

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS MARQUES DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO
SOLAR PARA UMA PISCINA RESIDENCIAL NA SERRA DE
MACAÉ

MACAÉ – RJ

2018

MATHEUS MARQUES DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECECIMENTO
SOLAR PARA UMA PISCINA RESIDENCIAL NA SERRA DE
MACAÉ

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Campus Macaé, como requisito parcial para
obtenção do título de Graduação em Engenharia
Mecânica, sob orientação do Prof. Diego
Malagueta.

MACAÉ – RJ

2018

MATHEUS MARQUES DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO
SOLAR PARA UMA PISCINA RESIDENCIAL NA SERRA DE
MACAÉ

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Campus Macaé, como requisito parcial para
obtenção do título de Graduação em Engenharia
Mecânica, sob orientação do Prof. Diego
Malagueta.

Macaé, 06 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Diego Malagueta
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. MsC. Mauricio Aguilar Nepomuceno de Oliveira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dra. Elisa Pinto da Rocha
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACAÉ – RJ

2018

RESUMO

Este documento apresenta todas as equações que regem o balanço de energia de uma piscina residencial aberta, bem como a aquisição de dados meteorológicos necessários para a determinação das taxas de perdas e ganhos de calor que interagem com o volume de controle estabelecido, e para a determinação da área do coletor de energia solar para o aquecimento da piscina. Ao longo do trabalho, é analisado a viabilidade técnica dos dois tipos de aquecedores solar e ao final, uma comparação custo/benefício dos modelos apresentados, escolhendo o mais apto para ser aplicado a piscina a ser aquecida.

Palavras-chave: Aquecimento Solar, Piscina Aquecida, Piscina Residencial

ABSTRACT

This paper presents all the equations governing the energy balance of an open residential pool, as well as the acquisition of meteorological data necessary to determine the rates of losses and heat gains that interact with the established control volume, and for the determination of the solar collector area for pool heating. Throughout the work, the technical feasibility of the two types of solar heaters is analyzed and at the end, a cost / benefit comparison of the presented models, choosing the most suitable to be applied to the pool to be heated.

Key words: Solar heating; Heated pool, Residential pool

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aquecedor a gás -----	16
Figura 2 - Aquecedor elétrico -----	17
Figura 3 - Bomba de calor -----	18
Figura 4 - Aquecedor solar aberto -----	19
Figura 5 - Aquecedor solar fechado -----	20
Figura 6 - Coletor a vácuo -----	21
Figura 7 - Gráfico do somatório das radiações por mês -----	29
Figura 8 - Range de temperatura e temperatura média por mês -----	30
Figura 9 - Média do tempo de luz solar por mês -----	31
Figura 10 – Média de precipitação mensal, dias e mm -----	31
Figura 11 - Umidade relativa média mensal -----	32
Figura 12 - Média de velocidade do vento por mês -----	33
Figura 13 - Esquema de montagem dos coletores solares -----	35
Figura 14 – Todas as perdas de calor, por mês -----	39
Figura 15 - Ganho por radiação em cada mês -----	40
Figura 16 - Taxa de aquecimento necessária -----	41
Figura 17 - Área mínima do sistema de aquecimento -----	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência média para cada tipo de aquecedor -----	34
Tabela 2 - Vazão média para cada tipo de aquecedor-----	34
Tabela 3 - Valores para determinação do aporte térmico -----	37
Tabela 4 - Valores das variáveis para determinação da taxa de perda de calor por radiação referente a novembro -----	37
Tabela 5 - Valores das variáveis para a determinação da taxa de perda de calor por convecção referente a novembro-----	38
Tabela 6 - Valores das variáveis para a determinação da taxa de perda de calor por evaporação referente a novembro-----	38
Tabela 7 - Valores das variáveis para a determinação taxa de ganho de calor por radiação referente a novembro -----	39
Tabela 8 - Definição das áreas necessárias segundo a vazão, para cada tipo de coletor -----	42

LISTA DE SÍMBOLOS

E - Energia necessária para aquecer a piscina (kJ)

$m_{\text{água}}$ - Massa de água na piscina (kg)

$c_{p,\text{água}}$ - Calor específico da água (kJ/kg. °C)

T_p - Temperatura da piscina (°C)

T_{min} - Temperatura mínima média mensal (°C)

Q_{rad} - Taxa de perda de calor por radiação (kW)

A_{superior} - Área superior da piscina (m²)

$\varepsilon_{\text{água}}$ - Coeficiente de emissividade da água

σ - Constante de *Stefan-Boltzmann* (W/m². K⁴)

$T_{\text{céu}}$ - Temperatura do céu (K)

$\varepsilon_{\text{céu}}$ - Coeficiente de emissividade do céu

$T_{\text{amb},m}$ - Temperatura ambiente média (K)

T_{po} - Temperatura do ponto de orvalho (K)

UR - Umidade relativa (%)

Q_{conv} - Taxa de perda de calor por condução (kW)

h_{conv} - Coeficiente de convecção (m/s)

$v_{ar,c}$ - Velocidade do ar corrigida para a superfície da piscina (m/s)

v_{ar} - Velocidade do ar a 10 metros da superfície (m/s)

Q_{evap} - Taxa de perda de calor por evaporação (kW)

h_{evap} - Coeficiente de evaporação (W/m². Pa)

$P_{v,sat}$ - Pressão de vapor saturada, a temperatura média ambiente (kPa)

$P_{v,amb}$ - Pressão de vapor ambiente, a temperatura ambiente (kPa)

Q_{sol} - Taxa de ganho de calor por radiação (kWh/m²)

α - Coeficiente de absorptância

G - Radiação solar global (kWh)

Q_{col} - Taxa de ganho de calor do coletor solar (kWh/m²)

$A_{\text{útil}}$ - Área útil do coletor (m²)

η - Eficiência do coletor

b - Número de horas efetivas de luz solar (h)

t - Tempo de iluminação solar (segundos)

a - Tempo de iluminação solar (horas)

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	8
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO.....	12
1.2. JUSTIFICATIVA.....	12
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. ENERGIA SOLAR.....	14
2.2. AQUECEDORES PARA PISCINA.....	15
2.2.1. Aquecedor a gás.....	15
2.2.2. Aquecedor elétrico.....	16
2.2.3. Bomba de calor.....	17
2.2.4. Aquecedor solar.....	18
2.2.4.1. Aberto.....	18
2.2.4.2. Fechado.....	19
2.2.4.3. Tubular.....	20
3. METODOLOGIA	22
3.1. EQUAÇÃO GERAL DO CALOR.....	22
3.1.1. Calor necessário para o aquecimento total.....	22
3.1.2. Perda de calor por radiação.....	23
3.1.3. Perda de calor por convecção.....	25
3.1.4. Perda de calor por evaporação.....	26
3.1.5. Ganho de calor por radiação.....	27
3.1.6. Ganho de calor pelo sistema de aquecimento solar.....	27

3.1.7.	Equação final	28
3.2.	DADOS METEOROLÓGICOS	28
3.2.1.	Radiação	29
3.2.2.	Temperatura.....	30
3.2.3.	Tempo de luz solar	30
3.2.4.	Umidade relativa.....	32
3.2.5.	Velocidade do vento	32
3.3.	AQUECEDOR SOLAR	33
3.3.1.	Eficiência dos coletores	33
3.3.2.	Vazão de trabalho	34
3.3.3.	Esquema de montagem.....	34
3.4.	AQUECIMENTO	35
3.5.	CONSIDERAÇÕES	35
4.	RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO	36
4.1.	RESULTADOS	36
4.1.1.	Aporte térmico.....	36
4.1.2.	Perda de calor por radiação	37
4.1.3.	Perda de calor por convecção	37
4.1.4.	Perda de calor por evaporação.....	38
4.1.5.	Perdas de calor.....	38
4.1.6.	Ganho de calor.....	39
4.1.7.	Balço final.....	40
4.2.	DIMENSIONAMENTO	41
4.2.1.	Conforme a limitação da vazão	42
4.2.2.	Conforme a taxa de calor.....	42
5.	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema de aquecimento solar para uma piscina residencial localizada na serra de Macaé (RJ), onde esse sistema consiste em coletores de energia solar que forneçam o calor necessário para um determinado fluxo de água, de modo a esquentar todo o volume da água da piscina num determinado período de tempo. O trabalho descreve todas as etapas de determinação das equações que regem o balanço energético do sistema, explica como é feita a aquisição de dados pertinentes para os cálculos, e dimensiona ambos os possíveis sistemas de aquecimento solar e seus custos. O objetivo final do trabalho é definir acertadamente o aquecedor com o melhor custo/benefício, observando todas as características relevantes de cada sistema.

