

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA**

**GUILHERME GUANABARA NOVAES**

**ESTUDO BÁSICO PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA  
PISCINA E CHUVEIROS DE UM CLUBE ESPORTIVO LOCALIZADO  
NA CIDADE DE SANTOS, SÃO PAULO**

**SÃO PAULO  
2019**

**GUILHERME GUANABARA NOVAES**

**ESTUDO BÁSICO PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA  
PISCINA E CHUVEIROS DE UM CLUBE ESPORTIVO LOCALIZADO  
NA CIDADE DE SANTOS, SÃO PAULO**

Monografia apresentada como exigência para obtenção de Título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Área de concentração: Engenharia Elétrica e Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco.

**SÃO PAULO**

**2019**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Guilherme Guanabara Novaes

Título: Estudo Básico para Utilização de Energia Solar para Piscina e Chuveiros de um Clube Esportivo localizado na Cidade de Santos, São Paulo.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

### Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Guanabara, GN. Estudo básico para utilização de energia solar para piscina e chuveiros de um clube esportivo localizado na cidade de Santos, São Paulo [Monografia]. Programa de Educação Continuada para Engenheiros da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

## RESUMO

**Introdução:** Esta monografia tem por objetivo apresentar um estudo referente ao dimensionamento de dois sistemas de energia solar para manter a temperatura de duas piscinas em valores recomendados e outro que forneça uma parcela da energia térmica para o aquecimento de água utilizada em chuveiros, além dos estudos de viabilidade econômica comparativa com utilização de gás natural. Para tanto, foi calculada a energia a ser reposta, perdida pelos processos de evaporação e convecção nas piscinas, a área e o número de coletores necessários. Para o aquecimento de água de chuveiros foi estimada a carga térmica necessária, a área e o número de coletores. Em seguida, aplicou-se o método da fração solar a fim de calcular a parcela das cargas térmicas de água quente sanitárias a serem supridas pelo sistema de aquecimento solar. Também foi desenvolvido o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) de cada fluxo de caixa representativo dos investimentos. As áreas de coletores solares necessárias para os sistemas das piscinas social e semiolímpica foram de 272,7 m<sup>2</sup> e 231,8 m<sup>2</sup>, respectivamente; e para o sistema de aquecimento da água de chuveiros foi de 71,8 m<sup>2</sup>. Os investimentos foram de R\$ 169.800,00 para a piscina social, R\$ 235.680,00 para a piscina semiolímpica e R\$ 111.102,00 para o sistema de água quente do vestiário. Os resultados financeiros para os investimentos respectivamente: VPL de R\$ 421.938,00 e TIR de 45,65% a.a. para a piscina social e VPL de R\$ 438.238,00 e TIR de 37,28% para a piscina semiolímpica. Quanto ao sistema de aquecimento de água para banho, o VPL é de R\$ 35.064,00 e a TIR 15,24%. A taxa mínima de atratividade considerada foi de 10%. Recomenda-se, portanto, a implementação dos sistemas de aquecimento da piscina social e da piscina olímpica. A implementação do sistema de aquecimento de água de sanitárias não é financeiramente recomendável, em razão do risco apresentado na análise de sensibilidade do investimento.

**Palavras-chave:** aquecimento solar para piscinas e chuveiros; fração solar.

Guanabara, GN. Basic study to use solar energy for swimming pools and showers of a sports club located in the city of Santos, São Paulo [Monography]. Programa de Educação Continuada para Engenheiros da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

## **ABSTRACT**

This monograph aims to present a study on the design of two solar energy systems to maintain the temperature of two pools at recommended values and another that provides a portion of the thermal energy for the heating of water used in showers, in addition to feasibility studies comparison with the use of natural gas. For that, the energy to be recovered, lost by the evaporation and convection processes in the pools, the area and the number of collectors required, was calculated. For the water heating of showers was estimated the required thermal load, area and number of collectors. Then, the solar fraction method was applied in order to calculate the portion of the thermal loads of hot water to be supplied by the solar heating system. The calculation of the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) of each cash flow representative of the investments was also developed. The solar collector areas required for social and semi-Olympic swimming pool systems were 272.7 m<sup>2</sup> and 231.8 m<sup>2</sup>, respectively; and for the water heating system of showers was 71.8 m<sup>2</sup>. The investments were R\$ 169,800 for the social pool, R\$ 235,680 for the semi-Olympic pool and R\$ 111,102 for the hot water system of the locker room. The financial results for the investments were: NAV of R\$ 421,938.00 and IRR of 45.65% per year for the social pool and NPV of R\$ 438,238.00 and IRR of 37.28% for the semi-Olympic pool. As for the bath water heating system, the NPV was negative in R\$ 35,064.00 and the IRR 15.24%. The minimum attractiveness rate was 10%. Therefore, it is recommended to implement the heating systems of the social pool and the Olympic pool. The implementation of the sanitary water heating system is not financially advisable because of the risk presented in the investment sensitivity analysis.

**Keywords:** solar heating for swimming pools and showers; solar fraction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista do Clube Internacional de Regatas, sede social .....	14
Figura 2. O Sol e Suas Camadas.....	19
Figura 3. Incidência da Constante Solar sobre a Terra.....	20
Figura 4. Componentes da Irradiação Solar.....	21
Figura 5. Movimento de Translação da Terra.....	23
Figura 6. Órbita da Terra .....	23
Figura 7. Identificação dos movimentos do sol usando o gnomon .....	24
Figura 8. Posição relativa do Sol em relação à Terra.....	25
Figura 9. Posição do Sol sobre a cidade de São Paulo .....	25
Figura 10. Ângulo de posicionamento em um ponto Terra.....	26
Figura 11. Declinação Solar para os meses do ano.....	27
Figura 12. Ângulos de posicionamento de uma superfície em relação ao sol.....	30
Figura 13. Posição do coletor em relação ao plano horizontal .....	32
Figura 14. Coletores solares por aplicação e por níveis de temperatura .....	33
Figura 15. Coletores Solares Abertos .....	34
Figura 16. Exemplos de Coletores Solares Fechados .....	35
Figura 17. Estrutura de um coletor fechado .....	36
Figura 18. Coletor a vácuo .....	37
Figura 19. Gerador de Água Quente .....	51
Figura 20. Esquema do sistema atual de aquecimento da água da piscina social....	52
Figura 21. Demarcação de área para instalação dos coletores da piscina social .....	54
Figura 22. Sistema atual de aquecimento da piscina semiolímpica .....	57
Figura 23. Aquecedores RINNAI da piscina semiolímpica .....	58
Figura 24. Demarcação da área para instalação dos coletores da piscina semiolímpica .....	60
Figura 25. Área para instalação dos sistemas de aquecimento de água para chuveiros .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Acesso de pessoas ao C.I.R – ano 2018. ....	15
Tabela 2. Materiais Utilizados em Caixas de Coletores Solares .....	35
Tabela 3. Consumo típico dos equipamentos que utilizam água quente – valores sugeridos.....	42
Tabela 4. Resultados da análise financeira do investimento na piscina social .....	56
Tabela 5. Resultados da análise financeira do investimento na piscina semiolímpica .....	61
Tabela 6. Consumo médio diário de água quente nos vestiários da piscina social... <td>63</td>	63
Tabela 7. Cargas térmicas mensais calculadas .....	66
Tabela 8. Fração solar com as correções aplicadas ao parâmetro X.....	66
Tabela 9. Resultados da análise financeira do investimento no sistema solar de águas sanitárias.....	69

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Grandeza	Unidad e
$G_{sc}$	Constante solar	$W/m^2$
$\Phi$	Latitude geográfica	°
$L$	Longitude geográfica	°
$Z$	Altitude	m
$\omega$	Ângulo horário	°
$\delta$	Declinação solar	°
$HS$	Hora solar	h
$HL$	Hora legal	h
$L_0$	Longitude hora legal	°
$\omega_s$	Ângulo horário do pôr do sol	-
$\theta_z$	Ângulo zenital	°
$\alpha *$	Altitude solar	°
$\gamma_s$	Ângulo do azimute solar	°
$\gamma *$	Ângulo azimuthal de superfície	°
$\theta$	Ângulo de incidência solar	°
$\beta$	Inclinação do coletor	°
$\beta_{ótimo}$	Inclinação ótima do coletor	°
$q_e$	Perdas por evaporação	$W/m^2$
$P_a$	Pressão atmosférica	kPa
$V$	Velocidade do vento	m/s
$T_p$	Temperatura desejada da água da piscina	°C
$T_a$	Temperatura média anual do local	°C
$q_c$	Perdas por convecção	$W/m^2$
$E_{útil}$	Energia útil	$kWh/dia$
$E_{perdas}$	Somatória das perdas térmicas	$kWh/dia$
$A_{coletora}$	Área total de coletores solares	$m^2$
$A_{coletor}$	Área do coletor	$m^2$
$FC_{instal}$	Fator de correção para indicação e orientação do coletor solar	-
$\beta_{ótimo}$	Inclinação ótima do coletor	°
$\alpha$	Ângulo de orientação dos coletores solares	°
$PMDEE$	Produção média de energia do coletor	-
$I_G$	Irradiação global média	$kWh/m^2.dia$
$F_{RT\alpha}$	Coeficiente de ganho do coletor solar	-
$F_{RU_L}$	Coeficiente de perdas do coletor solar	-
$V_{consumo}$	Volume total de água quente	$m^3$
$Q_{pu}$	Vazão da peça	$m^3/s$
$T_u$	Tempo médio de uso diário da peça	s
$V_{armaz}$	Volume do sistema de armazenamento	$m^3$
$T_{consumo}$	Temperatura de consumo de utilização	°C

$T_{amb}$	Temperatura ambiente	$^{\circ}\text{C}$
$\gamma$	Peso específico da água	$\text{kg/m}^3$
$C_p$	Calor específico da água	$\text{kWh/kg}$
		$^{\circ}\text{C}$
$T_{armaz}$	Temperatura de armazenamento da água	$^{\circ}\text{C}$
$f$	Fração solar	-
$T_{ref}$	Temperatura de referência	$^{\circ}\text{C}$
$CT_m$	Carga térmica mensal	$\text{KWh/m}$ ês
$H_T$	Radiação solar	$\text{J/m}^2$
$N_{mês}$	Número de dias do mês	-
$\Delta t_{mês}$	Total de segundos do mês	s
$T_{REDE}$	Temperatura da água que circula na rede pública	$^{\circ}\text{C}$
$T_{f,mín}$	Temperatura mínima aceitável para a água aquecida	$^{\circ}\text{C}$
$\rho_{água}$	Densidade da água	$\text{kg/l}$
$d$	Distância mínima entre os coletores	cm
$T_Q$	Temperatura da água quente	$^{\circ}\text{C}$
$Q_{solar}$	Energia fornecida pelo aquecimento solar	$\text{kWh/di}$ a
$PME_e$	Produção média mensal de energia específica	$\text{KWh/m}$ ês.m <sup>2</sup>
$f_{méd}$	Fração solar média anual	

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2 OBJETIVO .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 ESCOPO .....	16
1.5 METODOLOGIA .....	17
1.6 SITUAÇÃO PROBLEMA ANALISADA.....	17
1.7 PRINCIPAL CONCLUSÃO .....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 O SOL.....	19
2.1.1 Constante solar e as componentes da radiação solar.....	20
2.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS: LATITUDE, LONGITUDE e ALTITUDE	21
2.3 OS MOVIMENTOS DA TERRA E AS ESTAÇÕES DO ANO .....	22
2.4 ÂNGULOS SOLARES .....	26
2.5 ÂNGULOS RELACIONADOS À INSTALAÇÃO DE COLETORES SOLARES .....	29
2.5.1 Geometria solar.....	29
2.6 CRITÉRIOS PARA POSICIONAMENTO CORRETO DOS COLETORES .....	32
2.7 COLETORES SOLARES.....	33
2.7.1 Coletores solares abertos .....	34
2.7.2 Coletores solares fechados.....	34
2.7.3 Coletores a vácuo .....	36
2.8 CARACTERÍSTICAS DOS COLETORES .....	37
2.9 ESTIMATIVA DA ÁREA DE COLETORES NECESSÁRIA PARA SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA PISCINAS.....	38
2.9.1 Estimativa da energia a ser reposta por sistemas de aquecimento solar	38

