esse coletor tem como objetivo principal diminuir a necessidade de regular o direcionamento do coletor ao longo do dia, ou seja, teoricamente, não importa o posicionamento do sol uma vez que o coletor é curvo sempre direcionando os raios de sol para o mesmo local, o tubo horizontal central. Divide-se em duas categorias: concentrados cilíndricos e concentrados parabólicos. Na Figura 6 observa-se um concentrador do tipo cilíndrico.

Figura 6 – Concentrador do tipo cilíndrico.



Fonte: RENEWABLE POWER NEWS (2009).

Os coletores cilíndricos parabólicos, Figura 7, são revestidos por um material refletor em formato parabólico. Ao longo da linha de foco do refletor parabólico é colocado um tubo metálico preto, coberto por um tubo de vidro para evitar perdas de calor, denominado receptor (KALOGIROU, 2009).

Figura 7 – Concentrador do tipo parabólico.



Fonte: GLOBAL NEVADACORP (2011)

O disco parabólico é um concentrador de foco pontual. O disco rastreia o sol em dois eixos, e assim é capaz de apontar diretamente para o sol desde o nascer até o poente (KALOGIROU, 2009). Por possuir uma concentração pontual e sistema de rastreamento em dois eixos, o disco parabólico possui as maiores taxas de concentração (600 a 2000) e por essa razão é o coletor mais eficiente. Consequentemente, atinge temperaturas mais altas (de 100°C a 1500°C), atrás apenas da torre de concentração (que pode atingir até 2000°C) (KALOGIROU, 2009). Os coletores solares com concentração podem ser utilizados em diferentes sistemas para geração de energia elétrica.

5.2 Coletores solares do tipo sem concentração

Esse tipo de coletor é utilizado para aquecimento em edificações de pequeno porte, tais como, hotéis, casas, piscinas etc. A área de absorção e superfície são praticamente constantes. Os modelos principais são: Coletor solar plano aberto, coletor solar plano fechado e coletor solar de tubos à vácuo.

- Coletor solar plano aberto

Nesse coletor o absorvedor é plano, e a tubulação está no mesmo plano do absorvedor. Não possui cobertura, dessa forma, expondo o absorvedor e a tubulação. Devido à ausência da cobertura de vidro e do isolamento térmico, ele não atinge temperaturas elevadas como o coletor coberto, podendo chegar ao máximo a 40 °C. Sendo praticamente usado apenas para aquecimento de piscinas. Alguns modelos como o da Figura 8 do modelo Heliotek PP FLEX produzido pela Borsch garante um aumento de 8°C acima da temperatura ambiente.

Figura 8 – Coletor solar plano aberto para aquecimento de piscinas.



Fonte: Adaptado de: <<https://www.bosch-thermotechnology.com/br/pt/ocs/residencial/aquecedor-solar-para-piscina-732181-c/>>. Acesso em 20 de Jul de 2019.

- Coletor solar plano fechado

Um coletor solar plano fechado tem uma caixa e cobertura, protegendo e isolando termicamente o absorvedor e tubulações. Esse modelo, conforme pode ser visualizado na Figura 9, é o mais utilizado no Brasil (ABRAVA/DASOL), formado por uma caixa retangular onde recebe os raios de sol, principalmente os infravermelhos, que são os que provocam calor, esse raios atravessam a tampa de vidro liso e aquecem as aletas e tubos de cobre ou alumínio, que são pintados com uma tinta especial para máxima absorção da radiação solar e transferência de calor para o fluido a ser aquecido, através dos tubos de cobre. A primeira camada da placa é totalmente coberta por vidro, que serve como revestimento para o alumínio que compõe o coletor. Depois, estão os tubos por onde a água passa, junto com estruturas mais escuras chamadas aletas, que retém o calor do sol. Por fim, é a vez do isolante térmico, que em geral é feito em lã de vidro. A questão estética do **coletor solar plano** também agrada mais, já que é liso, sem protuberâncias e com um efeito espelhado.

Figura 9 – Coletor solar plano fechado – Modelo MC Evolution Pro Heliotek - Borsch



Fonte: Adaptada de: <<https://www.bosch-thermotechnology.com/br/pt/ocs/residencial/coletores-solares-para-banho-732180-c/>>. Acesso em 20 de Jul de 2019.

- Coletor solar de tubos à vácuo

Esse modelo não trabalha com placas coletoras, Figura 10, usa tubos que substituem a lâmina de vidro pelo vácuo. Tem uma camada de absorção para não refletir os raios solares e garantir a absorção de calor. Em alguns sistemas, os tubos são acoplados diretamente no reservatório de água, trazendo complicações como excesso de peso no telhado e dificultando o processo de instalação, demandando mais cuidado e profissionalismo. É uma tecnologia recente, os custos ainda são elevados e ainda não são fabricados em território nacional. Para regiões onde há pouca radiação, sugere-se os coletores do tipo tubos à vácuo. Essa recomendação é aplicável em regiões frias ou onde a temperatura não precisa passar dos 100°C. China e EUA são os principais mercados onde esse tipo de coletor é usado. O Brasil ainda não tem um mercado amplo. Sua grande vantagem está em relação as perdas térmicas que são por convecção são eliminadas no ambiente à vácuo, por outro lado, a desvantagem está no custo e no risco de o coletor perder vácuo com a entrada de ar no tubo, caso isso aconteça a eficiência do sistema é reduzida.

Figura 10 – Coletor solar de tubos à vácuo – Modelo Unisol de 15 tubos



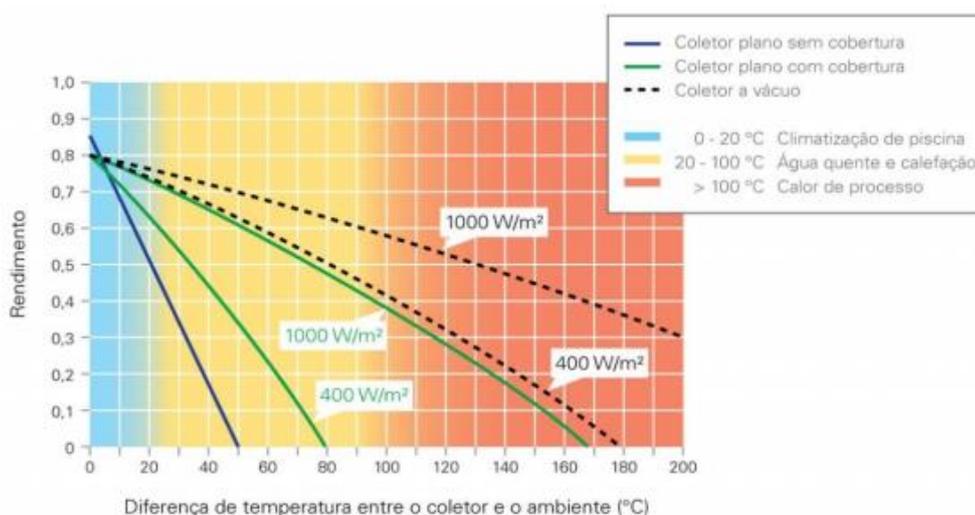
Fonte: Adaptado de: < <https://www.oaquecedorsolar.com.br/aquecedor-solar-vacuio-unisol> >. Acesso em 20 de julho de 2019.

5.3 Eficiência dos coletores

As condições climáticas do lugar fazem com que a eficiência dos coletores seja variável, atribuindo um comportamento característico para cada coletor, principalmente em função da diferença de temperatura entre a água na entrada e na saída do coletor. Com base nisso, a escolha da melhor placa para determinadas aplicações deve ser feita em função das curvas de eficiência. Essas curvas são obtidas através de dados fornecidos pela INMETRO na Tabela de Eficiência dos coletores solares.

Além dos ensaios realizados pelos fabricantes de coletores solares que são encaminhados para o INMETRO, ao receber esses dados, o órgão realiza alguns ensaios que influenciam na curva de eficiência do coletor: teste de rendimento óptico F_r (τ , α), sendo τ a transmissividade do vidro e α a absortividade da superfície, onde a eficiência térmica do coletor é testada por meio de uma situação real. E outro teste que avalia as perdas térmicas F_r (U_L), sendo U_L o coeficiente global de perdas térmicas nas laterais, topo e base ($W/m^2 \cdot K$), é o fator de remoção de calor (F_r) que depende das características técnicas relacionadas à fabricação do coletor como a qualidade da solda entre o tubo e a aleta; espessura da aleta; quantidade de aletas, ausência de infiltração de água no interior da caixa; espessura do isolante, absortividade da tinta e transmissividade do vidro.