1.2. Justificativa

A justificativa para um sistema de aquecimento para a piscina se dá devido ao fato da temperatura da água ser próxima da temperatura ambiente, e como o local da instalação apresenta uma baixa temperatura média ao longo do ano, o uso da piscina fica restrito ao pico do verão. Sendo assim, um espaço recreacional onde uma quantia financeira considerável foi investida fica inutilizado durante grande parte do ano. Um sistema de aquecimento poderia estender o uso por vários meses, sendo vantajoso para os moradores.

A opção pelo aquecimento solar, se dá devido ao fato de este sistema apresentar um melhor custo/benefício quando comparado as dificuldades e preços dos outros sistemas, bem como um baixíssimo impacto ambiental e custo operacional. Apesar desta opção ocupar uma grande área, isso não é problema para o local onde será instalado.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em três partes principais. A primeira é constituída da introdução ao tema da energia solar, apresentando um panorama global e nacional da geração de energia, tanto térmica quanto elétrica e da abrangência bem como das dificuldades enfrentadas pela tecnologia de aquecimento solar, seguida da exposição das principais características dos modelos disponíveis no mercado de aquecimento de piscina, bem como seus pontos positivos, negativos e impacto ambiental. A segunda parte, denominada de metodologia, descreve as equações que regem o comportamento físico do sistema a ser estudado, bem como as variáveis que são necessárias para a determinação precisa dos cálculos. Também explica como é feito a captação dos dados meteorológicos, e as características de projeto de cada aquecedor solar térmico. Por último, na terceira parte temos a exposição dos valores encontrados para os cálculos térmicos, compilando todos os valores, e o resultado dos cálculos da área necessária para cada aquecedor, analisando separadamente duas características distintas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os aquecedores de piscina residenciais comerciais e suas principais características, vantagens, desvantagens e impacto ambiental.

2.1. Energia solar

O Brasil, devido a sua localização no globo terrestre, dispõe de 2220 horas de insolação, com um potencial de 15 milhões de TWh, 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade (RODRIGUES E MATAJS, 2004). Em termos de geração absoluta de calor, o Brasil aparece em quinto no ranking mundial, com uma capacidade de geração de energia térmica de 9,5 GW térmicos, muito abaixo do potencial nacional, e dividindo isso pelo número de habitantes, temos apenas 47,5 W térmicos, valor que faz o Brasil figurar em trigésimo no ranking de geração de energia por habitante. É visível um baixo aproveitamento energético de fontes solares. Em todo o mundo, apenas 472 GW térmicos são aproveitados por meio de coletores solares, sendo 71% desse valor, 324,5 GW térmicos produzidos apenas na China (IEA, 2018).

Toda essa energia disponível pode ser captada e transformada em energia elétrica, por meio de painéis fotovoltaicos ou de usinas térmicas (CSP), ou em forma de energia térmica, sendo essa por meio de aquecimento de algum fluido de trabalho, comumente água. Essa energia térmica é captada por meio dos coletores solares, que no mundo todo tem sua aplicação dividida em 63% para uso de uma família, 28% para uso de várias famílias (sistemas instalados em prédios, hotéis, hospitais e escolas, por exemplo), 6% para aquecimento de piscinas e 2% em usos híbridos (aquecimento de água e ambiente) (IEA, 2018).

Isso se explica devido ao imediato retorno do investimento, por meio de uma diminuição da conta de luz. Os sistemas disponíveis hoje para o mercado residencial têm um tamanho compacto e dispõem de reservatório para água quente, sendo de fácil instalação e quase nenhuma manutenção. No Brasil, estima-se que chuveiros elétricos consumam 8% de toda a energia produzida, e responsáveis por 18% do pico de demanda do sistema elétrico nacional (RODRIGUES E MATAJS, 2004). Mesmo sendo um dos países com o menor custo por kWh para sistemas solares de aquecimento de piscina, pequenos termo sifões para uso doméstico, grandes sistemas solares para várias famílias e pequenos conjuntos para aquecimento híbrido (aquecimento de água e do ambiente) (IEA, 2018), existe uma dificuldade na popularização

dessa tecnologia é devido a diversos fatores, sendo os principais o alto custo inicial (apesar do curto retorno do investimento inicial), a difícil competição com os chuveiros elétricos, já que estes são facilmente instalados, baixíssimo custo de aquisição e fácil disponibilidade de infraestrutura para sua instalação. A falta de regularização das obras para que essas prevejam a instalação de um sistema de aquecimento solar de água também atrapalha na hora de optar por essa tecnologia, já que outros custos como reforma da infraestrutura podem encarecer demais o preço final (RODRIGUES E MATAJS, 2004).

2.2. Aquecedores para piscina

Pela mesma necessidade observada na justificativa deste trabalho, sistemas de aquecimento para piscinas foram desenvolvidos e aprimorados com o tempo. Hoje, comercialmente existem quatro tipos de aquecedores, tendo cada um, suas características positivas e negativas. Analisaremos brevemente cada um deles nos tópicos a seguir.

2.2.1. Aquecedor a gás

O processo de aquecimento da água a gás se dá no equipamento chamado queimador, onde, como o próprio nome diz, ocorre a combustão do gás natural e a troca térmica com a água. O sistema é mais eficiente em locais onde está disponível o gás natural encanado. Em locais afastados ou onde o gás encanado não está disponível, é necessário um reservatório de grande volume. O sistema de aquecimento por gás natural é considerado o que eleva a temperatura da água mais rapidamente, quando dimensionado corretamente, porém com a queima do combustível, se tem uma geração de CO₂ e CO, gases que aumentam o efeito estufa.

O sistema tem características que requerem atenção na hora da instalação, gerando dificuldades para cliente final, sendo elas a necessidade que o circuito do aquecedor seja fechado e isolado do de filtragem, para aumentar a vida útil do queimador, devido à alta concentração de cloro na água. Outra peculiaridade é a necessidade de um cômodo separado, bem ventilado e com chaminé, onde deverão

ficar os queimadores, e sua instalação depende da aprovação dos bombeiros (ANAPP, 2017)



Figura 1 - Aquecedor a gás

Fonte: Sibrape (2018)

2.2.2. Aquecedor elétrico

O sistema de aquecimento elétrico consiste num sistema simples de um reservatório hermeticamente fechado com uma resistência elétrica, que troca calor com a água que circula ali. Devido ao crescente custo do kWh (ANEEL, 2015) e limitação quanto ao aquecimento de grandes volumes (onde o aquecedor deve ficar ligado por até 72 horas para um completo aquecimento), o sistema é recomendado para piscinas pequenas e SPAs, ou em locais onde é inviável a implementação de aquecedores de outra espécie. Apesar de compacto, o sistema também exige ser implementado num circuito separado, pois as altas concentrações de cloro diminuem a vida útil das resistências elétricas (GLOBALMAR, 2016).