2.9.2	Estimativa da área de coletores e do número de coletores.....	39
2.10	ESTIMATIVA DA ÁREA DE COLETORES PARA SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUAS SANITÁRIAS .....	41
2.10.1	Estimativa do volume diário de consumo .....	41
2.10.2	Cálculo das cargas térmicas .....	42
2.10.3	Estimativa do volume do reservatório de água quente.....	43
2.10.4	Estimativa da área coletora.....	43
2.10.5	Cálculo do sombreamento e espaçamento entre fileiras de coletores ..	44
2.10.6	Método da fração solar.....	45
2.11	AVALIAÇÃO ECONÔMICA REFERENTE À INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR .....	48
2.11.1	Valor presente líquido (VPL) .....	48
2.11.2	Taxa interna de retorno (TIR) .....	49
3	ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA NECESSÁRIO PARA A MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DAS PISCINAS SOCIAL E SEMIOLÍMPICA E PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA DE BANHO PARA OS VESTIÁRIOS DA PISCINA SOCIAL .....	50
3.1	ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR NECESSÁRIO PARA MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DA PISCINA SOCIAL .....	50
3.1.1	Situação Problema .....	50
3.1.2	Análise Técnica .....	52
3.1.3	Análise econômica .....	54
3.2	ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DE PISCINA SEMIOLÍMPICA.....	56
3.2.1	Situação Problema .....	56
3.2.2	Análise técnica .....	58

3.2.3 Análise econômica .....	60
3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE PARA OS VESTIÁRIOS MASCULINO E FEMININO, DA PISCINA SOCIAL.....	62
3.3.1 Situação problema .....	62
3.3.2 Análise Técnica.....	62
3.3.3 Análise econômica .....	67
4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
APÊNDICE .....	73
ANEXOS .....	76

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Clube Internacional de Regatas (C.I.R) é um tradicional clube da cidade de Santos, com 121 anos de existência. Sua sede social está localizada na Avenida Saldanha da Gama, nº 5, na cidade de Santos, estado de São Paulo. Também possui uma sede Náutica, localizada no município do Guarujá, em frente ao canal de entrada e saída de embarcações do Porto de Santos. Possui cerca de 1500 sócios titulares, os quais possuem aproximadamente 4.000 dependentes.

A sede social possui duas piscinas, uma social e outra semiolímpica, com os respectivos vestiários, saunas masculina e feminina, campo de futebol, quadras de tênis cobertas e descobertas, quadra de tamboréu, ginásio de esportes, 2 quadras poliesportivas cobertas, academias de ginástica, musculação e judô, 2 salões de festas, restaurante e outras instalações.

*Figura 1. Vista do Clube Internacional de Regatas, sede social*



Fonte: Google Maps – adaptada

O número médio mensal de pessoas que adentram às instalações do clube é de 35.623 pessoas, conforme tabela 1, para as mais diversas atividades sociais e esportivas.

*Tabela 1. Acesso de pessoas ao C.I.R – ano 2018.*

MÊS	ACESSO
Janeiro	37.111
Fevereiro	37.352
Março	41.027
Abril	31.222
Maio	37.905
Junho	34.203
Julho	31.859
Agosto	37.361
Setembro	35.842
Outubro	37.194
Novembro	32.100
Dezembro	34.301
Média	35.623

Fonte: Clube Internacional de Regatas – administração.

Como pode ser visto na figura 1, a piscina social está localizada ao sul do ginásio de esportes e ao lado direito do salão de festas Panorâmico. As dimensões da piscina estão representadas no apêndice 1, e sua área é de 382 m<sup>2</sup>. Sob a laje que dá acesso à piscina assim como sob a parte inferior ao salão de festas Panorâmico, estão localizados os vestiários masculino e feminino da piscina social, as saunas masculina e feminina, os sistemas de condicionamento da água dessa piscina (filtração e adição de produtos químicos) e os sistemas de aquecimento de água para a piscina social, além de uma caldeira geradora de vapor para a sauna úmida.

A piscina semiolímpica, localizada ao norte do ginásio de esportes, possuí dimensões de 18 m de largura e 25 m de comprimento, correspondendo, assim, a uma área de 450m<sup>2</sup>, conforme apêndice 2.

A piscina social, durante os dias úteis, é mais utilizada para a prática de hidroginástica para público de 3<sup>a</sup> idade e para recreação de sócios, em geral crianças e acompanhantes; e nos fins de semana, principalmente nos meses quentes, é utilizada por um maior número de famílias. Já a piscina semiolímpica é usada diariamente nas modalidades “escolinha de natação”, treinamento de atletas, prática de natação por sócios sem necessidade de orientação e para o treinamento de atletas de polo aquático.

## 1.2 OBJETIVO

A presente monografia tem como objetivo apresentar estudos de viabilidade técnica e econômica da substituição do gás natural utilizado para manutenção da temperatura da água das piscinas social e semiolímpica por dois sistemas independentes de energia térmica solar. Outro estudo análogo foi desenvolvido para reduzir custos com energia elétrica referente ao aquecimento de água por chuveiros elétricos. Para tanto, foi utilizado o método da fração solar com o objetivo de se analisar o potencial de contribuição do sistema de aquecimento solar no suprimento das necessidades energéticas térmicas para aquecimento de água sanitárias.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Gases de combustão gerados pela queima de gás natural são utilizados como fonte de energia para aquecimento da água das piscinas e manutenção da temperatura destas nas faixas recomendadas pela Federação Internacional de Natação (FINA), vide anexo 1. O consumo médio mensal de gás natural para aquecimento da água da piscina semiolímpica, em 2018, foi de  $1814\text{ m}^3$ , a um custo médio de R\$ 4,07 por  $\text{m}^3$ . Conforme anexo 2, o custo médio anual foi estimado em R\$ 88.592,00, valor significativo para o clube.

Gastos elétricos com aquecimento de água representam grande parte de todo o consumo de energia elétrica no mundo. Diante disso, o clube pretende reduzir tais gastos instalando um sistema de aquecimento solar.

O método da fração solar foi utilizado por ser amplamente aceito como um processo de cálculo suficientemente exato para largas estimativas.

## 1.4 ESCOPO

A monografia tem como escopo: calcular a área necessária de coletores solares para manter a água das piscinas social e semiolímpica nas temperaturas recomendadas pela FINA; calcular a área necessária de coletores para o aquecimento da água dos chuveiros dos vestiários masculino e feminino da piscina social e; finalmente, realizar

um estudo de viabilidade econômica para avaliar se o investimento em sistemas de aquecimento solar é financeiramente atrativo.

## 1.5 METODOLOGIA

Para o cálculo do número de coletores necessários para manutenção da temperatura da água das piscinas social e semiolímpica, primeiro foi necessário estimar a energia perdida devido aos processos de evaporação e convecção. Com este valor, foi calculada a área de coletores necessária para repor essa energia através da metodologia definida pela norma ABNT NBR 15569:2008.

Para a substituição da energia elétrica gasta nos banhos, primeiro se estimou o consumo de água quente necessário para uma quantidade estimada de banhos, e então foi utilizada a metodologia definida pela norma ABNT NBR 15569:2008. Após o cálculo da área dos coletores, foi utilizado o método da fração solar para se obter a parcela da carga térmica atendida pelo sistema de aquecimento solar.

Para avaliação da atratividade dos investimentos, foram utilizados os métodos do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), a partir de fluxos de caixa dados pelo custo da implementação dos sistemas e pelos valores de redução dos custos com o uso de gás natural e energia elétrica.

## 1.6 SITUAÇÃO PROBLEMA ANALISADA

O consumo de gás referente ao aquecimento da água da piscina semiolímpica é registrado por um medidor independente, entretanto para a piscina social não há medidor independente de gás natural. O medidor existente mede o consumo de gás natural utilizado como combustível para uma caldeira geradora de vapor para as saunas do balneário e também para o aquecedor de água quente de recirculação, que mantém a temperatura da água da piscina social. Como o clube não possuí registros do consumo de gás natural somente com um dos sistemas em operação, foi considerado que o consumo de gás natural para manutenção da temperatura da água da piscina social é proporcional à área entre as piscinas semiolímpica e social, bem como às temperaturas a serem mantidas para a água, conforme indicado pela FINA. Assim, o consumo médio mensal estimado de gás natural, para a piscina social, foi de

1.593 m<sup>3</sup> mês; ao mesmo custo unitário de gás natural, R\$ 4,07 por m<sup>3</sup>, o custo anual estimado é de R\$ 77.798,00.

A área disponível para instalação dos sistemas de aquecimento solar é relativamente restrita. Para a instalação do sistema voltado à manutenção da temperatura da água da piscina social, foi considerado que os coletores seriam instalados sobre a cobertura do ginásio de esportes.

Para a piscina semiolímpica, foi considerada como área disponível para instalação dos coletores as áreas laterais sobre as arquibancadas existentes.

Para o sistema de aquecimento de água para banho será considerada área adjacente ao ginásio de esportes, no lado oeste. Entretanto, para fundamentar o cálculo da área total de coletores, será necessária ser feita uma estimativa da quantidade média de banhos efetuados por dia nos vestiários, uma vez que o clube não possuí dados a respeito.

## **1.7 PRINCIPAL CONCLUSÃO**

Para manutenção da temperatura da água das piscinas, o Clube Internacional de Regatas tem uma despesa permanente com a compra de gás natural e com energia elétrica para o aquecimento de água referente aos banhos nos vestiários da piscina social. O estudo de viabilidade técnica e econômica para implementação de sistemas de aquecimento solar pode indicar aos gestores do clube uma rota de redução dessas despesas, permitindo que o clube destine os valores atualmente dispendidos com a aquisição de gás natural e energia elétrica, a outros objetivos do clube e, concomitantemente, demonstre aos seus associados uma opção por tecnologias sustentáveis.

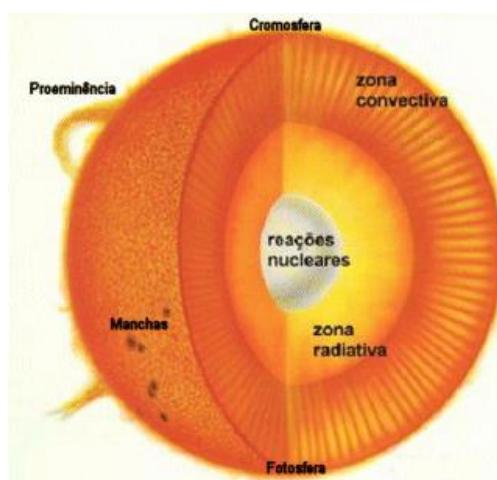
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O SOL

O Sol, basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece uma geração de energia através de reações termo nucleares. Possui 695 000 km de raio e massa de  $1,989 \times 10^{30}$  kg; a distância média da Terra é de  $1,5 \times 10^{11}$  metros. Sua composição química é basicamente de hidrogênio e hélio, nas proporções de 92,1 e 7,8%, respectivamente. [1]

O modelo representado na figura 2 mostra as principais regiões do Sol. A fotosfera, com cerca de 330 km de espessura e temperatura de 5785 K, é a camada visível do Sol. A palavra vem do grego: photo = luz. Logo abaixo da fotosfera se localiza a zona convectiva, se estendendo por cerca de 15% do raio solar. Abaixo dessa camada está a zona radiativa, onde a energia flui por radiação. O núcleo, com temperatura de cerca de 15 milhões de graus Kelvin, é a região onde a energia é produzida, por reações termonucleares. A cromosfera é a camada da atmosfera solar logo acima a fotosfera. A palavra vem do grego: cromo = cor. Ela tem cor avermelhada e é visível durante os eclipses solares, logo antes e após a totalidade. Estende-se por 10 mil km acima da fotosfera e a temperatura cresce da base para o topo, tendo um valor médio de 15 mil K. Ainda acima da cromosfera se encontra a coroa, também visível durante os eclipses totais. A coroa se estende por cerca de dois raios solares. [1]