Figura 11 – Eficiência dos coletores planos com e sem vidro.



Fonte: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural. ABRINSTAL, 2011.

Os resultados podem ser obtidos consultando o manual do fabricante ou, no caso dos coletores testados em laboratório público, através da tabela do INMETRO. A tabela é atualizada mensalmente e pode ser consultado no sítio do INMETRO.

Tabela 1 – Classificação dos coletores solares para aplicação em piscinas



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA

PBE - Coletor Solar - Piscina

Rendimento-Piscina (PMEe - kWh/mês.m²)

98 < PMEe	A
90,0 < PMEe <	B
80,0 < PMEe <	C
70,0 < PMEe <	D
65,0 < PMEe <	E



Tabelas de Consumo / Eficiência Energética

Fornecedores: 16

Marcas: 24

Modelos: 105

Data de 28/2/2020

Fornecedor	Marca	Modelo	Aplicação	Pressão de		Área Externa do Coletor (m²)	Produção Média Mensal de		Eficiência Energética Média (%)	Classificação	Material da Superfície Absorvedora	Coletores Fechados			Coletores		Número do Registro de Objeto	Data de Concessão
				(kPa)	(mca)		Por Coletor (kWh/mês)	Por m² Específica (kWh/mês.m²)				η_0	a_1	a_2	$\eta_1(1-b_1 \cdot \tau_a)$	$b_1 + b_2 \cdot \tau_a$		
A.C.F Indústria e Comércio Ltda	ACF	10000	Piscina	100	10,00	0,94	101,0	107,5	73	A	Polipropileno				0,913	18,317	004395/2015	17/3/2016
A.C.F Indústria e Comércio Ltda	ACF	10003	Piscina	100	10,00	1,42	152,6	107,5	73	A	Polipropileno				0,913	18,317	004395/2015	17/3/2016
A.C.F Indústria e Comércio Ltda	ACF	10004	Piscina	100	10,00	1,88	202,1	107,5	73	A	Polipropileno				0,913	18,317	004395/2015	17/3/2016
A.C.F Indústria e Comércio Ltda	ACF	10005	Piscina	100	10,00	2,34	251,5	107,5	73	A	Polipropileno				0,913	18,317	004395/2015	17/3/2016
A.C.F Indústria e Comércio Ltda	ACF	10006	Piscina	100	10,00	2,80	301,0	107,5	73	A	Polipropileno				0,913	18,317	004395/2015	17/3/2016
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	PP FLEX 2	Piscina	50	5,10	0,66	66,0	100,0	76	A	Polipropileno				-17,121	0,935	001623/2018	26/3/2018
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	PP FLEX 3	Piscina	50	5,10	0,99	99,0	100,0	76	A	Polipropileno				-17,121	0,935	001623/2019	26/3/2018
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	PP FLEX 4	Piscina	50	5,10	1,32	132,0	100,0	76	A	Polipropileno				-17,121	0,935	001623/2020	26/3/2018
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	PP FLEX 5	Piscina	50	5,10	1,65	165,0	100,0	76	A	Polipropileno				-17,121	0,935	001623/2021	26/3/2018
CKS Ind. De Plásticos e Aquecedores	KS Aquecedores	KS 200	Piscina	200	20,00	1,00	93,3	93,3	67,6	B	Polipropileno						005981/2017	19/9/2017

Fonte: Adaptado de: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/PBE-Solar_2018_-_Coletor_Solar_-_Piscina.pdf >. Edição Março de 2021. Acesso em 27 Março 2021.

A tabela 1, específica para aplicação em piscinas, mostra divisões por Classificação de “A” a “E”. A indica um ótimo rendimento, enquanto E indica um rendimento ruim, observa-se que esses coletores classificados em “E” são os que apresentam os maiores valores de perdas térmicas (Fr_{UL}) ou de rendimento óptico $Fr(\tau, \alpha)$.

Além dessas informações principais é possível consultar outras informações como: os fabricantes que têm etiqueta, a marca do coletor, o modelo, as pressões de trabalho, a área externa, a produção média mensal de energia e a eficiência. A tabela completa pode ser consultada no sítio do INMETRO.

Antes de adquirir um coletor solar e para uma análise prática é importante consultar a tabela do INMETRO que fornece os valores de perdas térmicas $Fr(U_L)$, rendimento óptico $Fr(\tau, \alpha)$, área, eficiência energética e produção média mensal de energia por coletor e por área.

5.4 Posicionamento dos coletores

O desempenho do sistema de aquecimento solar depende também do posicionamento do conjunto, o entendimento permite a construção de instalações mais eficientes, aproveitando melhor a radiação solar. (Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural – 2011).

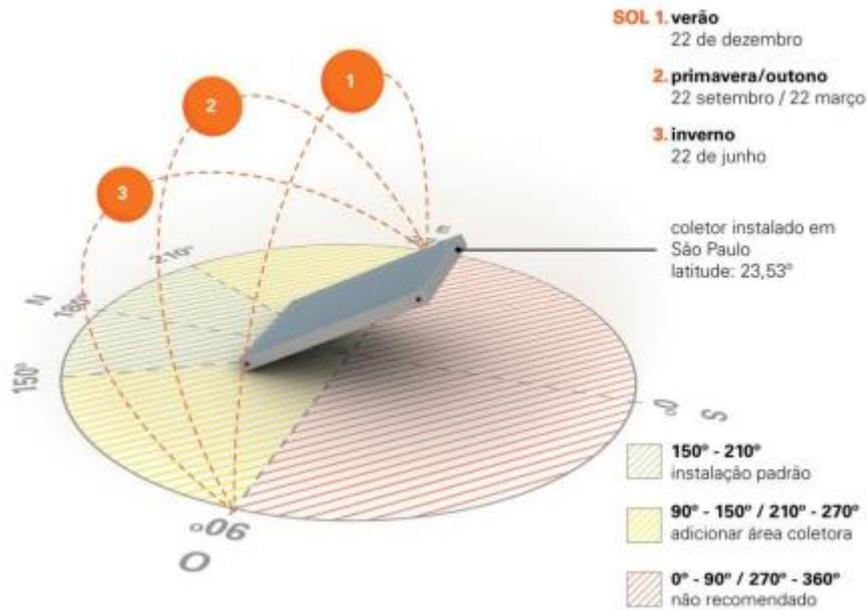
Segundo o Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural (2011), a inclinação em relação ao plano horizontal e a direção de instalação dos coletores solares são os dois elementos que influenciam o dimensionamento do sistema de aquecimento solar, conforme pode ser visto na Figura 12. De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecedores (2017), a incidência da radiação solar deve atingir o coletor o mais que possível perpendicularmente. Conforme a época do ano, há uma variação da inclinação do sol, dessa forma, os coletores devem ser instalados com uma inclinação que maximiza e uniformiza, mês a mês, a incidência da radiação solar durante o período de um ano.

Como regra básica para instalação, identificada em diversas metodologias internacionais, é recomendado uma inclinação equivalente em relação a latitude da região onde será feita a instalação, somando-se mais 10° . Para a cidade de Fortaleza, que possui a latitude aproximada de $3,71^\circ$, logo, orienta-se a instalação dos coletores com uma inclinação de $13,71^\circ$.

De acordo com o Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural (2011) os coletores devem estar direcionados simétricos em relação à trajetória do sol, posição que permite o maior tempo de incidência do sol ao longo do

dia. O maior aproveitamento ocorre quando os coletores solares são direcionados para o Norte Geográfico (quando instalados no hemisfério Sul como no caso do Brasil) e de Leste para Oeste.