Figura 2 - Aquecedor elétrico

Fonte: Globalmar (2018)

2.2.3. Bomba de calor

Compõe-se de um equipamento híbrido, com funcionamento semelhante ao do ar-condicionado, transferindo o calor do ar ambiente para a água da piscina. Esse ar é captado pela bomba de calor e passa por uma serpentina contendo um gás proveniente de um compressor. Ao passar pela serpentina, o ar transfere calor para o gás, que por sua vez chega em um trocador de calor e transfere esse calor para a água da piscina. O sistema necessita de energia elétrica para funcionar, mas o calor fornecido a água provém do ar, por isso chamado de híbrido. O equipamento tem um tamanho considerado pequeno, mas barulhento, por isso recomendado a instalação em local externo e resguardado. Quando comparado ao sistema de aquecimento elétrico, é mais econômico quanto ao custo mensal de operação, mas seu investimento inicial é muito maior. Recomendado para operar em temperaturas ambientes a partir de 10°C (senão ocorre o congelamento do ar em volta das serpentinas, evitando a circulação de ar), pode operar com baterias e requer um sistema autônomo, devido também a sensibilidade do equipamento quanto a alta presença de cloro na água (HELIOTEK, 2018).



A marca de **aquecimento solar** da Bosch

Figura 3 - Bomba de calor

Fonte: Heliotek (2018)

2.2.4. Aquecedor solar

O uso de sistemas de captação de energia solar para aquecimento de água não é novidade, e com o avanço das tecnologias dos materiais utilizados bem como incentivos governamentais para sua implementação e a redução significativa do valor da conta de luz residencial, tem se verificado uma crescente popularização no uso de aquecedores solares para banho e piscina.

No mundo, a divisão dos coletores solares fica em 71,6% são tubulares, 22,1% são coletores fechados, 6,1% coletores abertos e 0,3% de coletores de ar.

2.2.4.1. Aberto

O coletor solar aberto é caracterizado pela simplicidade de construção e instalação (são flexíveis e leves), sempre da cor preta (para maximizar o coeficiente de absorvância), não possuem cobertura transparente nem isolamento térmico e são normalmente constituídos de materiais poliméricos com tratamento

contra radiação UV (que desgasta rapidamente materiais plásticos) (ABRAVA, 2008).



Figura 4 - Aquecedor solar aberto

Fonte: Heliotek (2018)

2.2.4.2. Fechado

O coletor solar fechado, também chamado de coberto, é constituído de vários elementos:

- Cobertura;

Geralmente de vidro, policarbonato ou acrílico, tem uma boa transparência (perto de 90%), deve causar um efeito estufa para melhorar o rendimento do coletor e deve manter a estanqueidade do sistema.

- Aletas (placas absorvedoras);

Responsáveis pela absorção e transferência de energia solar para a água. Normalmente constituídas de material metálico e pintada de preto fosco.

- Flauta (tubos superior e inferior);

Tubos interconectados por onde a água escoa pelo interior do coletor. Normalmente feitos de cobre devido à sua alta condutividade térmica e resistência a corrosão.

- Isolamento térmico;

Serve para minimizar as perdas de calor para o meio, tendo como materiais mais comuns a lã de vidro ou de rocha e espuma de poliuretano.

- Caixa externa;

Geralmente fabricada de alumínio ou inox, serve para proteger de intempéries e como componente estrutural para todo o conjunto.

(ABRAVA, 2008).

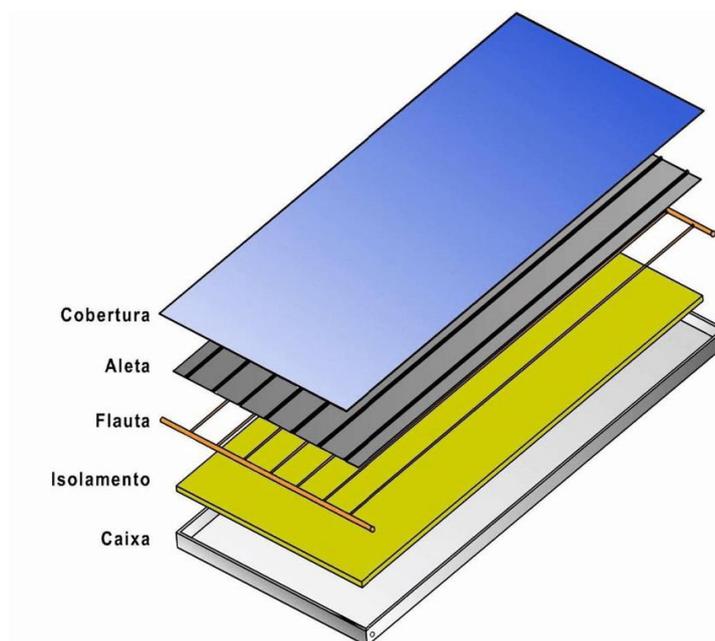


Figura 5 - Aquecedor solar fechado

Fonte: Ecycle (2018)

2.2.4.3. Tubular

Um coletor solar de tubo evacuado é composto basicamente de:

- Tubos;

Dois tubos de vidro concêntricos, onde o interno está o fluido de trabalho, e o mesmo está coberto na parte externa com uma camada seletiva. Entre o interno e o externo, está o isolamento a vácuo,

principal responsável por minimizar as perdas térmicas por convecção e condução.

- Cabeçote;

Os tubos são inseridos no cabeçote, por onde passa o fluido de trabalho. O cabeçote pode ser de aço, alumínio ou cobre, sendo revestido por algum isolamento térmico.

- Estrutura;

É o que mantém os tubos fixados no cabeçote e na posição adequada para a captação da energia solar.

(ABRAVA, 2008).



Figura 6 - Coletor a vácuo

Fonte: O aquecedor solar (2018)

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada por esse trabalho será a de identificação das equações que regem as perdas e ganhos de calor, seja naturalmente ou devido ao coletor solar, e, baseado nos dados meteorológicos do mês de outubro, dimensionar e precificar as possíveis soluções para o aquecimento. O mês de outubro foi escolhido pois é um mês onde a média de temperatura é apropriada para a utilização da piscina, mas a radiação solar é baixa, quando comparado aos outros meses com temperatura média adequada para banho. Logo, um aquecedor solar dimensionado segundo os dados meteorológicos de outubro estaria também atendendo plenamente outros meses do ano. A decisão sobre qual sistema deverá ser adotado levará em consideração a limitação de projeto de cada, os custos de implementação, operação, bem como a vida útil e área ocupada, já que ambos os sistemas contribuem para uma “poluição” visual da residência.

3.1. Equação geral do calor

Depois de feita uma análise da literatura pertinente ao tema, todas as fontes de ganho e perda de calor foram identificadas e definidas as suas equações. Segundo ASHRAE (2003), deve-se calcular as perdas de calor devido à radiação, convecção e evaporação, e o ganho de calor segundo a radiação global incidente na piscina, juntamente com o ganho de calor proveniente do coletor solar. Veremos detalhadamente nos próximos tópicos como será calculado cada uma. O uso de cada equação apresentada, mais precisamente as que determinam os coeficientes convecção e perda de calor por evaporação, tem como fundamento a aproximação delas com o real, baseado no trabalho de Ruiz e Martinez (2008), onde foi corroborada cada equação com dados reais e simulação de software.