*Figura 2. O Sol e Suas Camadas.*



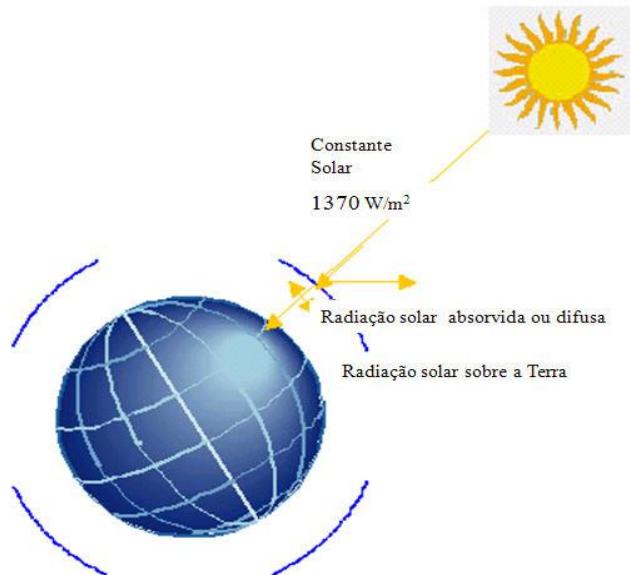
Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>

### 2.1.1 Constante solar e as componentes da radiação solar

A radiação solar percorre a distância Terra-Sol sem alterar sua direção, de acordo com os princípios da propagação de ondas eletromagnéticas, até atingir a atmosfera da Terra. Tão logo foi conhecida a distância do Sol, em 1673, por Jean Richer (1630-1696) e Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) que determinaram a distância (paralaxe) de Marte e com esta estimaram a unidade astronômica como 140 milhões de km (150 milhões de km é o valor atual), foi possível determinar a sua luminosidade e sua potência. [1]

Denomina-se Constante Solar ( $G_{sc}$ ) o fluxo de energia radiante, expresso em  $\text{W/m}^2$ , que incide normalmente ao plano de uma superfície colocada fora da atmosfera terrestre (extraterrestre), conforme apresentado na figura 3. Segundo Duffie e Beckman, seu valor mais atual da constante solar é de  $1367 \text{ W/m}^2$ . [1]

*Figura 3. Incidência da Constante Solar sobre a Terra.*



Fonte: ADEME, 2002

Essa constante corresponde a um valor máximo da irradiação solar, pois é medida antes que ocorra qualquer tipo de atenuação por nuvens, aerossóis, poluição ou absorção pelos próprios elementos constituintes da atmosfera terrestre.

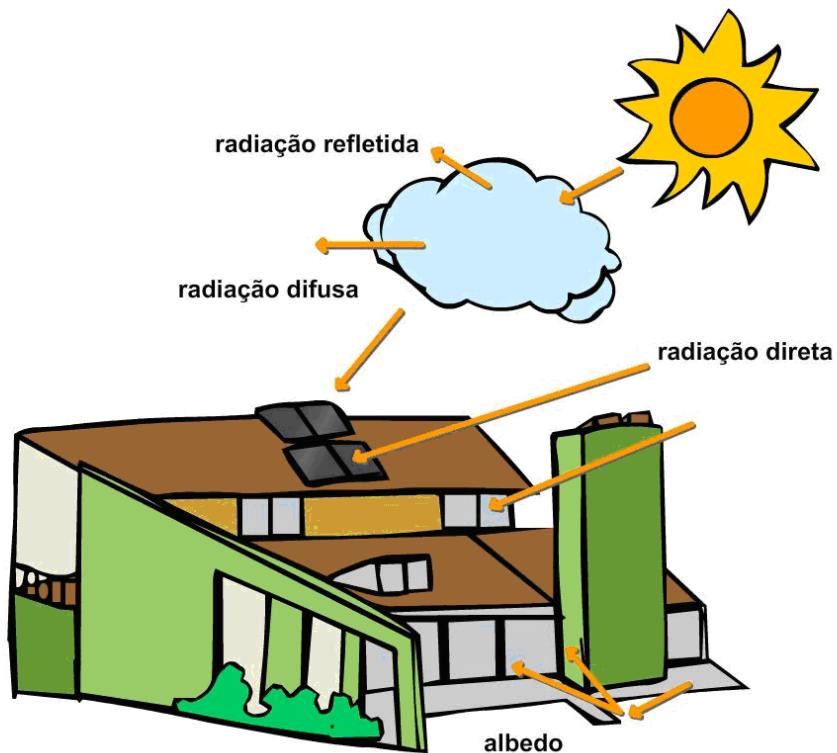
Ao atravessar a atmosfera terrestre, entretanto, condições climáticas e locais introduzem modificações na intensidade e espectro da radiação, além de alterar sua direção original.

Assim, a irradiação solar incidente sobre os coletores solares é decomposta em duas componentes como mostra a figura 4:

Radiação solar direta: definida como a fração da irradiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua direção original. [1]

Radiação difusa: refere-se a componente da irradiação solar que, ao atravessar a atmosfera e espalhada por aerossóis, poeira, ou mesmo, refletida pelos elementos constituintes dessa atmosfera. A parte da radiação que atinge o coletor proveniente da emissão e reflexão de sua vizinhança, caracterizada pela vegetação e construções civis, também é incluída em sua componente difusa, sendo comumente denominada albedo. [1]

*Figura 4. Componentes da Irradiação Solar*



Fonte: ADEME, 2002

## 2.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS: LATITUDE, LONGITUDE e ALTITUDE

As coordenadas terrestres permitem a localização de um ponto sobre a superfície terrestre ou sua vizinhança, possibilitando calcular as grandezas envolvidas no estudo da geometria solar para a cidade ou região específica de interesse.

- Latitude geográfica ( $\Phi$ ): corresponde a posição angular em relação a linha do Equador, considerada de latitude zero. Cada paralelo traçado em relação ao plano do Equador corresponde a uma latitude constante: positiva, se traçada ao Norte e negativa, se posicionada ao sul do Equador. Os Trópicos de Câncer e de Capricórnio correspondem às latitudes de  $23^{\circ} 27'$  ao Norte e ao Sul, respectivamente, compreendendo a região tropical.
- Longitude geográfica (L): é o ângulo medido ao longo do Equador da Terra, tendo origem no meridiano de Greenwich (referência) e extremidade no meridiano local. Na Conferência Internacional Meridiana foi definida sua variação de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  (oeste de Greenwich) e de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  (leste de Greenwich). A Longitude é muito importante na determinação dos fusos horários e da hora solar.
- Altitude (Z): equivale à distância vertical medida entre o ponto de interesse e o nível médio do mar. Coordenadas geográficas influenciam significativamente a radiação solar incidente em cada localidade. [1]

### **2.3 OS MOVIMENTOS DA TERRA E AS ESTAÇÕES DO ANO**

A Terra descreve uma órbita em torno do Sol, encontrando-se este em um dos focos. O plano que contém esta trajetória e a de todos os planetas denomina-se plano de eclíptica. Os movimentos da Terra, mostrados na figura 5, podem ser sucintamente descritos como:

- movimento de rotação: a terra roda sobre si mesma e completa uma rotação em 24 horas; simultaneamente, percorre uma trajetória em torno do sol em um ano e 6 horas.
- movimento de translação: movimento em torno do Sol, que se dá em uma órbita elíptica cujo período orbital é de 365,256 dias. De 4 em 4 anos acerta-se o calendário com um ano bissexto.

Como o eixo polar possui uma inclinação de  $23,45^{\circ}$  em relação à reta normal do plano da órbita terrestre, à medida em que a Terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério do que no outro. Assim, há verão com dias mais longos e inverno com dias de menor duração. [1]

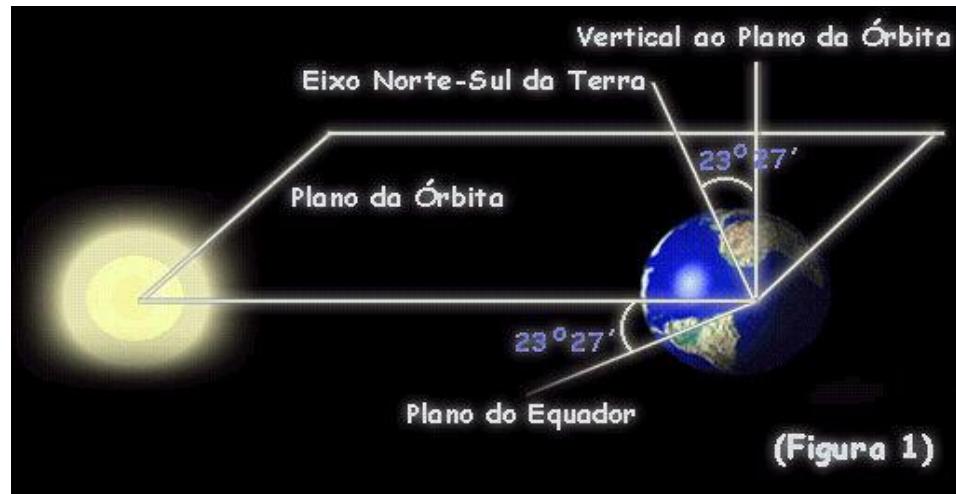
*Figura 5. Movimento de Translação da Terra*



Fonte: ANEEL- Atlas [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)

O ângulo formado entre a vertical ao plano da órbita e o eixo Norte –Sul, mostrado na figura 6, é de  $23^{\circ} 27'$ , ou seja,  $23,45^{\circ}$ , definindo, assim, regiões e épocas do ano com maior nível de incidência da radiação solar. [1]

*Figura 6. Órbita da Terra*

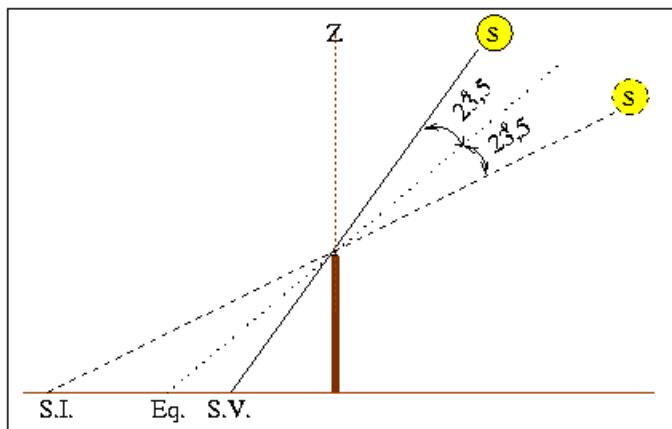


Fonte: <http://members.tripod.com/meteorologia/estacao.html>

Uma observação simples que permite "ver" o movimento do Sol durante o ano é através do gnomon, como mostrado na figura 7. Um gnomon nada mais é do que uma haste vertical fincada ao solo; durante o dia, ao ser iluminada pelo Sol, forma uma sombra cujo tamanho depende da hora do dia e da época do ano. A direção da sombra ao meio-dia real local nos dá a direção Norte-Sul. Ao longo de um dia, a sombra é

máxima ao nascer e ao ocaso do Sol, e é mínima ao meio-dia. Ao longo de um ano (a mesma hora do dia), a sombra é máxima no solstício de inverno, e mínima no solstício de verão. A bissetriz marca o tamanho da sombra nos equinócios, quando o Sol está sobre o equador. Foi observando a variação do tamanho da sombra do gnomon ao longo do ano que os antigos determinaram o comprimento do ano das estações, ou ano tropical. [1]

*Figura 7. Identificação dos movimentos do sol usando o gnomon*



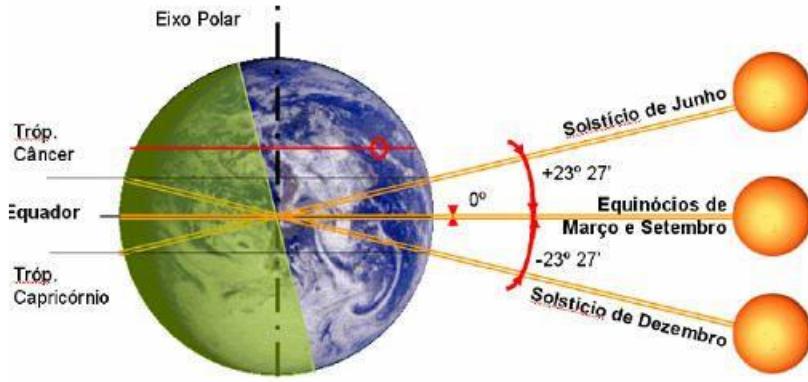
Fonte: <http://astro.ef.ufrgs.br/tempo/mas.htm>.