Figura 12 – Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico

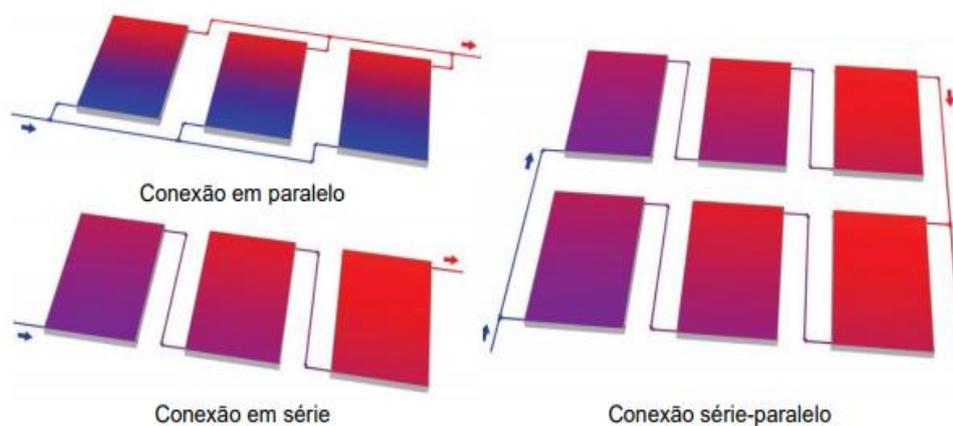


Fonte: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Sola e Gás Natural. ABRINSTAL, 2011.

5.5 Associação dos coletores

Analogamente aos resistores e capacitores, os coletores solares também podem ser associados em série, paralelo ou misto (também chamada de série-paralelo) como pode ser visto na Figura 13. É importante seguir orientação do manual do fabricante, verificando o sentido do fluxo da água e a configuração do sistema.

Figura 13 – Associação dos coletores solares



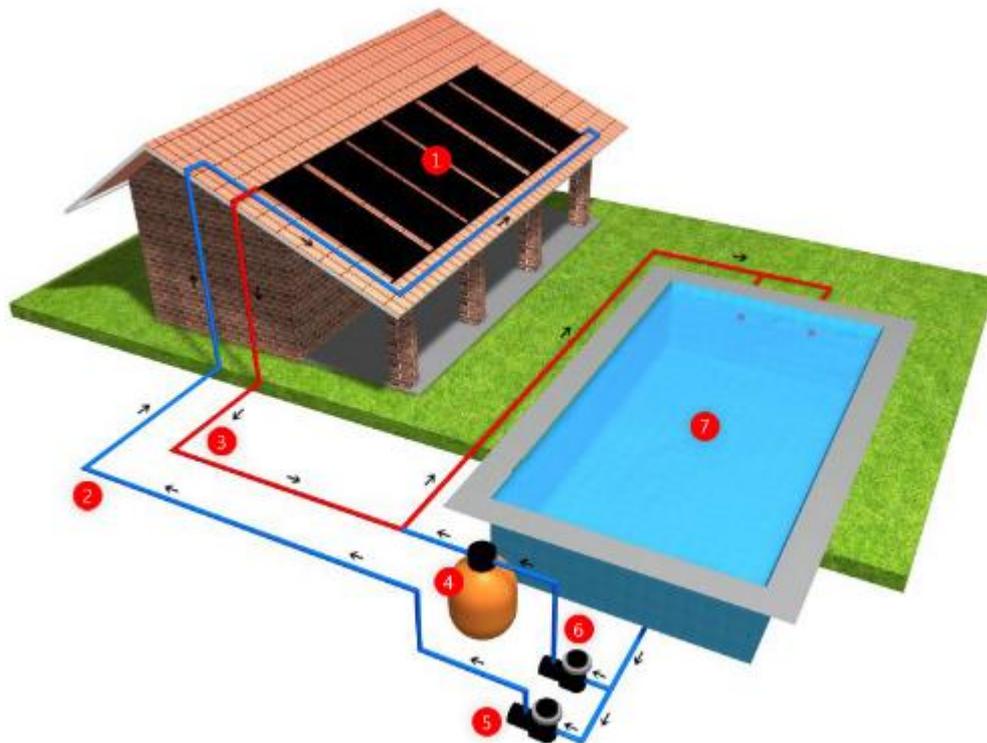
Fonte: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Sola e Gás Natural. ABRINSTAL, 2011.

A ligação em série tem a vantagem por ser uma instalação simples o baixo custo, porém há um menor rendimento e uma maior perda de carga. Coletores associados em paralelos apresentam vantagens quanto ao rendimento que é maior e uma perda de carga menor, a contraponto, sua desvantagem está no custo. A ligação mista apresenta um baixo custo e é uma instalação simples, o rendimento é maior e a perda de carga menor, sua desvantagem está quanto a estrutura do coletor, este necessita ter quatro entradas e um limite de apenas quatro coletores para a associação. (Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações – ABRINSTAL)

6 PROJETO PARA AQUECIMENTO DA PISCINA

A principal diferença entre um projeto de sistema de água quente para edificações para o aquecimento solar de piscinas está na não necessidade de reservatórios térmicos (a piscina é o reservatório) e utilizam coletores do tipo aberto. Pode ser instalado diretamente no solo sem a necessidade de estruturas metálicas para mantê-los inclinados e direcionados para o Norte ou nos telhados. A tubulação que interliga os coletores à piscina pode ser subterrânea, uma vez que a terra funciona como um excelente isolante térmico. A grande diferença entre o sistema de aquecimento de banho residencial e o de piscina é o volume de água que circular nas placas; no sistema de banho residencial circula em média 1,5 litros por m² por minuto, enquanto na piscina circulam 4,5 litros, ou seja, três vezes mais. (Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar). Na Figura 14 os componentes necessários para o funcionamento de um sistema de aquecimento solar para piscina podem ser visualizados.

Figura 14 – Ilustração esquemática do funcionamento de um sistema de aquecimento de piscina por circulação forçada em uma residência.



Fonte: Soletrol Aquecedores Solares. Disponível em: <<https://www.soletrol.com.br/produtos/piscinas/>>. Acesso em 09 dez 2019.

1. **Coletor solar de piscina:** Absorve a irradiação solar e a transforma em energia térmica. Os coletores devem ser construídos de material que resista aos produtos químicos diluídos na água da piscina, a maioria é feito de polipropileno (pp), que podem causar danos aos componentes das placas coletoras.
2. **Linha de água fria:** Tubulação onde o líquido percorre da piscina até o coletor antes de ser aquecido.
3. **Linha de água quente:** Tubulação onde líquido após aquecido percorre, do coletor até a piscina.
4. **Filtro:** Além de reter sujeira que passou pelo pré-filtro, sua função é receber a água que vem da piscina e distribuí-la de forma uniforme.
5. **Bomba dos coletores:** Também conhecido por bomba-solar, o motor-bomba promove o fluxo de água entre os coletores e a piscina. Opera de acordo com o controlador diferencial de temperatura (CDT).
6. **Bomba do filtro:** Componente que faz a filtração acontecer, tem a função de sugar a água e passá-la de forma eficiente pelo filtro, geralmente é acompanhado de um pré-filtro, onde impurezas físicas são retidas antes de seguir para o filtro.
7. **Piscina (reservatório térmico):** Depósito que reserva a água aquecida.

Os acessórios necessários para o funcionamento de um sistema de aquecimento solar para piscina são listados abaixo.

- Controlador diferencial de Temperatura (CDT): Atua no comando da bomba de circulação de água. Possui funções que impedem o superaquecimento e o congelamento de água nas tubulações.
- Adaptador do Sensor: Suporte para apoio de adaptador de temperatura.
- Terminal Saída/Entrada de módulo Coletor: Permite a conexão dos coletores à tubulação de entrada/Saída e adaptador do sensor.
- Anel de vedação do tubo condutor: Garantir a junção dos modos coletores impossibilitando vazamentos
- Conjunto Abraçadeira c/ trava: Constituído de abraçadeiras macho / fêmea, travador e anel de vedação. Sua função é fixar os módulos coletores entre si, bem como os terminais de saída e os caps.
- Tampão do módulo condutor: Responsável pela vedação e fechamento de duas das quatro extremidades de entrada e saída de água do módulo coletor.
- Válvula Quebra Vácuo (Ventosa): Evita pressões negativas durante a drenagem, ao desligar a bomba.
- Válvula de retenção: A *válvula de retenção* é um dispositivo mecânico que permite que a água somente flua em uma direção. Esta válvula é instalada geralmente em casa de máquinas, após a bomba, e serve para evitar que os coletores esvaziem, prejudicando a leitura da temperatura da água nos sensores, prevenindo o ‘Golpe de Aríete’, e consequentemente a danificação do sistema.