3.1.1. Calor necessário para o aquecimento total

Precisamos calcular a quantia de energia necessária para aquecermos a piscina, sabendo que nossa variação de temperatura será da temperatura mínima

média mensal a temperatura alvo. Logo, munidos das propriedades físicas básicas da água, podemos utilizar a seguinte fórmula (HALLIDAY, 2009):

$$E = m_{\text{água}} \cdot c_{p,\text{água}} \cdot (T_p - T_{\text{min}}) \quad (1)$$

Onde:

E é a energia necessária para aquecer a piscina (kJ)

$m_{\text{água}}$ é a massa de água na piscina (kg)

$c_{p,\text{água}}$ é o calor específico da água (kJ/kg. °C)

T_p é a temperatura da piscina (°C)

T_{min} é a temperatura mínima média mensal (°C)

3.1.2. Perda de calor por radiação

Toda matéria que tem sua temperatura diferente do zero absoluto, emite energia na forma de radiação térmica, transportada por ondas eletromagnéticas (INCROPERA, 2007). Temos então uma massa de água aquecida emitindo radiação térmica por toda sua superfície superior, e a equação que determina essa taxa de perda de calor leva em consideração a área da piscina, temperatura do céu, temperatura da piscina, bem como o coeficiente de emissividade da água e a constante de *Stefan-Boltzmann* (INCROPERA, 2007). A equação fica então da seguinte forma:

$$Q_{\text{rad}} = A_{\text{superior}} \cdot \varepsilon_{\text{água}} \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{\text{céu}}^4) \quad (2)$$

Onde:

Q_{rad} é a taxa de perda de calor por radiação (kW)

A_{superior} é a área superior da piscina (m²)

$\varepsilon_{\text{água}}$ é o coeficiente de emissividade da água

σ é a constante de *Stefan-Boltzmann* (W/m². K⁴)

$T_{céu}$ – Temperatura do céu (K)

O cálculo para determinar a temperatura do céu ($T_{céu}$) é pela fórmula (Incropera, 2007):

$$T_{céu} = \varepsilon_{céu}^{0,25} \cdot T_{amb,m} \quad (3)$$

Onde:

$\varepsilon_{céu}$ é o coeficiente de emissividade do céu

$T_{amb,m}$ é a temperatura ambiente média (K)

E para se estipular a emissividade do céu ($\varepsilon_{céu}$), segundo Incropera (2007) deve-se utilizar a seguinte equação:

$$\varepsilon_{céu} = 0,742 + 0,0062 \cdot T_{po} \quad (4)$$

Em que:

T_{po} é a temperatura do ponto de orvalho (K)

Tal temperatura, é calculada a partir da umidade relativa do ar (UR), segundo Incropera (2007):

$$T_{po} = T_{amb,m} - \frac{100 - UR}{5} \quad (5)$$

Onde:

UR é a umidade relativa (%)

3.1.3. Perda de calor por convecção

A transferência de energia em forma de calor entre a superfície da piscina e o fluido em movimento acima da superfície é denominado convecção, e também é levado em consideração a transferência de energia pelo movimento do fluido e a difusão (INCROPERA, 2007). Exatamente por isso, o coeficiente de difusão está diretamente ligado a velocidade do ar acima da superfície, junto a constantes definidas empiricamente. A equação base é proveniente do Incropera (2007):

$$Q_{conv} = h_{conv} \cdot A_{superior} \cdot (T_p - T_{amb,m}) \quad (6)$$

Onde:

Q_{conv} é a taxa de perda de calor por condução (kW)

h_{conv} é o coeficiente de convecção (m/s)

Tal coeficiente, segundo *Australian Standard* (1989), é estimado pela seguinte equação:

$$h_{conv} = 3,1 + 4,1 \cdot v_{ar,c} \quad (7)$$

Onde:

$v_{ar,c}$ é a velocidade do ar corrigida para a superfície da piscina (m/s)

Tal correção, segundo Kalogirou (2014), para locais abertos, é:

$$v_{ar,c} = 0,3 \cdot v_{ar} \quad (8)$$

Tal que:

v_{ar} é a velocidade do ar a 10 metros da superfície (m/s)

3.1.4. Perda de calor por evaporação

A diferença de concentração de moléculas de água entre a piscina e o ar, gera uma difusão, retirando massa de água da piscina por meio da evaporação. Como o calor latente, responsável por evaporar a água é maior que o calor específico, responsável por aquecer a água, temos então uma maior ordem de grandeza quanto a valores de transferência de energia. O fluxo de calor é baseado na diferença de pressão de vapor, e seu coeficiente de evaporação determinado empiricamente e corrigido devido a utilização nesse projeto. Segundo Incropera (2007), a taxa de transferência de energia é determinada por:

$$Q_{evap} = h_{evap} \cdot A_{superior} \cdot (P_{v,sat} - P_{v,amb}) \quad (9)$$

Onde:

Q_{evap} é a taxa de perda de calor por evaporação (kW)

h_{evap} é o coeficiente de evaporação (W/m². Pa)

$P_{v,sat}$ é a pressão de vapor saturada, a temperatura média ambiente (kPa)

$P_{v,amb}$ é a pressão de vapor ambiente, a temperatura ambiente (kPa)

A equação para determinar a pressão de vapor ambiente é (INCROPERA, 2007):

$$P_{v,amb} = P_{v,sat} \cdot UR \quad (10)$$

A fórmula corrigida para a determinação do coeficiente de evaporação (ASHRAE, 2003) é:

$$h_{evap} = 0,5 \cdot (0,089 + 0,0782 \cdot v_{ar,c}) \quad (11)$$

3.1.5. Ganho de calor por radiação

Como a piscina não está em um ambiente coberto, toda a sua superfície absorve o calor proveniente da radiação solar. Portanto, um fluxo de calor é estabelecido, dessa vez introduzindo calor no sistema. Tal calor é determinado por (INCROPERA, 2007):

$$Q_{sol} = A_{superior} \cdot \alpha \cdot G \quad (12)$$

Onde:

Q_{sol} é a taxa de ganho de calor por radiação (kWh/m²)

α é o coeficiente de absorvância

G é a radiação solar global (kWh)

O valor do coeficiente de absorvância é definido por ISO TC 180 (1995) como 0,85, para piscinas de coluna de água pequena (menor que 5 metros) e paredes de cores claras.

3.1.6. Ganho de calor pelo sistema de aquecimento solar

O cálculo da energia solar captada pelos coletores deve ser equacionado levando em consideração a eficiência de cada tipo de aquecedor. Eficiência essa que já leva em consideração a perda de calor inerente a cada sistema. Logo, temos uma equação semelhante à do ganho de calor por radiação, mas trocando o coeficiente de absorvância pela eficiência global de cada modelo. Temos então o seguinte equacionamento:

$$Q_{col} = A_{\acute{u}til} \cdot \eta \cdot \frac{G}{b} \quad (13)$$

Onde:

Q_{col} é a taxa de ganho de calor do coletor solar (kWh/m²)

$A_{útil}$ é a área útil do coletor (m²)

η é a eficiência do coletor

b é o número de horas efetivas de luz solar (h)

3.1.7. Equação final

Podemos então organizar todas as equações em uma equação final para determinar a taxa de aquecimento necessária, e assim poder calcular a área necessária de cada coletor.

$$\frac{Q_{inicial}}{t} = Q_{col} + \frac{Q_{sol}}{a} - (Q_{evap} + Q_{conv} + Q_{rad}) \quad (14)$$

Onde:

t é o tempo de iluminação solar (segundos)

a é o tempo de iluminação solar (horas)

3.2. Dados meteorológicos

Os valores das informações meteorológicas foram cedidos pela *Meteotest* empresa privada Suíça, fundada em 1981. A aquisição de dados diretos só pode ser feita se o local de estudo estiver dentro de um raio de 50 km da estação de medição. Devido à falta de estações meteorológicas nas proximidades do local de estudo, os dados apresentados são uma interpolação. Para radiação global, o procedimento utilizado é o *3-D inverse distance model (Shepard's gravity interpolation)*, baseado no trabalho feito por Zelenka et al. (1992) com uma correção adicional da distância norte-sul (WALD e LEFÈVRE, 2001). Este mesmo processo também é utilizado para a obtenção dos dados de temperatura, já que esses dois dados são interligados. Com esse processo, a precisão dos valores estimados, quando comparados aos aferidos, é considerável. Para a radiação global, temos que o *mean biased error* é de 0,0% e o

erro médio quadrático de 6,9%. Já para a temperatura, obtém-se que o *mean biased error* é de 0,0% e o erro médio quadrático de 1,2°C (METEONORM, 2017).