No caso específico do Hemisfério Sul, os solstícios e equinócios são:

- Solstício de Verão: 22 de dezembro
- Equinócio de Outono: 21 de março
- Solstício de Inverno: 21 de junho
- Equinócio de Primavera: 23 de setembro

No solstício de inverno, que corresponde ao dia 21 de junho no Hemisfério Sul, temos a maior noite do ano. Para descrever a trajetória do Sol no céu, é conveniente adotar um sistema de coordenadas fixo na Terra e assumir que o Sol se move em uma órbita circular em torno da Terra. [1]

Figura 8. Posição relativa do Sol em relação à Terra.

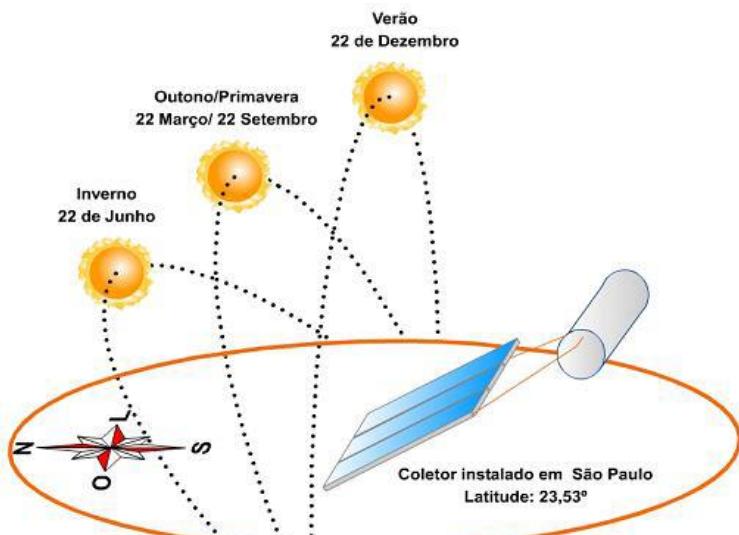


Fonte: ABRAVA, Manual de Capacitação em Projetos de Energia Solar

Neste caso, em ambos os equinócios, o Sol encontra-se sobre o plano do Equador, correspondendo, assim, a dias e noites iguais, com 12 horas de duração.

No solstício de verão (22/12), o Sol encontra-se sobre o Trópico de Capricórnio, localização correspondente à cidade de São Paulo; sendo, assim, verão no Hemisfério Sul. Isto significa que neste dia, às 12 horas, o Sol passa no ponto mais alto do céu na cidade de São Paulo, como mostra a figura 9. Este fenômeno é popularmente conhecido como “sol a pino”, ou seja, tomando-se uma linha vertical (zênite) sobre um observador na cidade de São Paulo às 12 horas, o ângulo que o raio solar faz com a linha zenital é zero. Para um observador instalado no Equador, este ângulo será de 23,45º ao Sul. [1]

Figura 9. Posição do Sol sobre a cidade de São Paulo



Fonte: ABRAVA, Manual de Capacitação em Projetos de Energia Solar

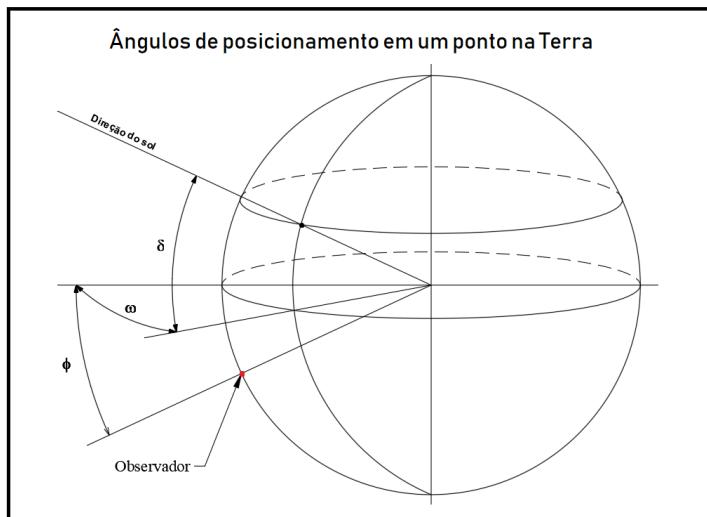
No solstício de inverno (21/06), o Sol encontra-se sobre o Trópico de Câncer, estando a  $23,45^\circ$  ao Norte, ao meio-dia solar, em relação a um observador no Equador. Dessa forma, considerando-se o movimento relativo do Sol em torno da Terra, podemos concluir que sua trajetória anual fica compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, como ilustrado na figura 8. [1]

## 2.4 ÂNGULOS SOLARES

Admitindo-se a hipótese na qual a trajetória da energia solar em direção à superfície terrestre é uma reta, os ângulos de incidência dessa energia são fatores importantes no rendimento de sistemas de aquecimento solar, razão pela qual a compreensão dessas variáveis é fundamental nos estudos e projetos desses sistemas.

A figura 10 ilustra o posicionamento de alguns dos ângulos que influem na intensidade da radiação incidente sobre um determinado ponto da superfície da Terra. [2]

*Figura 10. Ângulo de posicionamento em um ponto Terra*



Fonte: Poli-PECE. Energias Renováveis/apostila Solar1- 2018

O ponto cinza mostra a posição de uma observador sobre a superfície terrestre, na latitude ( $\Phi$ ) e longitude ( $L$ ), em determinada hora do dia. No mesmo momento, o sol está em uma passagem meridiana indicada por um outro ponto hachurado em uma longitude distinta daquela na qual está o observador. Os ângulos que podemos considerar são:

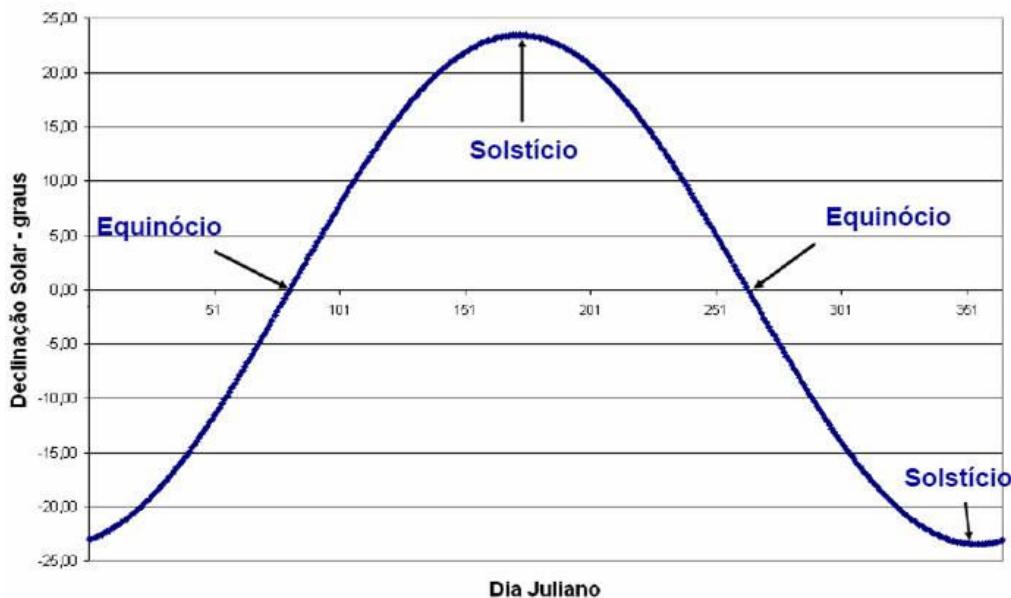
- Latitude ( $\Phi$ ): é o ângulo de vértice no centro da Terra, formado por uma semirreta que passa pelo ponto onde está o observador com o plano do Equador; a latitude é positiva na hemisfério norte;
- Ângulo horário ( $\omega$ ): é o ângulo formado pela projeção da reta que passa pelo ponto onde está o observador e o centro da Terra sobre o plano de Equador, com a projeção da reta coincidente com direção do sol ao centro da Terra sobre o plano do Equador; é negativo pelas manhãs;
- Ângulo Declinação Solar ( $\delta$ ): é o ângulo de vértice no centro da Terra, formado pela semirreta determinada pela direção do Sol e pela projeção dessa semirreta sobre o plano do Equador ; a variação da declinação solar ao longo do ano está entre os limites de  $-23,45^{\circ}$   $< \delta < + 23,45^{\circ}$  ; [2]

A declinação solar pode ser obtida pela equação:

$$\delta = 23,45 \cdot \operatorname{sen} \left( 360 \cdot \frac{(284+n)}{365} \right) \quad (1)$$

Na qual “n” corresponde ao dia do ano, sendo igual a unidade, em 1º de janeiro. Portanto, o parâmetro “n” varia de 1 a 365. Na figura 11, é mostrado o gráfico da declinação solar para os meses do ano.

*Figura 11. Declinação Solar para os meses do ano*



Fonte: ABRAVA, Manual de Capacitação em Projetos de Energia Solar

O ângulo horário ( $\omega$ ) em uma latitude L pode ser calculado a partir da equação:

$$\omega = (HS - 12) \times 15 \quad (2)$$

Onde HS é a hora solar, que por sua vez é dada pela expressão:

$$HS = HL + Corhora \quad (3)$$

Onde:

- HL é a hora legal na longitude L, referente à longitude da hora legal  $L_o$ .
- Corhora é a correção devida à hora, dada por

$$Corhora = (4 \times (L_o - L) + E) / 60 \quad (4)$$

Onde E é dado pela equação:

$$E = 9,87 \times \sin(2B) - 7,35 \times \cos(B) - 1,5 \times \sin(B) \quad (5)$$

Onde B é dado pela equação:

$$B = ((360/364) \times (n - 81)) \quad (6)$$

Onde n é o dia do ano.