6.1 A NBR 15569

Para iniciar o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar é necessário ter conhecimento da norma NBR 15569 – Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. Esta norma dita os requisitos para esse tipo de sistema considerando desde sua concepção, passando pelo dimensionamento, arranjo hidráulico e instalação até a sua manutenção. Orienta também os usuários quanto aos seus direitos e à documentação, como por exemplo o manual de operação e manutenção, que pode ser exigida das empresas instaladoras.

É durante a fase de projeto das edificações que decisões fundamentais a respeito do conceito energético da edificação são tomadas, logo, recomenda-se que nessa fase opte-se pelo sistema de aquecimento solar de água. Essa decisão antecipada possibilita aos profissionais envolvidos possam contribuir de forma a melhorar o desempenho da instalação, além de reduzir de 30 a 50% o custo da instalação em relação ao custo da adaptação pós-construção.

Um projeto de sistema de aquecimento solar, assim como qualquer projeto de engenharia, necessita documentação. A NBR 15569 lista vinte itens mínimos para essa documentação. O quadro 1 contém os itens.

Quadro 1 – Documentação do projeto.

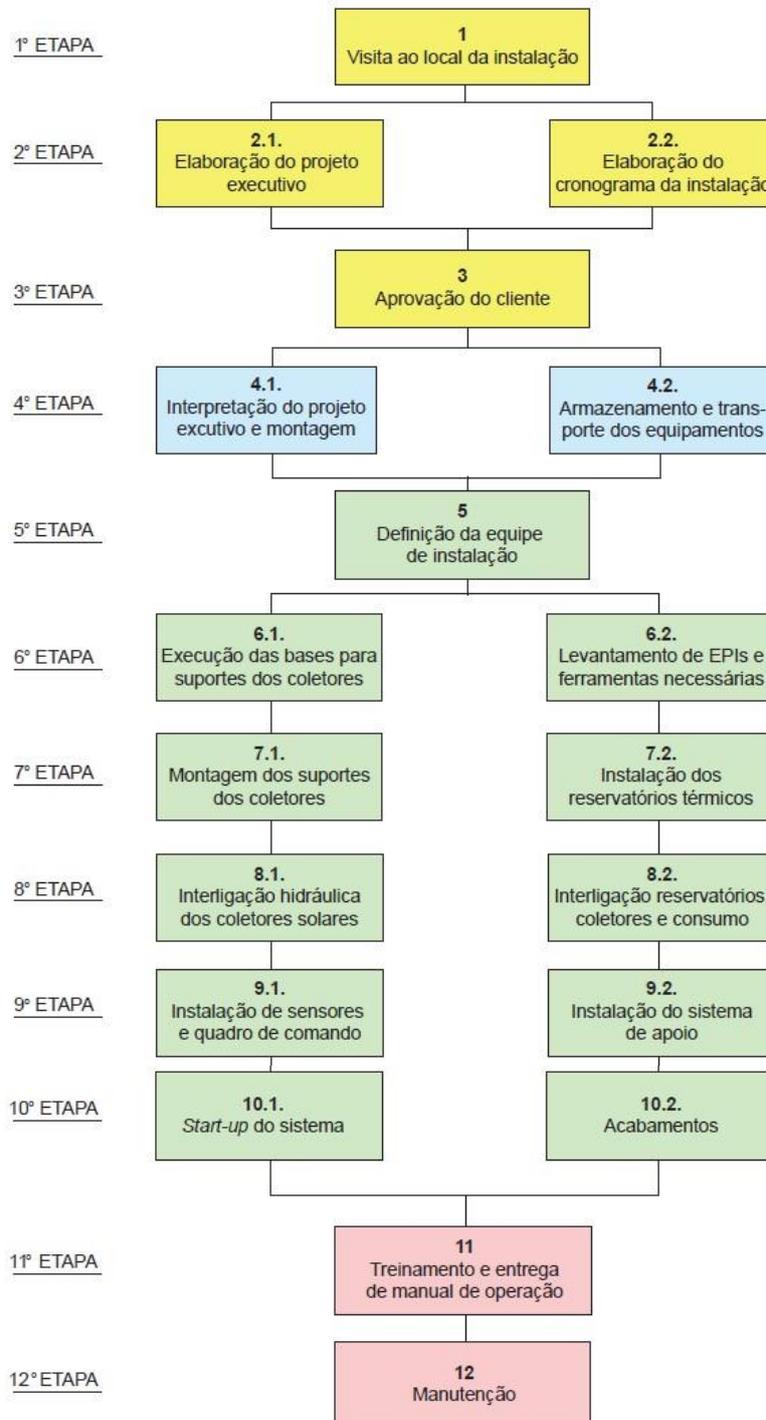
A documentação do projeto deve contemplar no mínimo os seguintes elementos:					
1	Premissas de cálculo	8	Área coletora	15	Indicação do norte geográfico
2	Dimensionamento	9	Ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares	16	Planta, corte, isométrico, vista, detalhe e diagrama esquemático, necessários para perfeita compreensão das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes
3	Fração solar	10	Estudo de sombreamento	17	Esquema, detalhes e especificação para operação e controle de componentes elétricos (quando aplicável)
4	Memorial descritivo	11	Previsão de dispositivos de segurança	18	Especificação dos coletores solares e reservatórios térmicos
5	Volume de armazenamento	12	Massa dos principais componentes	19	Especificação de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba
6	Pressão de trabalho	13	Considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água	20	Tipos e localização de suportes e métodos de fixação de equipamentos, quando aplicável.
7	Fontes de abastecimento de água	14	Localização, incluindo endereço		

Fonte: Apostila Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar. Ekos Brasil.2010.

6.2 Etapas do projeto

De acordo com a NBR 15569 pode-se dividir o projeto para aquecimento solar em 4 fases compostas por 12 etapas. O Fluxograma 1 ilustra essas divisões e etapas.

Fluxograma 1 - Fases e etapas de um projeto de aquecimento solar.



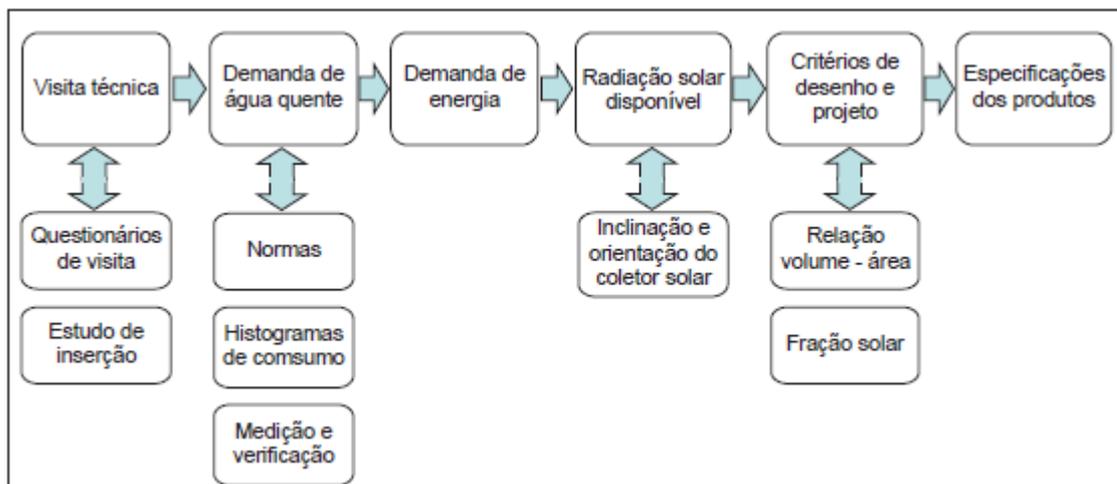
As etapas 1, 2 e 3 compõem a primeira fase do projeto. Essa fase é caracterizada pela visita ao local para obtenção de informações necessárias para a elaboração do projeto, realização dos cálculos e aprovação do cliente. Nessa etapa a visita ao local é fundamental, uma vez que é necessário avaliar o consumo e estrutura da edificação, a existência de alguma árvore ou prédios nas imediações que possam interferir na insolação diária e o acesso ao imóvel e ao local da instalação.