3.2.1. Radiação

Todos os dados de radiação, seja global ou difusa, foram captados via satélite. Não existe na região, estações meteorológicas equipadas com sensores de captação de radiação solar suficientes para que seja possível uma interpolação dos dados. Esses valores tem uma incerteza de 3% (METEONORM, 2017).

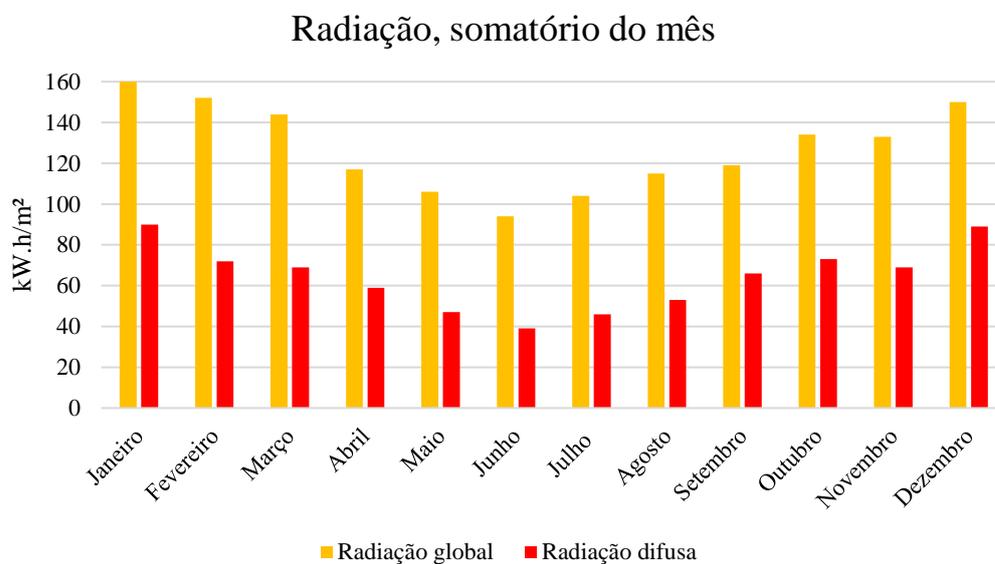


Figura 7 - Gráfico do somatório das radiações por mês

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

Para o mês de novembro, temos que a o total mensal de radiação global foi de 134 kWh/m² e de radiação difusa foi de 69 kWh/m². Dividindo o valor da radiação global pelo número de dias do mês de outubro, temos que a média diária de radiação global, em uma superfície horizontal é de 4,3226 kWh/m².

3.2.2. Temperatura

Os dados aqui apresentados das temperaturas mensais ao longo do ano são uma interpolação utilizando os dados de três pontos de captação próximos, que são Nova Friburgo (47 km), Cordeiro (33 km) e Juiz de Fora (138 km). Os valores têm uma incerteza de 0,8 °C (METEONORM, 2017).

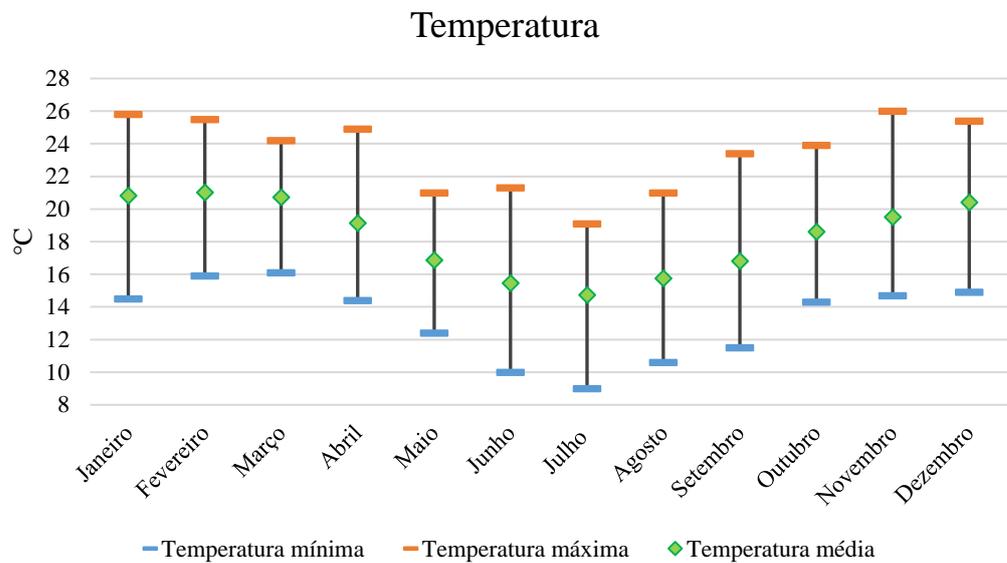


Figura 8 - Range de temperatura e temperatura média por mês

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

3.2.3. Tempo de luz solar

Um dado importante para o dimensionamento do sistema de aquecimento, é o número médio de horas efetivas de sol, por mês. Dado que nos possibilita definir o intervalo de tempo máximo de aquecimento disponível para o sistema.

O tempo de luz solar astronômico é um indicador climatológico que depende apenas da posição do local de estudo na terra, que nos informa a quantidade (em horas) de luz visível. Já o tempo de luz solar efetivo é a quantidade (em horas) que o sol brilha, incidindo diretamente sobre o medidor. Esse valor é menor que o tempo de luz solar astronômica devido a intervenção direta do clima, como

nebulosidade e precipitação (AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2007).