Observar que como a duração do dia em local de latitude ( $\Phi$ ) varia no decorrer do ano, é possível calcular o ângulo horário do pôr do sol ( $\omega_s$ ), pela equação:

$$\cos(\omega_s) = -\tan(\Phi) \tan(\delta) \quad (7)$$

Com a determinação do ângulo horário do pôr do sol, podemos determinar a duração da insolação (N) no dia, expressa em horas, pela expressão:

$$N = (2/15) / \omega_s \quad (8)$$

## 2.5 ÂNGULOS RELACIONADOS À INSTALAÇÃO DE COLETORES SOLARES

### 2.5.1 Geometria solar

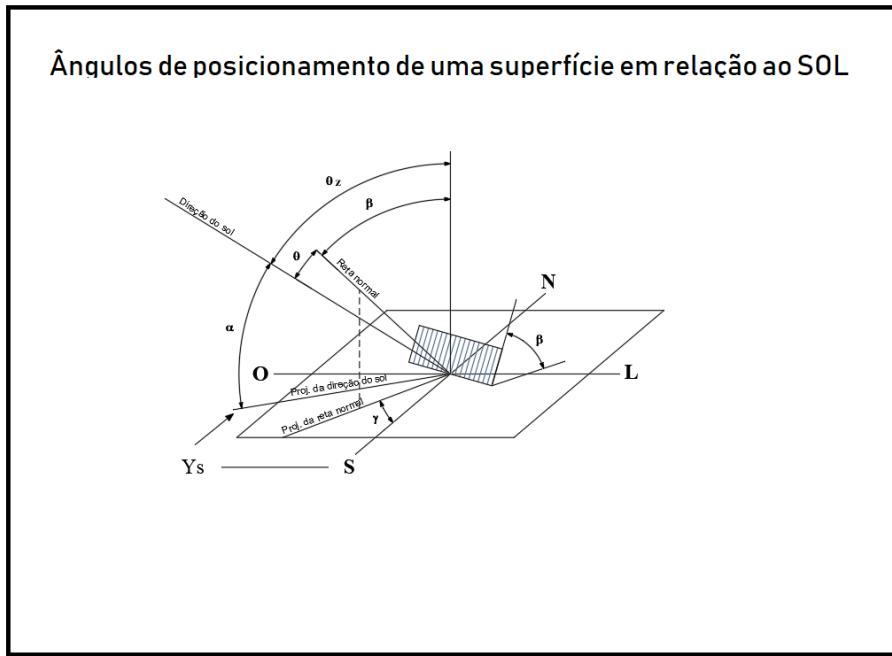
O melhor aproveitamento do recurso solar é um dos requisitos para garantir o bom funcionamento da instalação, menor investimento na implantação do sistema, além de uma maior economia ao final do mês. A instalação correta e otimizada de uma bateria de coletores solares exige uma definição prévia das inclinações e orientações mais adequadas, as quais variam em função da posição geográfica da localidade em estudo e do perfil de consumo de água quente. [1]

A primeira trata das condições físicas de instalação na obra e a segunda parte refere-se aos ângulos solares propriamente ditos. O correto posicionamento dos coletores solares visa promover:

- Maior período diário de insolação sobre a bateria de coletores;
- Maior captação da radiação solar em determinadas épocas do ano ou em médias
- Anuais, dependendo do tipo de aplicação requerida ou de particularidades do uso final da água quente.

Nas aplicações de energia solar, a área da aplicação pode ser considerada um plano horizontal e se considerarmos uma instalação de energia solar sobre esse plano e a incidência da energia solar, poderemos destacar alguns ângulos que afetam a eficiência do sistema, conforme figura 12.

Figura 12. Ângulos de posicionamento de uma superfície em relação ao sol.



Fonte: Poli-PECE. Energias Renováveis/apostila Solar1- 2018

- ângulo zenital ( $\theta_z$ ): é o ângulo resultante da reta de incidência do sol com a perpendicular do plano horizontal; o range do ângulo zenital varia na faixa  $0 \leq \theta_z \leq 90^\circ$  e pode ser calculado pela equação abaixo: [2]

$$\cos \theta_z = \sin(\delta)\sin(\Phi) + \cos(\delta)\cos(\Phi)\cos(\omega) \quad (9)$$

Portanto, o ângulo zenital é função da declinação solar ( $\delta$ ), da latitude ( $\Phi$ ) e do ângulo horário ( $\omega$ ).

O ângulo complementar do ângulo zenital ( $\theta_z$ ) é denominado altitude solar ( $\alpha$ )

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (10)$$

- ângulo do azimute solar ( $\gamma_s$ ): é o ângulo formado pela projeção da direção do sol no plano horizontal com a reta representativa do meridiano norte-sul; é medido a partir do meridiano local, tendo o valor 0 quando a direção for Sul. [2] O valor do azimute solar é calculado em módulo, conforme equação 11:

$$\text{arc cos} \left( \frac{\cos \theta_z \cdot \sin \Phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cdot \cos \Phi} \right) \quad (11)$$

Seu sinal deve ser o mesmo do ângulo horário ( $\omega$ ) e sua variação é de  $-180^\circ \leq \gamma_s \leq +180^\circ$ . A direção Sul possui  $(\gamma_s) = 0^\circ$ . Se for positivo, medir no sentido horário a partir do sul; se negativo, medir no anti-horário a partir do sul.

- ângulo azimutal de superfície ( $\gamma^*$ ): é o ângulo formado, no plano horizontal, pela projeção da reta normal à superfície receptora (que muitas vezes está inclinada, em relação ao mesmo plano horizontal, de um ângulo  $\beta$ ) com a reta do meridiano Norte-Sul. Sua variação é de :  $-180^\circ \leq \gamma \leq +180^\circ$ , sendo medido a partir do S =  $0^\circ$ .

No sentido anti-horário  $E < 0$  e no sentido horário  $W > 0$ .

- ângulo de incidência solar ( $\theta$ ): é o ângulo formado sobre uma superfície de inclinação  $\beta$ , pela projeção da reta normal à superfície inclinada sobre o plano horizontal e o ângulo azimutal de superfície  $\gamma^*$ . É função dos ângulos declinação solar ( $\delta$ ), latitude ( $\Phi$ ), ângulo horário ( $\omega$ ), inclinação da superfície ( $\beta$ ) e ângulo azimutal de superfície ( $\gamma^*$ ). Pode ser calculado pela Equação 2.4.4:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta) \sin(\Phi) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma^*) \\ & + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma^*) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma^*) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (12)$$

Quando a superfície receptora está no hemisfério sul diretamente voltada para o norte, o ângulo azimutal de superfície ( $\gamma^* = 180^\circ$ ) tem ângulo de incidência  $\theta$  calculado pela Equação 13:

$$\cos(\theta) = \cos(\Phi + \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi + \beta) \sin(\delta) \quad (13)$$

E, quando a superfície está diretamente voltado para o sul,  $\gamma = 0^\circ$ , no hemisfério norte, tem o ângulo de incidência  $\theta$  calculado pela Equação 14. [2]

$$\cos(\theta) = \cos(\Phi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi - \beta) \sin(\delta) \quad (14)$$

## 2.6 CRITÉRIOS PARA POSICIONAMENTO CORRETO DOS COLETORES

**Critério da média anual:** para este caso, a média aritmética calculada a partir das inclinações ótimas nos respectivos solstícios de verão e de inverno coincide com a própria latitude da localidade de instalação do sistema de aquecimento solar. [1]

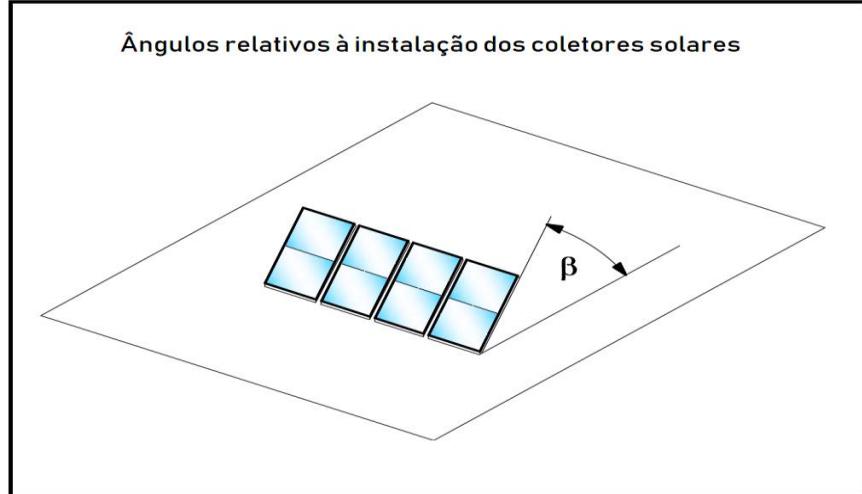
$$B = |\Phi|, \text{ onde } \Phi \text{ é a latitude local.}$$

**Critério favorecimento do inverno:** critério a ser aplicado quando a demanda no período de inverno é maior.

$$B = |\Phi| + 10^\circ, \text{ onde } \Phi \text{ é a latitude local.}$$

A figura 13 ilustra o posicionamento do coletor em relação ao plano horizontal

*Figura 13. Posição do coletor em relação ao plano horizontal*



Fonte: ABRAVA, manual de capacitação em projetos de energia solar.

Com relação ao posicionamento dos coletores em relação ao norte geográfico, para maior exposição à irradiação solar:

- Desvios de até  $30^\circ$  em relação ao norte geográfico, tanto para leste quanto para oeste, não precisariam ser compensados com aumento da área coletora;
- Desvios entre  $30^\circ$  e  $90^\circ$  ao norte geográfico, tanto para leste quanto para oeste, precisam ser compensados com aumento da área de coletores;

- Desvios maiores do que 90° em relação ao norte geográfico, tanto para leste quanto para oeste, não são recomendados para a instalação de coletores. [1]

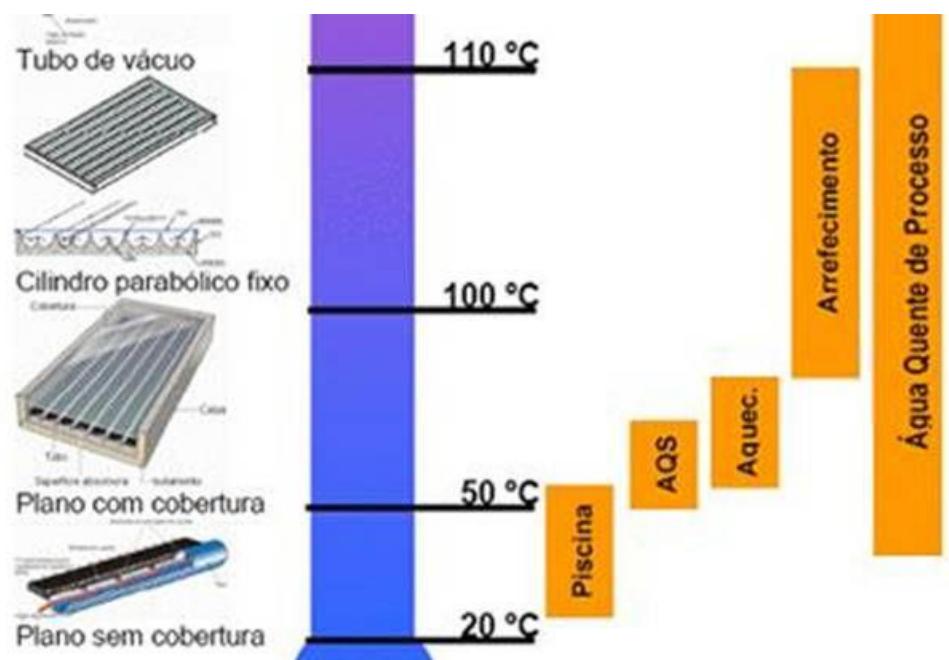
## 2.7 COLETORES SOLARES

O coletor solar é basicamente um dispositivo que promove o aquecimento de um fluido de trabalho, como água, ar ou fluido térmico, através da conversão da radiação eletromagnética proveniente do Sol em energia térmica. [1]

No coletor solar busca-se, sempre, a maximização da energia absorvida e a minimização das perdas desta energia. De acordo com a Norma Técnica Brasileira 15569, os coletores solares devem atender à conforme ABNT NBR 10184 e devem ser capazes de operar nas faixas de pressão, temperatura e demais condições especificadas em projeto, incluindo resistência de exposição direta à radiação solar. A escolha de um tipo de coletor solar depende basicamente da temperatura de operação requerida em determinada aplicação prática, como mostra a figura 14.

No Brasil os coletores solares mais usados são os planos sem cobertura, na sua maioria usados para o aquecimento de piscinas e os coletores solares planos com cobertura para fins sanitários e para água quente de processos. [1]

Figura 14. Coletores solares por aplicação e por níveis de temperatura



Fonte: ABRAVA, Manual Abrava de Capacitação em Projetos de Energia Solar, 2008.