A segunda fase é composta apenas pela quarta etapa, nessa fase o instalador interpreta o projeto, seleciona profissionais, separa equipamentos e ferramentas necessárias para a montagem, além de armazenamento e transporte de equipamentos.

A terceira fase é caracterizada desde a etapa 5 até a etapa 10. Refere-se a montagem dos equipamentos, suportes e tubulações hidráulicas na obra, é finalizada com o sistema operando e em funcionamento. Após a verificação inicia-se a quarta e última fase, composta pelas etapas 11 e 12, nessa fase o manual de operação é entregue ao cliente, além de esclarecimentos sobre os cuidados de manutenção preventiva.

Para este trabalho, o foco será apenas na primeira fase do projeto, uma vez que há limitações físicas e econômicas que impossibilitam a continuação do projeto. Todavia, esta etapa é muito importante, e precisa ser detalhada com cuidado seguindo as normas e orientações necessárias. O correto dimensionamento do sistema é garantido durante a visita técnica. É importante que o projetista siga um roteiro para avaliar os hábitos de consumo de água quente do cliente, nível de conforto almejado e detalhes técnicos da hidráulica da instalação, como mostrado no Fluxograma 2. É nessa fase que as condições climáticas da região e a fração solar, ou seja, a expectativa de economia que espera atingir é avaliada.

Fluxograma 2 - Premissas básicas que devem ser seguidas durante a visita técnica.



Fonte: Apostila Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar. Ekos Brasil.2010.

7 ESTUDO DE CASO: PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR DA PISCINA PARA USO ESPORTIVO DO IEFES – UFC

7.1 Metodologia

Nesta seção os procedimentos para dimensionamento do estudo de caso, através do levantamento de dados e adição do sistema de aquecimento solar de água para piscina de uso controlado serão descritos, assim como as etapas do método utilizado.

Para este estudo de viabilidade técnica e custos, busca-se o tempo de retorno para implementação de coletores solares para aquecimento de água para piscina do IEFES, localizado no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará no município de Fortaleza. Considerou-se um sistema que atende a demanda média de uso de uma piscina de uso esportivo semiolímpica.

7.2 Escolha do local

A piscina do IEFES, objeto de estudo não é coberta. Possui 25 m de comprimento, 20 m de largura e uma profundidade de 2 m, portanto o volume é de 1000 m³.

7.3 Visita ao IEFES

Realizou-se uma visita ao IEFES no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará para o levantamento das informações necessárias ao projeto de viabilidade técnica. Equipamentos como câmera fotográfica, papéis para anotação ajudaram no registro de informações para tirar dúvidas posteriores. Durante a visita, notou-se que a piscina se encontra distante de outros prédios que pudessem sombrear os coletores. A posição é favorável a uma possível implementação dos Sistemas de Aquecimento Solar - SAS, ajudando na captação e aproveitamento da radiação solar e posição dos coletores solares.

7.4 Dimensionamento

Para o dimensionamento do SAS para piscinas nesse estudo foi baseado no método *F-chart*, seguindo os passos descritos no manual aquecimento solar de piscina new acquapool da OUROFINO que se baseia na Norma ABNT NBR 15569, que trata do sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalações.

O método *F-chart* permite calcular a cobertura de um sistema solar, ou seja, a sua contribuição para a entrada de calor total necessária para cobrir as cargas térmicas, e o desempenho térmico por um longo período. (ABNT 2008). Uma vez que esse método permite dimensionar todos os equipamentos utilizados no SAS sendo importante para a análise econômica estudar como um todo, assim esse método é o mais adequado para este estudo de caso.

7.4.1 Viabilidade Técnica

Para a verificação da viabilidade técnica para implantação do SAS, seguiu-se o roteiro de verificações preliminares para a avaliação de viabilidade para instalação do SAS encontrado no anexo F da ABNT NBR 15569:2008, onde são elencados 12 itens:

1. Identificar localização das prumadas, ponto de abastecimento de água fria e ponto de entrega de água quente.
2. Verificar as características da fonte de energia elétrica como tensão de alimentação compatível com o equipamento, quadro de comando, corrente dos disjuntores compatível com o equipamento, bitola e o estado de conservação dos cabos de ligação, uso de DR.
3. Verificar o estado de conservação das tubulações de água fria /quente existentes, bem como sua adequação no tocante a dimensões, isolamento térmico, conexões para admissão, saída e dreno de água.
4. Identificar para o(s) coletor(es), reservatório(s) térmico(s) e caixa(s) d'água se o local onde cada um será instalado os comportará.
5. Verificar se a orientação do local de instalação do(s) coletor(es) solar(es) está para o Norte ou se o desvio existente está conforme recomendado.
6. Identificar possíveis sombreamentos no local de instalação do(s) coletor(es) solar(es) devido a construções vizinhas, árvores, obstáculos ou o próprio telhado.
7. Verificar se há condições estruturais mínimas para onde o peso do(s) coletor(es) solar(es), respectivos suportes, reservatório(s) térmico(s) e caixa(s) d'água serão transportados e instalados.

8. Verificar as condições de acesso ao(s) coletor(es) e reservatório(s) térmico(s) para realização da instalação e posterior manutenção e limpeza.
9. Verificar a acessibilidade dos equipamentos nos locais de instalação e, caso seja necessário, se existe condições para transporte vertical.
10. Identificar todo o material que possa ser necessário na instalação ou as distâncias aos fornecedores de materiais mais próximos.
11. Verificar se a pressão do ponto de alimentação hidráulica do SAS é compatível com as características dos produtos a serem instalados.
12. Verificar a origem e qualidade do abastecimento de água fria.

Caso o local escolhido não atenda as condições citadas acima, a norma orienta que o instalador comunique ao usuário, projetista e/ou fornecedor do SAS, para que sejam providenciadas as correções necessárias que possibilitem a sua correta instalação e operação.

7.4.2 Dimensionamento do Sistema

O coletor solar para piscina da marca KS Aquecedores, modelo KSD – 4000 foi escolhido para esse estudo, uma vez que suas especificações técnicas para aplicação cumprem o requisito necessário mantendo o aquecimento da piscina até 35°C, além de dispor das informações técnicas e econômicas de fácil acesso no sítio da empresa. Na Figura 15 encontram-se as características do coletor escolhido.

Figura 15 – Número máximo de coletores por bateria

	KS 200	KS 300	KS 400	KS 500	KSD 2000	KSD 3000	KSD 4000	KSD 5000
Dimensões (mm)	2000x500	3000x500	4000x500	5000x500	2000x1000	3000x1000	4000x1000	5000x1000
Área total (m ²)	1,0	1,5	2,0	2,5	2,0	3,0	4,0	5,0
Peso vazio (kg)	2,4	3,6	4,8	6	4,8	7,2	9,6	12,0
Peso com água (kg)	6,6	9,8	13,1	16,4	13,1	19,6	26,2	32,7
Produção mensal de energia por coletor (kWh/mes)*	90,8	137,2	182,6	228,9	193,6	288,86	388,6	485,45
Produção mensal de energia por m ² (kWh/mes.m ²)*	93,3	93,3	93,3	93,3	100,3	100,3	100,3	100,3
Produção diária de energia por coletor (BTU´s)	10.300	15.600	20.700	26.000	22.000	32.800	44.200	55.200
Eficiência energética média (%)	67,67	67,67	67,67	67,67	70	70	70	70
Vazão de água recomendado por coletor (l/h)	300	300	300	300	300	300	300	300
Pressão de trabalho (MCA)	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Pressão de trabalho (PSI)	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22
Quantidade máxima de coletores por bateria	30	20	15	12	15	10	8	6
Inclinação máxima (°)	30	30	30	30	30	30	30	30

Fonte: Manual Técnico KS Aquecedores.

Consultando o manual aquecimento solar de piscina new aquapool da OUROFINO que propõe um cálculo matemático baseado no modelo F-chart, calculou-se o número de coletores solares necessários para esse sistema. A quantidade de coletores é calculada uma vez que a área de superfície é conhecida, multiplicando por um fator de correção para o clima da região e dividindo pela área do coletor utilizado escolhido.