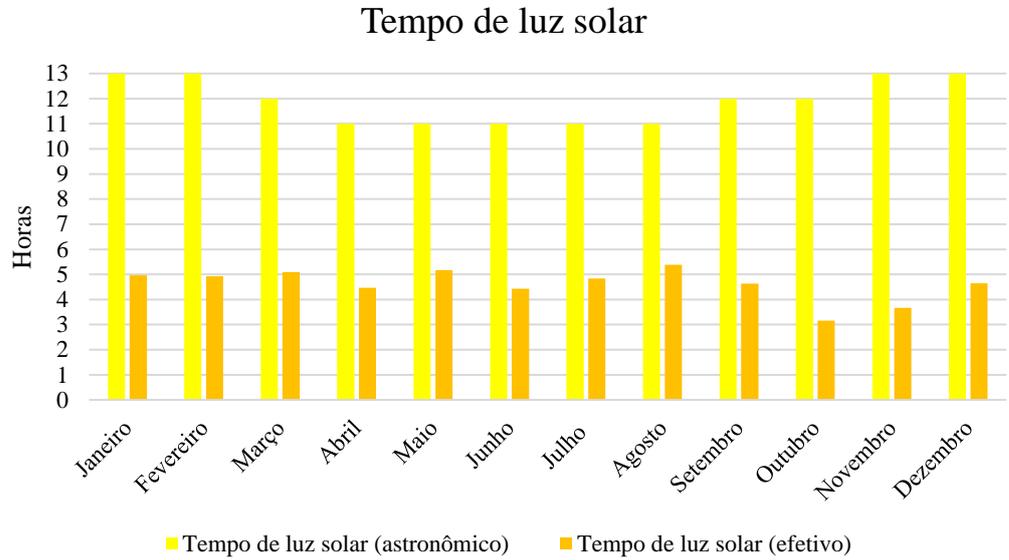


Figura 9 - Média do tempo de luz solar por mês

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

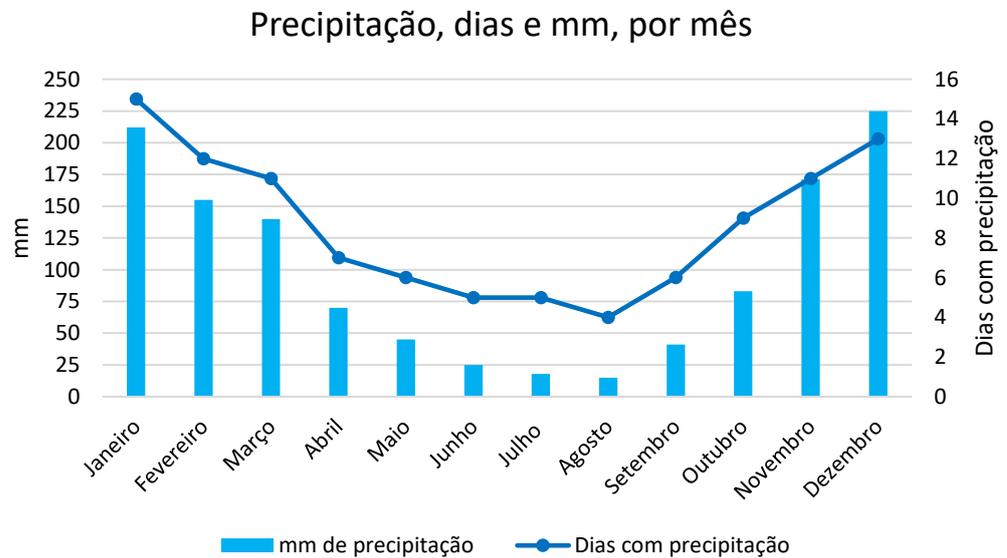


Figura 10 – Média de precipitação mensal, dias e mm

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

3.2.4. Umidade relativa

Dado importante para a determinação tanto da perda de calor pela evaporação, quanto a perda de calor pela radiação. É calculada a partir da temperatura de orvalho (DWD, 1979). A temperatura do ponto de orvalho para cada hora é calculada pela interpolação linear entre os valores do nascer do sol, com correção baseada na quantidade de radiação mensal. Se a radiação mensal exceder 100 W/m^2 , correções baseadas na precipitação e variações de temperatura do ponto de orvalho diárias (*METEONORM*, 2017).



Figura 11 - Umidade relativa média mensal

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

3.2.5. Velocidade do vento

Apesar da informação referente a velocidade e direção do vento não estar no escopo do programa *Meteonorm*, já que normalmente não tem grande importância para aplicações de energia solar, muitos dos dados são calculados a

partir desses valores. O modelo matemático responsável pela geração dos valores aqui apresentados tem apenas a função de criar valores aproximados de velocidade média mensal e distribuição anual (a 10 metros do solo). Esses dados não servem, por exemplo, para o cálculo de uma usina eólica, já que a simulação para velocidade do vento é praticamente impossível, já que a velocidade do vento é fortemente influenciada pela topografia local, fatores climáticos e a variação espacial de valores é grande (METEONORM, 2017).

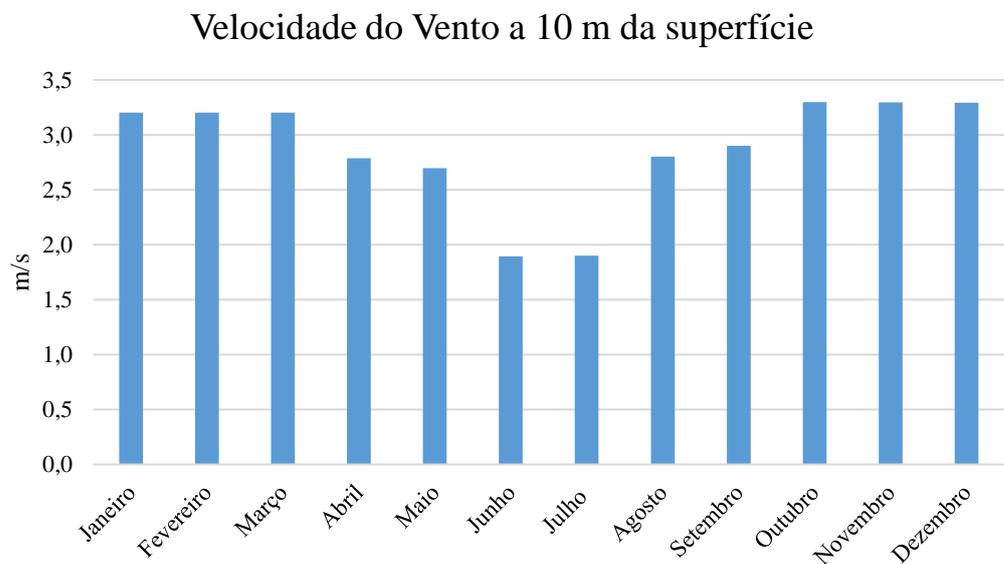


Figura 12 - Média de velocidade do vento por mês

Fonte: *Meteonorm* (2018), editado pelo autor

3.3. Aquecedor solar

Este capítulo apresenta características relevantes de todos os tipos de aquecedores solares, para se poder ter uma precisão maior nos cálculos.

3.3.1. Eficiência dos coletores

Segundo o catálogo do INMETRO (2017), temos as seguintes eficiências médias para cada tipo de aquecedor, dentre todos os produtos homologados.

Tipo de aquecedor	Eficiência (%)
Aberto	69,71
Fechado	73,63
Vácuo	78,92

Tabela 1 - Eficiência média para cada tipo de aquecedor

Fonte: INMETRO (2017)

3.3.2. Vazão de trabalho

Devido ao baixo tempo disponível para o aquecimento completo da piscina, a vazão volumétrica é um fator determinante no cálculo da área de coletores necessária. Segue as vazões de operação de cada tipo de coletor solar, informações coletadas de folhetos técnicos de cada fabricante.

Tipo de aquecedor	Vazão média (l/h.m²)
Aberto	255
Fechado	35
Vácuo	70

Tabela 2 - Vazão média para cada tipo de aquecedor

Fonte: www.heliotek.com.br (para aberto e fechado) e www.aquakent.com.br (para vácuo)

3.3.3. Esquema de montagem

O esquema de montagem é determinado pelo próprio fabricante, onde todos os coletores compartilham do mesmo esquema de montagem:

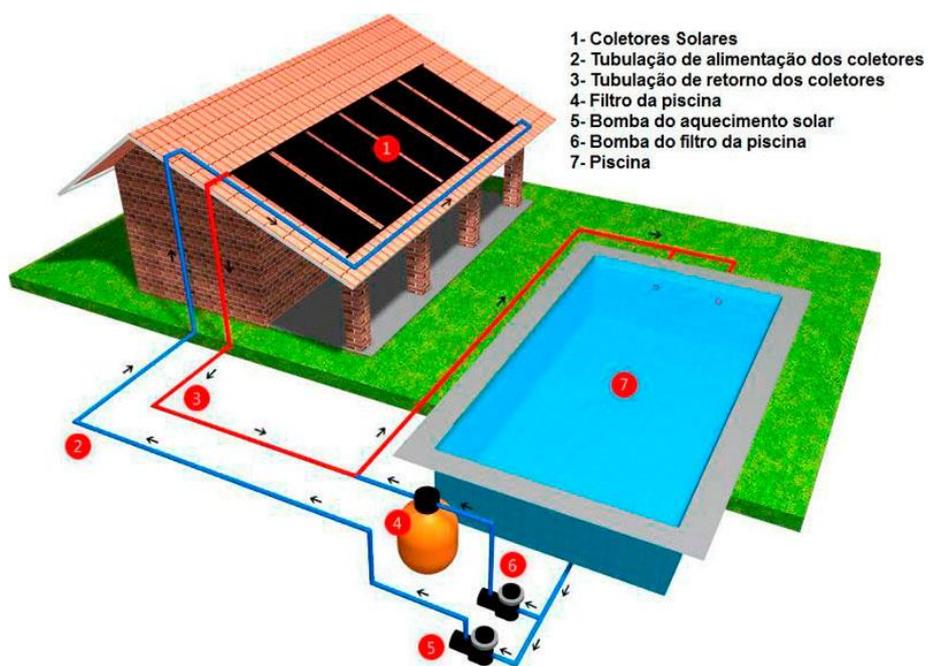


Figura 13 - Esquema de montagem dos coletores solares

Fonte: www.eletrosolindustria.com.br - acessado em 27/07/18

3.4. Aquecimento

Após uma análise dos valores obtidos de luz solar efetiva, podemos determinar que o nosso intervalo de tempo para o aquecimento deverá ser de 3 horas e 40 minutos, valor de tempo de luz solar efetiva para o mês de novembro (nosso mês referência). Quanto a temperatura alvo para a piscina, segundo ASHRAE (2003), a temperatura para piscinas com o objetivo de recreação deve estar entre 24°C e 29°C, e segundo a FINA (2017), para a prática de desportos leves, a temperatura da água deve estar entre 25°C e 29°C.

3.5. Considerações

As principais simplificações e hipóteses assumidas para a determinação das taxas de perda de calor e aquecimento, bem como o dimensionamento do sistema de aquecimento dentro do escopo deste trabalho, são listadas a seguir:

1) Não há estratificação da água;

Fenômeno pelo qual a água se deposita em camadas de temperaturas distintas, de acordo com a densidade; quanto maior a temperatura da camada, menos densa e, portanto, mais superficial. Essa consideração é relevante pois o sistema não está em repouso (durante o aquecimento da água), portanto não consideramos a estratificação dos volumes de água (ASHRAE, 2003).

2) Não há perda de calor na tubulação;

Devido ao baixo coeficiente de transferência de calor do solo (INCROPERA, 2007) e complexidade dos cálculos envolvidos na quantificação dessa perda, será ignorada qualquer fluxo de calor durante o caminho da água entre os volumes de controle.

4. RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO

4.1. Resultados

Neste capítulo é apresentado e discutido os resultados obtidos após os cálculos discutidos previamente. Todos os resultados foram calculados com o auxílio do software *Microsoft Excel*, bem como a geração de tabelas e gráficos.

4.1.1. Aporte térmico

Analisando a menor temperatura média do mês de novembro, e tendo os dados da água e de construção da piscina, bem como a temperatura alvo, podemos utilizar a Eq. (1) para calcular o aporte térmico necessário para aquecer a piscina.

Variável	Valor
Massa de água	54087,25 kg
Calor específico da água	4,1868 kJ/kg. °C
Temperatura mínima média de novembro	14,7 °C
Temperatura da piscina	29 °C

Tabela 3 - Valores para determinação do aporte térmico

A partir desses valores, temos que o aporte térmico vale 3.328.215,66 kJ.

4.1.2. Perda de calor por radiação

Para determinar a perda de calor por evaporação, devemos utilizar a sequência de cálculos que foi exposta. Temos então para o mês de novembro os seguintes valores:

Variável	Valor
Área superior	43 m ²
Emissividade da água	0,85
Constante de <i>Stefan-Boltzmann</i>	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
Temperatura da piscina	29 °C
Temperatura do céu	21,2462 °C
Temperatura do ponto de orvalho	18,1 °C
Umidade relativa	80 %
Temperatura ambiente média	22,1 °C

Tabela 4 - Valores das variáveis para determinação da taxa de perda de calor por radiação referente a novembro

Portanto, para novembro, obtemos o seguinte valor da taxa de perda de calor por radiação: 1,8878 kW.

4.1.3. Perda de calor por convecção

Para o cálculo da perda de calor por convecção, obtemos os seguintes resultados:

Variável	Valor
Constante de convecção	7,1556
Velocidade do ar	3,2964 m/s
Velocidade do ar, corrigida	0,9889 m/s

Tabela 5 - Valores das variáveis para a determinação da taxa de perda de calor por convecção referente a novembro

Então, para o mês referência, a taxa de perda de calor por convecção é: 2,1227 kW.

4.1.4. Perda de calor por evaporação

Para precisar a perda de calor por evaporação no mês de novembro, temos os seguintes valores:

Variável	Valor
Pressão de vapor saturada	2,7186 kPa
Pressão de vapor ambiente	2,1748 kPa
Constante de evaporação	0,1663

Tabela 6 - Valores das variáveis para a determinação da taxa de perda de calor por evaporação referente a novembro

Obtemos então com esses valores, a seguinte taxa de perda de calor por evaporação: 1,944 kW.

4.1.5. Perdas de calor

Compilando todas fórmulas de perdas de calor com os valores médios de todos os meses, obtemos os seguintes resultados:

	Evaporação (kW)	%	Convecção (kW)	%	Radiação (kW)	%	Total (kW)	Total (kW.h)
Jan	2,3468	43%	1,5737	29%	1,4811	27%	5,4016	129,6395
Fev	2,4262	45%	1,5439	28%	1,4567	27%	5,4268	130,2435
Mar	2,2685	42%	1,6348	30%	1,5299	28%	5,4332	130,3963
Abr	1,5037	27%	2,1050	37%	2,0270	36%	5,6357	135,2573
Mai	1,3064	20%	2,7594	41%	2,6099	39%	6,6757	160,2170
Jun	0,9839	15%	2,7090	41%	2,9712	45%	6,6641	159,9390
Jul	0,8064	12%	2,8750	42%	3,1276	46%	6,8090	163,4152
Ago	1,3382	18%	3,1249	43%	2,8616	39%	7,3247	175,7927
Set	1,5644	23%	2,8091	40%	2,5671	37%	6,9406	166,5748
Out	1,6425	26%	2,4616	39%	2,1469	34%	6,2510	150,0251
Nov	1,9444	33%	2,1228	36%	1,8878	32%	5,9550	142,9201
Dez	2,0162	36%	1,8449	33%	1,6716	30%	5,5327	132,7847

Figura 14 – Todas as perdas de calor, por mês

Fonte: Autor (2018)

4.1.6. Ganho de calor

O cálculo da taxa de ganho de calor pela radiação é feito a partir da definição de certas variáveis previamente definidas. Temos então, para novembro:

Variável	Valor
Coefficiente de absorvância	0,85
Radiação solar global	4,4334 kWh/m ²
Horas de sol	13 horas
Horas efetivas de sol	3,6667 horas

Tabela 7 - Valores das variáveis para a determinação taxa de ganho de calor por radiação referente a novembro

Obtemos o seguinte valor, para a taxa de ganho de calor por radiação: 12,1833 kW.