### 2.7.1 Coletores solares abertos

O aquecimento de piscinas a temperaturas entre 26 e 34º C é normalmente promovido por coletores solares abertos, conforme figura 15. Essa designação é utilizada, pois tais coletores não possuem cobertura transparente nem isolamento térmico. Apresentam ótimo desempenho para baixas temperaturas, o qual decresce significativamente para temperaturas mais elevadas. São fabricados predominantemente em material polimérico como polipropileno e epdm. Deve-se ficar muito atento, pois materiais plásticos sem o devido tratamento contra radiação ultravioleta se desgastam em menos de um ano e, portanto, os coletores solares devem ser resistentes ao Sol de modo que durem 20 anos. Recentemente tem-se falado de coletores feitos de PVC e garrafas pet e cabe lembrar que estes materiais não são aplicáveis na sua forma final para fabricação de coletores solares destinados ao aquecimento de água nos padrões de durabilidade e saúde exigidos. [1]

*Figura 15. Coletores Solares Abertos*



Fonte: Manual de Instalação – Rede Brasil de Capacitação em Energia Solar.

### 2.7.2 Coletores solares fechados

Os coletores solares fechados são utilizados para fins sanitários, atingindo temperaturas da ordem de 70 a 80 ºC e são os mais utilizados no Brasil.

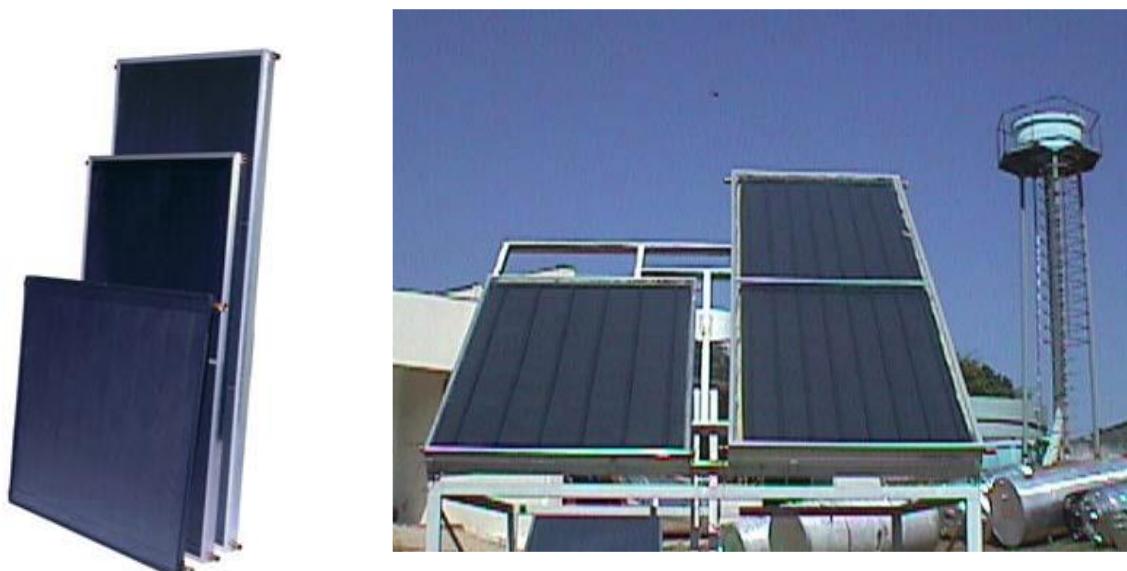
Os principais mecanismos de transferência de calor que ocorrem em um coletor solar são:

- A energia solar é absorvida pela placa coletora que se aquece e, devido à diferença de temperatura entre a placa e o ambiente, passa a trocar calor com o meio externo;

- Para reduzir estas trocas de calor com o meio, a escolha de materiais adequados é de extrema importância no projeto do coletor;
- Para reduzir as perdas de calor pela base e laterais do coletor a placa é colocada no interior de uma caixa, feita em material isolante; [1]

A figura 16 exemplifica alguns tipos de condutores solares fechados.

*Figura 16. Exemplos de Coletores Solares Fechados*



Fonte: Manual de Instalação – Rede Brasil de Capacitação em Energia Solar

Basicamente, um coletor solar plano fechado é constituído por:

- Caixa externa: geralmente fabricada em perfil de alumínio, chapa dobrada ou material plástico e que suporta todo o conjunto.
- Isolamento térmico: minimiza as perdas de calor para o meio. Fica em contato direto com a caixa externa, revestindo-a. Os materiais isolantes mais utilizados na indústria nacional estão relacionados na tabela 2. [1]

*Tabela 2. Materiais Utilizados em Caixas de Coletores Solares*

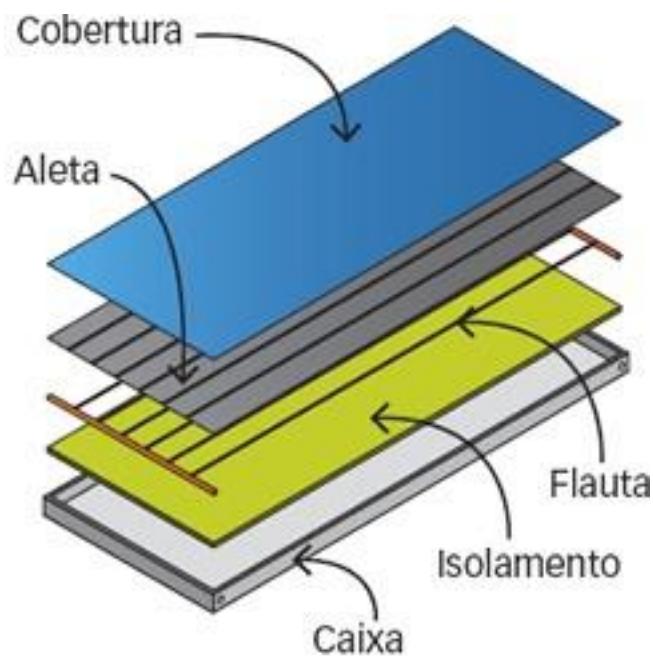
MATERIAIS ISOLANTES	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)
Lã de vidro	0,038
Lã de rocha	0,040
Espuma rígida de poliuretano	0,026

Fonte: Manual de capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar

- Tubos (flauta / calhas superior e inferior): tubos interconectados através dos quais o fluido escoa no interior do coletor. Normalmente, a tubulação é feita de cobre devido à sua alta condutividade térmica e resistência à corrosão.
- Placa absorvedora (aletas): responsável pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho. As aletas metálicas, em alumínio ou cobre, são pintadas de preto fosco ou recebem tratamento especial para melhorar a absorção da energia solar.
- Cobertura transparente: geralmente de vidro, policarbonato ou acrílico que permite a passagem da radiação solar e minimiza as perdas de calor por convecção e radiação para o meio ambiente.
- Vedaçāo: importante para manter o sistema isento da umidade externa. [1]

A figura 17 ilustra detalhes de um coletor fechado.

*Figura 17. Estrutura de um coletor fechado*



Fonte: Techne 17.Pini.com.br

### 2.7.3 Coletores a vácuo

Conforme a aplicação os coletores possuem características que se adaptam à utilização desejada. Em alguns casos, pode-se necessitar de coletores que produzam água a temperaturas mais elevadas, ou até mesmo vapor, como é o caso do uso em complexos hospitalares. [4]

Temperaturas mais elevadas podem ser obtidas através da redução da perda térmica no coletor solar. Diversas técnicas podem ser aplicadas tais como: redução das perdas ópticas com coberturas específicas para essa finalidade, melhor absorção através de coletores de absorção seletiva e, redução das perdas por convecção no interior dos coletores através da criação de vácuo entre o absorvedor e a cobertura. Esta última alternativa caracteriza o coletor a vácuo, cujo exemplo é apresentado na figura 18. [4]

Figura 18. Coletor a vácuo



Fonte: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistema de Aquecimento Solar- COMGAS.

## 2.8 CARACTERÍSTICAS DOS COLETORES

O Programa Brasileiro de Etiquetagem para coletores solares permitiu a criação de critérios personalizados para comparar os diferentes modelos de coletores disponíveis no mercado nacional. Representa, pois, uma forma rápida e segura para a seleção do coletor solar que melhor atende às necessidades de água quente a custos compatíveis.

Os dados característicos de coletores disponíveis no mercado e certificados pelo programa estão disponíveis no site do INMETRO, nas tabelas de consumo e eficiência

energética para sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água (PBE Solar-coletores e reservatórios). [5]

## **2.9 ESTIMATIVA DA ÁREA DE COLETORES NECESSÁRIA PARA SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA PISCINAS**

Para piscinas de grande porte o sistema de aquecimento solar deve operar em paralelo com o sistema de aquecimento existente, de forma a manter a temperatura da água nos valores recomendados em função da utilização da piscina, se para competição ou uso social; em outras palavras, caberá ao sistema de aquecimento solar repor as perdas de energia responsáveis pela redução da temperatura ideal da água.

Essas perdas de energia ocorrem devido a dois processos de transferência de calor: evaporação da água para o ambiente, que ocorre em piscinas descobertas e perdas de calor, devido ao processo de convecção, que ocorre tanto para piscinas cobertas quanto para piscinas descobertas. [6]

### **2.9.1 Estimativa da energia a ser repostada por sistemas de aquecimento solar**

A estimativa das perdas de calor por evaporação, de uma piscina descoberta, é dada pela equação 15.

$$q_e = P_a \cdot [35 \cdot V + 43 \cdot (T_p - T_a)^{1/3}] \times (w_p - w_a) \quad (15)$$

Sendo:

$q_e$ : perdas por evaporação, em W/m<sup>2</sup>;

$P_a$ : pressão atmosférica, em kPa;

$V$ : velocidade do vento nas proximidades da piscina, em m/s;

$T_p$ : temperatura desejada da água da piscina, em °C;

$T_a$ : temperatura média anual do local, em °C;

$w_p$ : relação de umidade de saturação à temperatura da piscina, em kg de vapor d'água /kg de ar seco;

$w_a$ : relação de umidade do ar ambiente sobre a piscina, em kg de vapor d'água/ kg de ar seco;

A velocidade do vento é desconhecida no local da piscina. Entretanto, de acordo com Duffie e Beckman (2013), recomenda-se que seja usada uma velocidade entre um décimo e um quinto da velocidade do vento medida na estação de medição mais próxima.

As grandezas  $w_p$  e  $w_a$  são determinadas a partir de cartas psicrométricas do local, vide anexo 4.

A estimativa das perdas de calor por convecção, é dada pela equação 16.

$$q_c = \frac{q_e \cdot 0,0006 \times (T_p - T_a)}{(w_p - w_a)} \quad (16)$$

Sendo:

$q_c$ : perdas por convecção, em W/m<sup>2</sup>;

$q_e$ : perdas por evaporação, em W/m<sup>2</sup>;

$T_p$ : temperatura desejada da água da piscina, em K;

$T_a$ : temperatura média anual do local, em K;

$w_p$ : relação de umidade de saturação à temperatura da piscina, em kg de vapor d'água /kg de ar seco;

$w_a$ : relação de umidade do ar ambiente sobre a piscina, em kg de vapor d'água/ kg de ar seco;

As grandezas  $w_p$  e  $w_a$  são as mesmas variáveis definidas nos cálculos das perdas por evaporação.

A quantidade de energia a ser fornecida pelo sistema de aquecimento é dada pela soma das energias perdidas por evaporação ( $q_e$ ) e por convecção ( $q_c$ ).

### 2.9.2 Estimativa da área de coletores e do número de coletores

Para calcular a área de coletores necessária para fornecer a quantidade de energia perdida pelos processos de evaporação e convecção que ocorrem em uma piscina descoberta, e assim manter a temperatura desejada, será utilizada o método de dimensionamento indicado pela ABNT NBR:15.569:2008.