1º Passo – Quantidade de coletores solares

Como a piscina possui formato retangular de comprimento igual a 25 m e largura de 20 m, a área total é de 500 m². É necessário utilizar o fator de correção para ajustar a temperatura requerida com base na temperatura da região, nesse estudo o fator é de 0,8, uma vez que Fortaleza é caracterizada como clima quente com temperatura média de 26°C (INMET, 2018), substituindo o fator de correção retirado da tabela 2 e seguindo as características do coletor solar escolhido, a quantidade de coletores necessários são:

$$[\text{Quantidade de coletores}] = \frac{\text{Área da piscina} \times \text{Coeficiente de correção}}{\text{Área do coletor utilizado}}$$

$$[\text{Quantidade de coletores}] = \frac{500 \text{ m}^2 \times 0,8}{4 \text{ m}^2}$$

$$[\text{Quantidade de coletores}] = 100 \text{ coletores}$$

Tabela 2 - Fator de Correção.

Coeficiente por região				
Temperatura desejada	Muito Quente	Temperada	Fria	Muito Fria
28°C a 30°C	0,80 m ²	1,00 m ²	1,10 m ²	1,30 m ²
30°C a 32°C	0,90 m ²	1,10 m ²	1,20 m ²	1,50 m ²
32°C a 34°C	1,20 m ²	1,40 m ²	1,50 m ²	1,70 m ²

Fonte: Manual Técnico Mastersol. (Adaptado).

2º Passo – Dimensionamento do kit de instalação

Após calcular o número de coletores solares necessário para o sistema de aquecimento da piscina, é necessário dimensionar o kit de instalação. Para essa instalação serão necessários os seguintes itens:

- Kit de abraçadeira (2 Abraçadeiras).
- Kit acessórios para instalação 2 tampões, 2 adaptadores e 4 abraçadeiras.
- Nº de válvulas quebra vácuo

De acordo com o manual técnico Aquapool é necessário 1 unidade de kit abraçadeira para cada conjunto de placa coletora adicional, 1 kit de acessórios para cada bateria e 1 válvula quebra vácuo a cada 100 m².

3º Passo – Número máximo de coletores por bateria

A fim de garantir equilíbrio hidráulico e maior eficiência térmica, faz-se necessário respeitar o limite máximo de coletores por bateria. O manual técnico do fabricante define o número máximo de acordo com o tamanho do coletor solar, para o coletor escolhido esse número máximo é de 8 coletores solares por bateria. Pelo dimensionamento, são necessários 100 coletores solares para garantir o aquecimento da piscina na temperatura de 28 °C. O sistema será interligado em ligação mista com 11 baterias de 8 coletores e 2 baterias de 6 coletores.

4º Passo – Vazão nos coletores

Para calcular a vazão é preciso conhecer os dados da área do coletor e da faixa de vazão disponibilizada pelo fabricante. Para o modelo escolhido o faixa de vazão é de 300 L/h/m² de coletor e a área de cada coletor é de 4 m². Para efeitos de cálculo, considerou-se 11 baterias de 8 módulos.

[Área Total da Bateria]

= Quantidade de módulos da bateria x Área coletora do módulo

$$[Área Total da Bateria] = 8 \times 4 \text{ m}^2$$

$$[Área Total da bateria] = 32 \text{ m}^2$$

Calculando a vazão, temos:

$$[Vazão] = Área Total da Bateria \times Faixa de vazão$$

$$[Vazão] = 32 \text{ m}^2 \times 300 \text{ L/h/m}^2$$

$$[Vazão] = 9600 \text{ L/h}$$

É importante salientar que a vazão encontrada corresponde a vazão apenas nos coletores solares, ou seja, para a recirculação de água na piscina é indicado outra bomba e não utilizar apenas uma para as duas funções.

5º Passo – Dimensionamento da bomba hidráulica

Com base no valor da vazão calculado no 4º Passo e consultando site de fabricantes de bomba escolheu-se o filtro de piscina da Marca Dancor modelo DFR-19-10 com bomba, uma vez que, é indicado para piscinas do tipo alvenaria de até 78400 L com vazão de 9800 L/h sendo suficiente para atender a vazão nos coletores calculada para a piscina do IEFES. Como a piscina já está em atividade não considerou-se necessário para esse trabalho dimensionar a bomba para a piscina, uma vez, que no local já existe uma em funcionamento.

8 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Quadro 2 – Estimativa de preços de implantação do SAS.

CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SAS DO IEFES - UFC					
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço médio	
				Unitário	Total
1	Coletor solar plano 4 m ²	un	100	R\$ 605,00	R\$ 60.500,00
2	Válvula quebra vácuo	un	5	R\$ 184,00	R\$ 920,00
4	Tubos CPVC 22 mm	m	20	R\$ 25,90	R\$ 172,30
5	Controlador	un	1	R\$ 374,30	R\$ 374,30
6	Capa térmica	un	1	R\$ 4.350,00	R\$ 4.350,00
7	Estrutura de suporte de coletores	m ²	200	R\$ 2,75	R\$ 550,00
8	Bomba	un	1	R\$ 1.386,00	R\$ 1.386,00
	Total				R\$ 68.252,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 2 estima o valor total para implantação do SAS para a piscina do IEFES – UFC. Os valores usados para cálculo de implantação dos equipamentos foram retirados de catálogos online do sítio dos fabricantes de coletores solares, bombas e acessórios hidráulicos, o critério utilizado para a escolha dos componentes foi a eficiência e qualidade, por conseguinte, o preço alto tornou o sistema caro. Alguns acessórios, tais como tês, cotovelos, pregos e parafusos não entraram no cálculo a fim de agilizar a pesquisa. O kit de acessórios do dimensionamento citado no tópico 7.4.2 foi considerado dentro do valor do coletor solar. Após a cotação de custos para a implantação do SAS serem estimados, o próximo item calculará a estimativa de economia de energia que o sistema proporcionará.

8.1 Tempo de retorno

A análise econômica do sistema de aquecimento solar para piscina realizou-se através de uma comparação com outros tipos de combustíveis utilizados para essa atividade. A comparação com fontes atualmente utilizadas para aquecimento de piscinas permite relacionar qualidade e conforto térmico com o investimento. Para isso, fez-se necessário calcular a quantidade de calor necessária para aquecer o volume da piscina. Deste modo, é possível comparar os valores de quanto cada combustível gastará para aquecer o mesmo volume de água. Aplicando os conceitos da Física de calorimetria, para calcular a quantidade de calor para a piscina utiliza-se a equação fundamental da calorimetria, que calcula a quantidade de calor sensível, ou seja, cedida ou recebida por um corpo para elevar ou diminuir a temperatura.

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

Onde

Q é a quantidade de calor necessária para aquecer o volume da piscina, em kcal.

m é a massa da água, em kg

C_p é Calor específico da água, kcal/kg*°C

ΔT é a variação de temperatura em °C

Considerando que 1 L de água equivale a 1kg e o incremento de temperatura desejado seja de 4°C, a quantidade de calor necessária é:

$$Q = 1000000 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 4^\circ\text{C}$$

$$Q = 4000000 \text{ kcal}$$

De acordo com o fabricante, certificado pelo INMETRO, o coletor utilizado na simulação possui eficiência de 73%. Com base nessa informação calculou-se a quantidade de calor útil convertida pelos coletores solares, com esse valor é possível fazer a comparação de custos com outras fontes a fim de encontrar o tempo de retorno.

$$Q_{\text{útil}} = \eta * Q$$

$$Q_{\text{útil}} = 0,73 * 4000000$$

$$Q_{\text{útil}} = 2920000 \text{ kcal}$$

Para prosseguir, é preciso conhecer alguns dados sobre os combustíveis utilizados na comparação de custos. Para este trabalho as fontes escolhidas foram Diesel, GLP e eletricidade. A tarifa atual de eletricidade no Ceará é de 0,73 R\$/kWh (ENEL 2019), para o diesel e GLP consultou-se o sítio da Petrobras que disponibiliza periodicamente tabelas com os preços atualizados, em dezembro de 2019 os preços são 3,89 R\$/L e 2,06 R\$/kg, respectivamente. A tarifa do diesel utilizado neste estudo corresponde a tarifa Valor de Venda do Diesel S10, uma vez que esse diesel é utilizado em geradores de energia elétrica (Agência Nacional do petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP), além de ser mais recomendado para esse tipo de uso já que em sua composição cerca de 8% é biodiesel resultando na redução em grande escala da emissão de partículas poluentes no meio ambiente (Luminus Eletricidade).