Aplicando a Eq. (12) para os outros meses, obtemos os seguintes valores:

Ganho por Radiação (kW.h)	
Jan	188,6451
Fev	198,4142
Mar	169,7806
Abr	142,5450
Mai	124,9772
Jun	114,5232
Jul	122,6194
Ago	135,5888
Set	144,9818
Out	157,9903
Nov	162,0382
Dez	176,8549

Figura 15 - Ganho por radiação em cada mês

Fonte: Autor (2018)

4.1.7. Balanço final

Temos então que a taxa de energia térmica necessária gerada pelos coletores é de:

$$\frac{3.328.215,66}{12 * 3600} - 12,1833 \text{ kW} + 5,995 \text{ kW} = Q_{col}$$

$$Q_{col} = 69,08 \text{ kW}$$

Ao observar os outros meses, refazendo os cálculos para cada situação, temos que:

Taxa de Aquecimento (kW)	
Jan	11,1425
Fev	-4,7955
Mar	28,2240
Abr	76,1864
Mai	130,1487
Jun	154,0464
Jul	155,1439
Ago	145,4041
Set	113,3097
Out	69,0768
Nov	50,0625
Dez	24,1429

Figura 16 - Taxa de aquecimento necessária

Fonte: Autor (2018)

Ao analisar os valores obtidos acima, podemos ver que os meses do verão, os valores necessários de geração de calor são muito baixos (no caso específico de fevereiro, um valor negativo, significando que o sistema consegue atingir os parâmetros iniciais sem a necessidade do coletor solar), devido à alta taxa de ganho de calor por radiação. Por outro lado, temos os meses de inverno, onde, devido as baixas temperaturas iniciais, diminuição do ganho de calor por radiação e o aumento das taxas de perda de calor, o valor necessário de taxa de aquecimento é altíssimo.

4.2. Dimensionamento

Após determinada a taxa de aquecimento, o foco será o dimensionamento adequado de cada tipo de coletor para cumprir sua função definida. A primeira etapa do dimensionamento será baseada em uma limitação da construção de cada coletor, a vazão do sistema. A segunda etapa será estabelecida conforme a área necessária para gerar a taxa de aquecimento calculada anteriormente.

4.2.1. Conforme a limitação da vazão

Como explicitado no item 4.3.2, a vazão dos coletores a vácuo e fechado é visivelmente menor que a do coletor aberto. Como o tempo necessário para o aquecimento é baixo, de apenas 3 horas e 40 minutos, a vazão necessária para aquecer completamente a piscina é de aproximadamente 14.800 litros por hora. Para atingir essa taxa, devemos ter uma área de aquecimento de:

Tipo de coletor	Área
Aberto	58 m ²
Fechado	423 m ²
Vácuo	212 m ²

Tabela 8 - Definição das áreas necessárias segundo a vazão, para cada tipo de coletor

Conforme se pode observar, apenas o coletor aberto admite uma área aceitável para o problema proposto. Estamos considerando apenas a vazão de operação estipulada no manual de cada equipamento. Seguiremos então os cálculos apenas considerando o coletor aberto.

4.2.2. Conforme a taxa de calor

Conforme calculado anteriormente, é necessária uma taxa de aquecimento de aproximadamente 69,08 kW para satisfazer todas as premissas de projeto. Portanto, utilizando a Eq. (13), podemos calcular a área útil necessária. Temos então:

$$69,08 \text{ kW} = A_{\text{útil}} \cdot 0,6971 \cdot \frac{4,3226}{3,1613}$$

$$A_{\text{útil}} = 72,47 \text{ m}^2$$

Quando aplicamos o mesmo procedimento para os outros meses, obtemos os seguintes valores:

Área Mínima (m ²)	
Jan	15,38
Fev	-6,25
Mar	44,42
Abr	125,17
Mai	281,81
Jun	312,67
Jul	320,99
Ago	302,90
Set	189,86
Out	72,47
Nov	59,40
Dez	33,25

Figura 17 - Área mínima do sistema de aquecimento

Fonte: Autor (2018)

Podemos observar claramente que um sistema de coletores abertos, dimensionado para o mês de outubro, atenderia também outros cinco meses, possibilitando o uso da piscina por um total de seis meses. No mês de fevereiro, não há necessidade do uso do aquecedor, já que, como vimos anteriormente, o próprio ambiente consegue aquecer a piscina. Também é notável a inviabilidade do dimensionamento de um sistema para os meses que consistem no outono e inverno.

5. CONCLUSÃO

Devido à grande diferença em termos de aplicação para cada aquecedor, onde os aquecedores a vácuo têm como principal objetivo, aquecer o fluido de trabalho a altas temperaturas, e o aquecedor fechado visa aquecer um volume de água menor à uma temperatura um pouco mais elevada, era de se esperar uma diferença nos resultados, devido as limitações de cada projeto. Como o tempo necessário para o aquecimento é muito pequeno, devido a posição geográfica da piscina, o aquecedor deve suportar um grande fluxo de água, e isso não é uma característica de projeto de aquecedores a vácuo ou aquecedores fechados. Portanto, ambos foram descartados como opção de aquecimento, sobrando apenas o aquecedor aberto.

A área total necessária para o aquecimento completo da piscina pelo coletor aberto atingiu um tamanho considerável, mas isso é devido as nossas premissas de projeto, onde a piscina deve ser aquecida em um tempo muito curto, partindo de uma temperatura muito baixa. Os resultados servem como base para atestar que um aquecimento solar é um método possível, eficiente, barato e ecologicamente limpo, ideal para aplicações que tenham disponíveis uma grande área de radiação solar incidente.

REFERÊNCIAS

RODRIGUES, Dêlcio, MATAJS, Roberto, *Um Banho de Sol pra o Brasil*, São Lourenço da Serra, Vitae Civilis, 2004

International Energy Agency (IEA), Solar Heat Worldwide, Austria, Steinhuber Infodesign, 2018

ANAPP, Associação Nacional dos Fabricantes Construtores de Piscinas e Produtos Afins, 2017

ANEEL, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, Brasília, 2015

GLOBALMAR, *Manual de Instruções – Aquecedor para piscina Mono/Bi/Trifásico*, 2016

HELIOTEK, *Ficha Técnica – Aquecedores para Piscinas*, 2018

ABRAVA, *Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar*, 2008

ASHRAE, *Applications Handbook*, 2003

RUIZ, Elisa, MARTINEZ, Pedro, *Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model*, Elsevier, 2008

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl, *Fundamentos da Física*, Rio de Janeiro, LTC, 2012.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P., BERGMAN, Theodore L., LAVINE, Adrienne S., *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, Rio de Janeiro, LTC, 2007.

AUSTRALIAN STANDARD (3634), *Solar Heating Systems for Swimming Pools*, Sydney, 1989.

KALOGIROU, Soteris A., *Solar Energy Engineering – Process and systems*, Oxford, Elsevier Inc., 2014.

ISO/TC 180/SC 4 N 140, *Solar Energy – Heating systems for Swimming Pools – Design and Installation*, 1995

ZELENKA, A., CZEPLAK, G., D'AGOSTINO, V., WEINE, J., MAXWELL, E., PEREZ, R., NOIA, M., RATTO, C., FESTA, R., *Techniques for Supplementing Solar Radiation Network Data*, Volume 1-3, IEA, 1992

WALD, L., LEFÈVRE, M., *Interpolation schemes – Profile Method*, 2001

METEONORM, *Handbook part II: Theory*, Suíça, 2017

METEONORM, *Vila da Grama Report*, 2018

AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, *Meteorological Glossary*, 2007

Deutscher Wetterdienst (DWD), *Aspirations- und Psychrometertafeln*, Braunschweig/Wiesbaden, Friedrich Vieweg & Sohn, 1979

INMETRO, *PBE – Coletor Solar aplicação Banho e Piscina*, 2017

Fédération Internationale de Natation (FINA), FINA Facilities Rules, 2017

SIBRAPE (2018), www.sibrape.com.br – Acessado em 27/07/2018

ECYCLE (2018), www.ecycle.com.br – Acessado em 27/07/2018

O Aquecedor Solar (2018), www.oaquecedorsolar.com.br – Acessado em 27/7/2018