Seguindo-se a ordem do método de dimensionamento indicado pela norma, primeiro deve ser calculado o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar:

- para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$ :

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{óptimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2]} \quad (17)$$

- para  $\beta \leq 15^\circ$ :

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{óptimo})^2]} \quad (18)$$

Sendo:

$FC_{instal}$ : fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar, função do ângulo de inclinação  $\beta$  e  $\beta_{óptimo}$  dos coletores em relação ao plano horizontal;

$\beta$ : inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, em graus;

$\beta_{óptimo}$ : inclinação ótima do coletor para o local da instalação, em graus; sugere-se que seja adotado o valor do módulo da latitude local mais  $10^\circ$ ;

$\alpha$ : ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, em graus;

O cálculo da produção média diária de energia específica do coletor é função das variáveis  $F_{RT\alpha}$  e  $F_{RUL}$ , coeficiente de ganho do coletor solar e coeficiente de perdas do coletor solar, respectivamente. As grandezas  $F_{RT\alpha}$  (coeficiente de ganho do coletor) e  $F_{RUL}$  são obtidas experimentalmente pelos fabricantes de coletores. O Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), fornece na tabela vigente de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, o valor desses coeficientes para vários fabricantes, vide anexo 5.

$$PMDEE = 4,901 \times (F_{RT\alpha} - 0,0249 \times F_{RUL}) \quad (19)$$

Sendo:

$PMDEE$ : produção média diária de energia térmica do coletor escolhido, em  $kWh/mês.m^2$ ;

$F_{RT\alpha}$ : coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);

$F_{RUL}$ : coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional);

O cálculo da estimativa da área coletora é apresentado pela equação 20, abaixo:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (20)$$

Sendo:

$A_{coletora}$  = área coletora, em  $m^2$ ;

$E_{útil}$ : energia útil, em kWh/dia;

$E_{perdas}$ : energia referente às perdas dos circuitos primário e secundário, em kWh/dia; considera-se 15% da  $E_{útil}$ ;

$I_G$ : valor da Irradiação Global média anual para o local de instalação, em  $kWh/m^2.dia$ , conforme anexo 6;

Determinada a área de coletores necessária para o fornecimento de energia térmica ao sistema, o número de coletores necessários será obtido dividindo-se a área de coletores calculada pela área do coletor escolhido.

$$N_{coletores} = A_{coletora} / A_{coletor} \quad (21)$$

## 2.10 ESTIMATIVA DA ÁREA DE COLETORES PARA SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUAS SANITÁRIAS

A estimativa da área de coletores solares necessária para dimensionamento de sistema de aquecimento solar para a água sanitária dos vestiários da piscina social do Clube Internacional de Regatas será feita com base no dimensionamento simplificado referenciado na norma ABNT NBR 15569:2008 Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. As seguintes etapas devem ser seguidas:

### 2.10.1 Estimativa do volume diário de consumo

O volume de água consumido diariamente a ser aquecido é dado pela somatória do produto entre a vazão de água quente consumida, em cada peça, pelo tempo médio de uso diário e pela frequência de uso das mesmas, conforme equação 22. A vazão e o tempo de utilização de cada peça estão sugeridos na tabela 3 abaixo, com os valores de consumo médio diário de água quente por pessoa sugeridos pela norma brasileira NBR 15569:2008.

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (22)$$

Sendo:

$V_{consumo}$ : volume total de água quente consumido diariamente, em  $m^3$ .

$Q_{pu}$ : vazão da peça em utilização, em  $m^3/s$ ;

$T_u$ : tempo médio de uso diário da peça de utilização, em segundos; conforme tabela 3;

Frequência de uso: número de utilizações da peça;

*Tabela 3. Consumo típico dos equipamentos que utilizam água quente – valores sugeridos*

Peça	Consumo (l/min)		Ciclo diário	Temperatura
	Mínimo	Máximo	(min./pessoa)	Consumo( $^{\circ}C$ )
Ducha de banho	6,6	12,0	10	39 – 40
Lavatório	3,0	4,8	2	39 – 40
Ducha Higiênica	3,0	4,8	2	39 – 40
Banheira	80	440	Banho	39 – 40
Pia Cozinha	3,0	4,8	3	39 – 40
Lava – Louças	20	20	Ciclo	39 – 40
Maq.lavar roupa	90	200	Ciclo	39 – 40

Fonte: ABNT NBR 15569.2008 – Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e Instalação

## 2.10.2 Cálculo das cargas térmicas

A carga térmica é a quantidade de energia necessária, em um mês, fornecida pelo sistema de aquecimento solar, para aquecer o volume total de água à temperatura desejada.

$$CT_m = \frac{V_{consumo} \cdot C_p \cdot \rho_{água} \cdot (T_{armaz} - T_{REDE}) \cdot n_{mês}}{3600000} \quad (23)$$

Onde:

- $CT_m$ : carga térmica mensal em kWh/mês;
- $V_{consumo}$ : é o volume total de água quente consumido diariamente em  $m^3$ ;
- $C_p$ : calor específico da água, que no caso será 4181 J/(kg.K) devido à temperatura de 50 °C para armazenamento;
- $\rho_{água}$ : densidade da água, utilizada nos cálculos como 1 kg/l;
- $T_{armaz}$ : temperatura de armazenamento da água aquecida (50°C);
- $T_{REDE}$ : temperatura da água que circula na rede pública, em °C; será adotado o valor de 20 °C;
- $n_{mês}$ : número de dias do mês.

### **2.10.3 Estimativa do volume do reservatório de água quente**

O volume do reservatório de água quente é função do volume de água quente consumido diariamente, da temperatura na qual a água quente é consumida, da temperatura ambiente e da temperatura na qual a água é armazenada. É calculado pela equação 24. [7]

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{amb})} \quad (24)$$

Sendo:

$V_{armaz}$ : volume do sistema de armazenamento do sistema de aquecimento solar, em  $m^3$ ; sugere-se que  $V_{armaz} \geq 75\% V_{consumo}$ ;

$V_{consumo}$ : volume de consumo diário, em  $m^3/s$ , conforme recomendado na tabela 3;

$T_{consumo}$ : temperatura de consumo de utilização, em °C (adotado 40°C);

$T_{armaz}$ : temperatura de armazenamento da água, em °C (adotado 50 °C);

$T_{amb}$ : temperatura ambiente média anual do local da instalação, vide anexo 7.

### **2.10.4 Estimativa da área coletora**

Para os sistemas de aquecimento solar das águas sanitárias dos vestiários masculino e feminino, o cálculo da energia útil será calculado conforme a equação 25, sugerida pela norma brasileira NBR 15569:2008, função do volume de água a ser armazenado, do peso específico e do calor específico da água, da temperatura de armazenamento e da temperatura ambiente do local de instalação dos coletores.

$$E_{útil} = V_{armaz} \times \gamma \times C_p \times (T_{armaz} - T_{amb}) \quad (25)$$

Sendo:

$E_{útil}$ : energia útil, em kWh/dia;

$V_{armaz}$ : volume do sistema de armazenamento do sistema de aquecimento solar, em  $m^3$ ;

$\gamma$ : massa específica da água (ou densidade) igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;

$C_p$ : calor específico da água igual a  $11,63 \times 10^{-4} \text{ kWh/(kg. } ^\circ\text{C)}$ ;

$T_{armaz}$ : temperatura de armazenamento da água, em  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{amb}$ : temperatura ambiente média anual do local da instalação, em  $^\circ\text{C}$ ;

As perdas térmicas referentes às perdas nos circuitos primário e secundário do sistema de aquecimento solar, é dado pela equação 26:

$$E_{perdas} = 0,15 \cdot E_{útil} \quad (26)$$

$E_{perdas}$ : somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, em kWh/dia;

$E_{útil}$ : energia útil, em kWh/dia;

A área coletora do sistema de aquecimento solar das águas dos vestiários masculinos e feminino, será calculada através da equação sugerida pela norma brasileira NBR 15569:2008 e apresentada anteriormente, equação 20.

## 2.10.5 Cálculo do sombreamento e espaçamento entre fileiras de coletores

Fixados os valores de orientação e inclinação dos coletores solares, é importante verificar qual a distância mínima entre as baterias de coletores para evitar ou minimizar o sombreamento que poderá ocorrer entre as mesmas ou em razão de outros obstáculos como construções vizinhas, árvores e etc. O valor da distância horizontal entre uma fila de coletores ou algum obstáculo de altura  $h$  pode ser determinado, de forma simplificada através da equação 27. [1]

$$d = \tan(\theta_z) \times h \quad (27)$$

Sendo:

$d$ : distância mínima entre coletores, em cm;

$\theta$ : ângulo de incidência solar, em graus;

$h$ : altura do coletor, inclinado do ângulo  $\beta$  em relação ao plano horizontal, em cm;

O ângulo de incidência solar é função de:  $\theta = F(\delta, \Phi, w, \beta, \gamma^*)$ , conforme equação 12.

Dois casos importantes devem ser destacados:

a) superfície no Hemisfério Sul, diretamente voltada para o Norte,  $\gamma^* = 180^\circ$ , tem o ângulo de incidência  $\theta$ , função de:  $\theta = F[(\Phi + \beta), \delta, w]$ , conforme equação 13.

b) superfície no Hemisfério Norte, diretamente voltada para o Sul,  $\gamma^* = 0^\circ$ , tem ângulo de incidência  $\theta$ , função de:  $\theta = F[(\Phi - \beta), \delta, w]$ , conforme equação 14.

#### 2.10.6 Método da fração solar

De acordo com Duffie e Beckman (2013), o método da fração ou f-chart permite estimar a percentagem de uma dada carga térmica que será fornecida por energia solar em um determinado sistema de aquecimento. Tal método foi criado por Klein et al. (1976, 1977) e Beckman et al. (1977, 1978) através de correlações obtidas de diversos resultados de simulações experimentais detalhadas. O desenvolvimento do método é feito considerando sistemas de aquecimento padrão, sendo eles, sistemas que utilizam líquido e ar (para aquecimento de espaço e água) ou sistemas destinados somente ao aquecimento de água. Como descrito acima, o presente trabalho trata de um sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias.

A fração solar de carga térmica mensal, definida por  $f$ , é dada em função de dois parâmetros adimensionais,  $X$  e  $Y$ . O primeiro está relacionado com as perdas de energia que ocorrem no coletor solar e o segundo com a razão entre a radiação solar absorvida e as cargas térmicas a serem supridas. De acordo com Maia (2013), a fração solar aumenta com o aumento de  $Y$  e diminui com o aumento  $X$ . Os parâmetros  $X$  e  $Y$  são dados pelas equações 28 e 29. [8]

$$X = \frac{A_{coletora} \times F_{RUL} \times (T_{ref} - T_{amb}) \times \Delta t_{mês}}{CT_m} \quad (28)$$

Sendo:

$A_{coletora}$ : área coletora, em  $m^2$ ;

$F_{RUL}$ : produto do fator de remoção e coeficiente global de perdas térmicas do coletor solar, correspondente à inclinação da curva de eficiência térmica instantânea, expresso em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ; [7]

$T_{ref}$ : temperatura de referência, considerada constante e igual a  $100 \text{ } ^\circ C$ ;

$T_{amb}$ : temperatura ambiente média para o mês em questão,  $^\circ C$ ;

$\Delta t_{mês}$  : duração do mês, em segundos;

$CT_m$ : demanda total de energia para aquecimento do volume de água ( $V$ ), em Joule.

$$Y = \frac{A_{coletora} \times F_{R\tau\alpha} \times H_T \times N_{mês}}{CT_m} \quad (29)$$

$F_{R\tau\alpha}$ : produto do fator de remoção, transmissividade do vidro e absorvidade da tinta dos coletores, para ângulo médio de incidência da radiação direta, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$H_T$ : radiação solar diária em média mensal incidente sob o plano do coletor, por unidade de área, em  $J/m^2$ . [7]

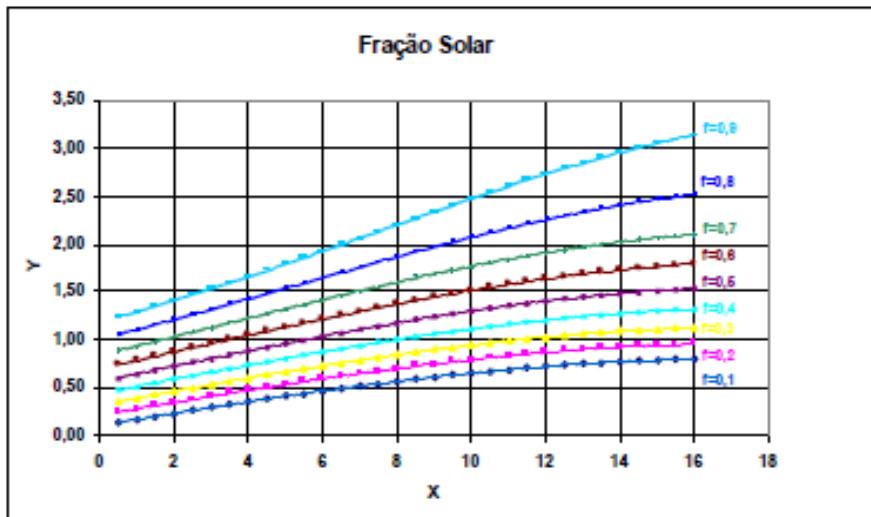
$N_{mês}$ : número de dias do mês;

Portanto, a fração solar,  $f$ , é definida, de acordo com Maia (2013), como a fração da carga térmica que é suprida pelos coletores solares. Para sistemas onde o fluido de trabalho seja líquido, como é o caso de estudo, a expressão 30 permite encontrar  $f$ : [8]

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (30)$$

Alguns resultados relação entre f, X e Y, conforme equação 30, estão exemplificadas no ábaco abaixo para o melhor entendimento da metodologia apresentada.