Outro dado importante é o poder calorífico dos combustíveis. A ANEEL define poder calorífico como uma quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa ou volume de gás a pressão e temperatura constantes, 101,33 kPa e 15°C, respectivamente.

Os valores do poder específico de cada combustível é facilmente encontrado na literatura, para este trabalho, esses dados foram retirados do sítio da Petrobras. O valor do poder calorífico superior (também conhecido como poder calorífico total) de um combustível é definido como sendo a quantidade de calor liberada na combustão de uma quantidade especificada do combustível, ou seja, é a capacidade de gerar calor. A tabela 3 mostra o PCS das fontes utilizadas.

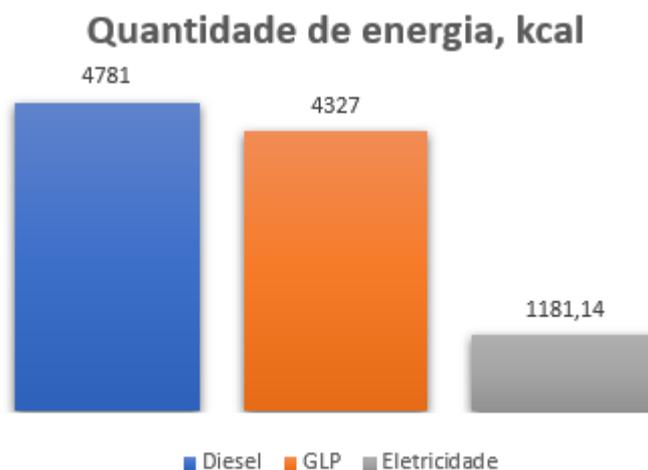
Tabela 3 - Poder Calorífico Superior.

Combustível	Poder Calorífico Superior (kcal)
Diesel	10700
GLP	8900
Eletricidade	860

Fonte: Petrobras. Disponível em: <www.petrobras.com.br/conpet/fatconve.htm>. Acesso em 06 dez 2019.

Essa quantidade de PCS corresponde a cada 1 L de diesel, 1 m³ de GLP e 1 kW/h, respectivamente. Dividindo o PCS pelo valor da tarifa correspondente a cada combustível é possível encontrar a quantidade de kcal por cada real investido. O gráfico 1 informa a quantidade de kcal por cada R\$ 1,00 investido. Observando os dados do gráfico, o aquecimento por resistências elétricas seria o mais caro, por ter um alto preço comparado com o baixo poder calorífico. Ou seja, é preciso investir mais dinheiro em um sistema de aquecimento.

Gráfico 1- Investimento versus Poder calorífico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de energia gerada por cada matriz energética, calculou-se o custo que cada instalação requer por dia, mês e ano, o cálculo levou em conta o valor do calor útil necessário para aquecer a piscina. Os valores da Tabela 4 mostram os valores necessários por dia para manter a piscina do IEFES aquecida na temperatura requerida.

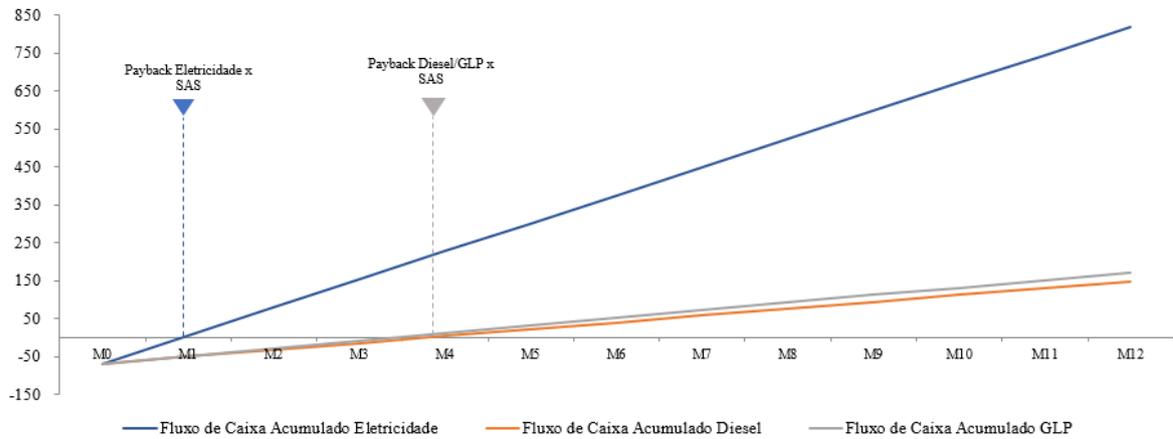
Tabela 4 - Custo por dia.

Combustível	Energia gerada por R\$ em kcal	Custo/dia
Diesel	4781,48	R\$610,69
GLP	4327,11	R\$674,82
Eletricidade	1181,14	R\$2.472,19

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, após encontrados os valores de custos é possível calcular o tempo de retorno de um sistemas de aquecimento solar através de uma comparação. Como o valor de instalação do Sistema de Aquecimento Solar para a piscina semiolímpica do IEFES seria em torno de **R\$ 68.252,60**, e dividindo pelo custo diário de cada matriz energética obtém-se o tempo de retorno simples. Como o sol é gratuito, não há custos após a instalação para aquecer a piscina e considerando uma taxa de 2% do valor do investimento para manutenção, o gráfico 2 informa quando o investimento retorna quando comparado com Diesel, GLP e eletricidade. Sendo M0, M1, M2 etc, os meses do ano.

Gráfico 2 - Comparativo do Payback dos combustíveis.



Fonte: Elaborado pelo autor

É importante levar em conta que um sistema de aquecimento solar para piscinas trata-se de um investimento com retorno a curto prazo, comparando com outras formas de aquecimento, o tempo de retorno comparado com Diesel, GLP e Eletricidade fica em torno de 3 meses e 21 dias, 3 meses e 14 dias e 27 dias, respectivamente. Ou seja, o gasto mensal que o empreendimento tiver será quitado rapidamente, uma vez que o investimento no SAS ocorre apenas uma vez com manutenção raramente e uma vida útil que passa dos 20 anos.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo de viabilidade técnica, observou-se que o local estudado para uma futura instalação dos coletores solares atende os requisitos necessários da NBR 15569. Porém, a área em torno da piscina precisa ser previamente reformada, para que torne o chão plano e assim possa receber os coletores solares e suas estruturas necessárias para mantê-los na posição correta. Reitera-se que não houve um estudo dos custos necessários para essa reforma, e portanto não foi considerado no valor do investimento.

Identificou-se uma entrada de água fria e uma casa de máquina a cerca de 12 m da piscina em bom estado de conservação, atendendo um dos requisitos técnicos da NBR 15569. Para a estrutura de instalação dos coletores solares e avaliando a disponibilidade da área em volta da piscina e atendendo o requisito de distância entre os coletores e a piscina ser mínima a fim de evitar perdas térmicas, pensou-se numa instalação no chão utilizando uma estrutura de alumínio para sustentação no ângulo de $13,71^\circ$ necessário para obter uma maior eficiência.

O dimensionamento da área de coletores mostrado no item 7.4.2 discriminou a quantidade mínima necessária de coletores para garantir o aquecimento necessário para esse tipo de piscina. Os custos apenas dos coletores é alto, porém para esse estudo considerou-se um coletor de maior área e preço, a fim de obter qualidade e eficiência.

A estimativa de preço para implantação mostrada no quadro 2 considera valores levando em conta a qualidade da matéria dos equipamentos e as especificações técnicas necessárias para atender o projeto. Isso explica o alto custo dos coletores, da capa térmica e da bomba, itens mais caros na instalação, mas existem variados valores no mercado tornando o orçamento mais barato. Reitera-se que custos como mão-de-obra e acessórios hidráulicos não estão inclusos. Para a tubulação sugere-se do tipo CPVC visto que nas especificações do fabricante Tigre, é fácil de instalar, não oxida e não corrói, além de ser um excelente isolante térmico.

As análises executadas nesse estudo proporcionaram a verificação da implementação do SAS desde a viabilidade técnica até uma estimativa de preço do investimento, bem como seu tempo de retorno. A economia efetiva do projeto não depende apenas da instalação, uma boa execução do projeto e manutenção são necessários para garantir um funcionamento de qualidade e por maior tempo.

O estudo deste trabalho não determina uma conclusão final e definitiva acerca da implantação do sistema de aquecimento solar para o local estudado, porém evidencia a possível possibilidade do investimento em novas fontes de energia para o aquecimento de água com intuito de atender as especificações técnicas para o uso de piscina semiolímpica.

10 CONCLUSÃO

A utilização da energia solar para aquecimento de água no Brasil hoje em dia é mais aplicada em uso doméstico na substituição de aquecimento elétrico (chuveiros) ou gás. Isso se deve ao fato da tecnologia para conversão de energia solar em energia térmica ser bastante simples e amplamente disponível no mercado brasileiro, com diversos fornecedores e fabricantes (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017). Em relação ao aquecimento para piscinas, a utilização ainda está engatinhando. Isso ocorre por falta de conhecimento dos setores que seriam os maiores consumidores da energia térmica para aquecimento de piscina (Clubes, hotéis, motéis e academias).

Embasado pela fundamentação teórica, existem muitos benefícios em SAS, apesar de não ser amplamente aplicados no aquecimento de piscinas. A análise feita neste trabalho, mostrou que os custos de implantação ainda são bastante elevados, e se levar em consideração todos os custos incluídos que foram desprezados nessa análise, o custo pode ser ainda maior, porém comparado com um sistema de aquecimento utilizando fontes não-renováveis, esse custo torna-se praticável e com o passar dos anos, lucrativo. Esses custos podem ser minimizados através de pesquisas para tornar o material do sistema mais barato e de qualidade.

O local analisado para implantação do sistema mostrou-se viável, atendendo os pontos da norma 15569, sendo necessário pequenas reformas ao redor para tornar o chão plano e pronto para receber a estrutura dos coletores. Para o sistema a ser implantado, calcula-se que o custo seria de **R\$ 68.252,60**. A economia comparando com um sistema de aquecimento a Diesel seria de quase 100% em torno de 4 meses, enquanto que se o sistema fosse com resistência elétrica o retorno seria em menos de 1 mês. Para empreendimentos comerciais, o uso de aquecimento para piscina, tornaria o negócio mais atrativo e diferenciado no mercado.

Sugestões para trabalhos futuros seria a adição de uma simulação por software do SAS para piscinas com cobertura e uma análise técnica e de custos de SAS somado a um sistema fotovoltaico. Sugere-se também uma simulação de SAS com aquecimento auxiliar. Os objetivos apresentados foram atingidos, visto que foi possível determinar a viabilidade técnica do local, dimensionar o sistema necessário para aquecer a piscina e analisar os custos com base em valores reais de mercado.

Este estudo demonstra a importância de um estudo técnico e de custos antes da implementação de uma sistema de aquecimento de água, bem como tornar mais conhecido o uso da energia do sol para aquecimento de piscina, uma vez que ainda é pouco utilizado comparado com o uso da energia solar fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

1. ABRAVA. [Http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf](http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf). 2008. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2019.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: [s. n.], 2015. 1 atlas. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em: 5 ago. 2019.
3. AQUECEDORES. 2019. Disponível em: <<http://www.ksaquecedores.com.br/produtos.php>>. Acesso em: 05 dez. 2019.
4. AQUECIMENTO de água com bomba de calor. 2018. Disponível em: <<http://www.orteb.com.br/aquecimento-de-agua-com-bomba-de-calor.php>>. Acesso em: 01 dez. 2019.
5. BAPTISTA, A. S. C., Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência em Planejamento Energético) Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
6. BOMBA e filtro para piscina. 2019. Disponível em: <<https://www.bombashopping.com.br/conjunto-dancor-filtro-e-bomba-para-piscina-ate-78-400-litros-dfr-19-10-monofasica/p>>. Acesso em: 02 dez. 2019.
7. CAPA térmica para piscina semiolímpica. 2019. Disponível em: <<https://www.lonaskone.com.br/capa-termica-para-piscina-semi-olimpica-25x12-5m>>. Acesso em: 03 dez. 2019.
8. CEARÁ em mapas: Caracterização territorial. Caracterização territorial. 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2019.
9. COLETOR SOLAR PARA PISCINA ACQUAPOOL. 2019. Disponível em: <<https://www.algomaisbanheirasespas.com.br/pecaseacessorios/aquecimento-solar/aquecimento-solar-piscinas/coletor-solar-para-piscina-acquapool-400-x-30-ouro-fino-detail.html>>. Acesso em: 02 dez. 2019.
10. Como funciona a energia heliotérmica. 2019. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

11. CRESESB (Rio de Janeiro). **Coletores Solares**. 2016. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=561>. Acesso em: 02 ago. 2019.
12. DUNBAR, Brian (Ed.). **The Sun**. 2017. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/sun>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
em: <<http://www.fina.org>>. Acesso em: 2 de dezembro de 2019.
13. ENERGIA Solar. 2019. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
14. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota técnica PR 04/18: Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Rio de Janeiro, 2018.
15. FINA. Federação Internacional de Natação. **Facilities Rules 2009-2013**. Disponível
16. GOLDEMBERG, José. Energia e desenvolvimento. **Estud. av.**, São Paulo , v. 12, n. 33, p. 7-15, Aug. 1998 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141998000200002&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Dec. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141998000200002>.
17. GOMEZ, J.M. Rodríguez et al . A irradiância solar: conceitos básicos. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 40, n. 3, e3312, 2018 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000300412&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 04 dez. 2019. Epub 26-Mar-2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>.
18. HAMILTON, Calvin J.. **O Sol**. 1997. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm#stats>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
19. HELIOTEK (São Paulo). **Aquecedor Solar para Piscina**. 2019. Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br/para-casa/aquecedor-solar-para-piscina>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
20. INMETRO (Brasília). **Temperatura Média Anual**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
21. KISOLTEC AQUECEDOR SOLAR (São Paulo). **Quais as vantagens de usar um coletor solar de piscina?** 2016. Disponível em: <<https://blog.kisoltec.com.br/quais-as-vantagens-de-usar-um-coletor-solar-de-piscina/>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

22. MAROL (São Paulo). **Como funciona aquecedor solar?** 2019. Disponível em: <<https://www.marol.com.br/blog/como-funciona-aquecedor-solar-para-piscina/>>. Acesso em: 02 ago. 2019.
23. MASTERSOL (Sorocaba). **Manual Técnico Coletor Solar Mastersol.** Disponível em: <<https://www.mastersol.com.br/imagens/categoria/e4838037d8309b3a9c186c1d1b51787b.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2019.
24. PEREIRA, Elizabeth Marques Duarte et al. **Sistemas de Aquecimento Solar de Água: Manual do Professor.** São Paulo: Rede Eletrobras, 2014.
25. PINTO, Luiz Antonio do Santos. **Eficiência energética com aquecimento solar.** Disponível em: <<http://www.ciesp.com.br/bauru/files/2015/10/Luiz-Antonio-dos-Santos-Pinto.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2019.
26. REN21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2017 - Global Status Report, 2017.**
27. SCHERER, Lara Almeida et al. FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA:: ENERGIA SOLAR. **XX Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão**, Rio Grande do Sul, v. 0, n. 0, p.1-12, 25 out. 2015.
28. TAMANHOS comparativos dos planetas e estrelas. Disponível em: <<http://www.astronoo.com/pt/artigos/tamanhos-comparados-planetastrelas.html>>. Acesso em: 01 ago. 2019.
29. TECNOLOGIAS de Energia Solar Térmica. 2014. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2014/02/tecnologias-de-energia-solar-termica/23771>>. Acesso em: 02 ago. 2019.
30. VÁLVULA de 3 vias. 2019. Disponível em: <<https://pt.grundfos.com/servico/encyclopedia-search/3-way-valve.html>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
31. VASCONCELLOS, L.E.M.; LIMBERGER, M.A.C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil: contribuições da Eletrobras Procel e parceiros.** Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.
32. VEICO (Santa Catarina). **Manual Técnico Aquecedor de Piscina Veico.** Disponível em: <<https://www.fluidra.com.br/wp-content/uploads/sites/33/2016/08/1.151-MANUAL-AQUECIMENTO-SOLAR-VEICO-R04.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2019.