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3$$



A metodologia ainda considera duas correções a serem aplicadas para o parâmetro X.

A primeira correção se faz necessária pelo fato do modelo da Carta-F ter sido desenvolvido considerando uma relação de 75 litros de água quente armazenada por m<sup>2</sup> de área coletora. No caso onde esse valor é diferente de 75 L/m<sup>2</sup>, mas está dentro da faixa de 37,5 L/m<sup>2</sup> a 300 L/m<sup>2</sup>, é possível fazer uma correção ao parâmetro X, conforme equação 31: [8]

$$X_{c1} = X \left[ \frac{\text{relação volume / área}}{75 \text{ L/m}^2} \right]^{-0,25} \quad (31)$$

O segundo fator de correção do parâmetro X é aplicado quando o uso da energia solar se restringe apenas ao aquecimento de água. [7]

A correção é feita usando a equação 32:

$$X_{c2} = X_{c1} \left[ \frac{11,6 + 3,86T_{rede} + 1,18T_{f,min} - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}} \right] \quad (32)$$

Sendo:

$T_{REDE}$ : temperatura na qual a água é admitida da rede pública, em °C; será adotado o valor de 20 °C;

$T_{f,min}$ : temperatura mínima desejável para a água quente, em °C.

## 2.11 AVALIAÇÃO ECONÔMICA REFERENTE À INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Os parâmetros utilizados para avaliação da atratividade econômica de empreendimentos serão o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

### 2.11.1 Valor presente líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é uma metodologia que consiste em trazer para uma data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e soma-los ao valor do investimento inicial, considerando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade (TMA) considerada pela empresa ou pelo projeto. A Taxa Mínima de Atratividade é uma taxa de desconto que é considerada como a menor taxa de retorno para um investimento ou projeto ser aceito. [9]

As principais vantagens do conhecimento do VPL são:

- Leva em conta o valor do dinheiro no tempo;
- Leva em conta o custo do capital da empresa (TMA);
- Pode ser aplicado a qualquer fluxo de caixa, convencional ou não;
- Pressupõe a reinversão dos fluxos de caixa na TMA;

Suas desvantagens são:

- Exige o conhecimento de diversos parâmetros e precisa estimativa do fluxo de caixa que será utilizado para análise;
- É definido em termos absolutos (unidades monetárias) ao invés de relativos, não levando em conta a escala do projeto;
- É calculado para uma vida do projeto definida pelo estudo; caso o projeto tenha vida diferente, o VPL real será diferente do estudado. [9]

### 2.11.2 Taxa interna de retorno (TIR)

É valor estimado para a taxa de desconto que zera o valor presente líquido dos fluxos de caixa de um projeto; em outras palavras, é a taxa de retorno que faz com que a soma de todas as entradas e de todas as saídas, considerando o valor do dinheiro no tempo, seja zero. A TIR tem as seguintes vantagens: [9]

- Considera o valor do dinheiro no tempo;
- Permite comparar investimentos, pois seu resultado é expresso em percentual;

Possui como desvantagens:

- Pressupõe a reinversão dos valores à própria TIR, resultando em taxas “sub” ou “superestimadas”;
- Pode não ser preciso para fluxos de caixa não convencionais;

Para interpretar o resultado do cálculo da TRI é preciso fazer uma comparação com a taxa mínima de atratividade (TMA):

- Para  $TRI > TMA$ , o projeto pode ser aprovado, pois a TRI é maior do que o valor da taxa mínima de atratividade (TMA) considerada para a empresa;
- Para  $TRI = TMA$ , o projeto deve ser considerado indiferente, ou seja, a empresa investindo no projeto ou no investimento que oferece a TMA, terá o mesmo retorno;
- Para  $TRI < TMA$ , o projeto não deve ser aprovado, pois oferece uma TRI menor do que a taxa mínima de atratividade (TMA) disponível para a empresa; [9]

Tanto o cálculo do VPL quanto da TRI podem ser feitos com planilhas eletrônicas ou com calculadoras financeiras.

### **3 ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA NECESSÁRIO PARA A MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DAS PISCINAS SOCIAL E SEMIOLÍMPICA E PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA DE BANHO PARA OS VESTIÁRIOS DA PISCINA SOCIAL**

#### **3.1 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR NECESSÁRIO PARA MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DA PISCINA SOCIAL**

##### **3.1.1 Situação Problema**

O aquecimento da água da piscina social é feito através da troca de calor entre uma corrente de água quente aquecida em um gerador de água quente (figura 19), marca ECAL, com parte da água filtrada fria; essa troca de calor é feita em permutadores de calor nos quais há contato direto entre as duas correntes de água.

Dados do gerador de água quente:

- Potência térmica: 300.000 kcal/h;
- Combustível: gás natural (consumo previsto: 37,9 m<sup>3</sup>/h);
- Quantidade de água a aquecer: 6.000 l/h;
- Diferença de temperatura: 50 °C;

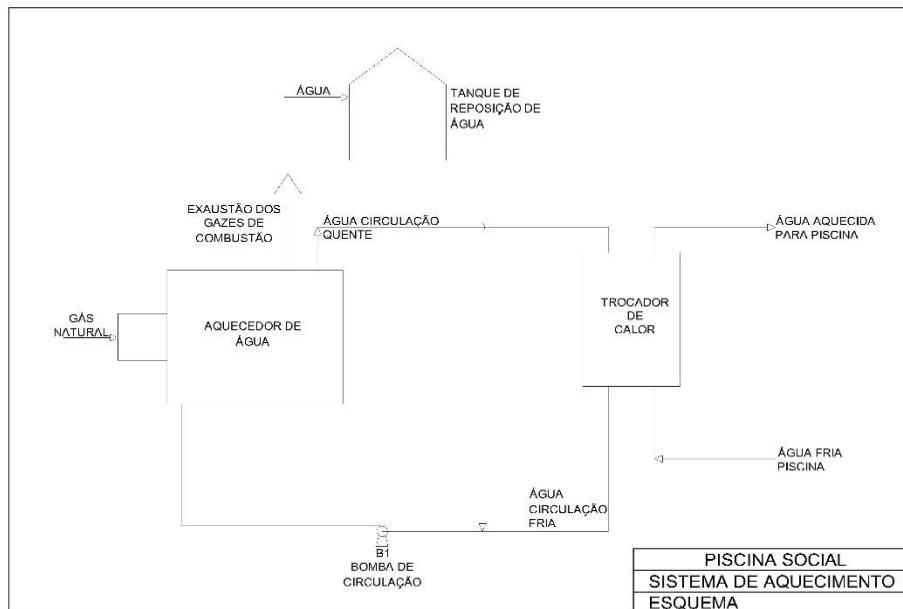
Figura 19. Gerador de Água Quente



Fonte: Foto do local – próprio autor

O gerador de água quente aquece a água fria vinda da piscina social de forma indireta, ou seja, há um circuito fechado de aquecimento de água, composto por um pequeno reservatório de água, uma bomba que faz a circulação da água através de tubos existentes no gerador de água; este gerador de água quente queima gás natural através de um maçarico e os gases dessa combustão aquecem a água deste circuito fechado de aquecimento de água. A água quente sai do gerador e entra em um permutador de calor que é parte do sistema de geração de água quente; neste permutador, a água quente transfere calor para a água fria proveniente da descarga da bomba de circulação da piscina social. A água de circulação, que cedeu calor para a água fria vinda da piscina, é bombeada de volta ao gerador de água quente e reinicia o ciclo de aquecimento, enquanto que a água da piscina aquecida no permutador retorna para a linha de recirculação de água da piscina social, misturando-se com água já filtrada da piscina, conforme figura 20.

Figura 20. Esquema do sistema atual de aquecimento da água da piscina social



Fonte: esquema referente a levantamento local.

O sistema de recirculação de água da piscina social tem, portanto, duas finalidades: recircular parte da água da piscina através de filtros de areia, para remoção de sólidos em suspensão, e enviar parte da vazão de água filtrada fria para aquecimento no gerador de água quente, de forma que a água lá aquecida mantenha a temperatura da água da piscina dentro dos parâmetros recomendados para sua atividade.

### 3.1.2 Análise Técnica

O cálculo da energia a ser reposta pelo sistema de aquecimento solar para manutenção da temperatura da água da piscina descoberta devido aos processos de evaporação e de convecção, foram apresentadas no item 2.9. As perdas por evaporação e convecção foram calculadas pela equação 15 e 16, respectivamente. Os valores adotados foram:

$$P_a = 101,03 \text{ kPa} \text{ (altura de Santos = 2,0 m);}$$

$V = 1,0 \text{ m/s}$  (adotado 1/5 da velocidade média do vento em Santos igual a 5,0 m/s); [11] e [6]

$$T_a = 22,9^\circ\text{C} = 296,1 \text{ K}$$
 (temperatura média anual de Santos, conforme anexo 7);

$$T_p = 29,0 \text{ } ^\circ\text{C} = 302,2 \text{ K};$$

$w_p = 0,0215 \text{ g vapor/ kg água}$  (carta psicrométrica anexo 4, para umidade relativa média = 81,5 %);

$w_a = 0,015 \text{ g vapor/kg ar seco}$  (carta psicrométrica anexo 4, para umidade relativa média = 81,5%);

$$\text{Logo: } q_e = 80,3 \text{ W/m}^2 \text{ e } q_c = 45,20 \text{ W/m}^2$$

A somatória das perdas de energia por evaporação e convecção representam a quantidade de energia a ser repostada.

A área da piscina social foi estimada em 382,9 m<sup>2</sup>, conforme apêndice 1. Foi considerado que a piscina será coberta por 12 horas por dia, para minimizar a perda de energia. Portanto a quantidade de energia a ser fornecida pelo Sistema de Aquecimento Solar será:

$$E_{\text{útil}} = 576,6 \text{ kWh/d}$$

A área escolhida para instalação dos coletores desta piscina foi o telhado do ginásio de esportes, em razão da proximidade da piscina e da área disponível. Os coletores serão dispostos diretamente sobre o telhado, distribuídos em relação à cumeeira (conforme figura 21, desenho esquemático com objetivo apenas ilustrativo dessa distribuição). Pelo posicionamento do ginásio em relação ao norte geográfico, foi considerado que o desvio em relação ao eixo norte-sul geográfico é zero. Assim, como o ângulo de inclinação em relação à horizontal, também considerado como zero ( $\beta = 0 \text{ } ^\circ$ ). A latitude de Santos é encontrada no anexo 6. Logo, o parâmetro  $FC_{\text{instal}}$  foi calculado através da equação 18:

$$FC_{\text{instal}} = 1,156;$$

O coletor escolhido é da marca Pro-Sol, modelo H2 Sol 5,0, cujo coeficientes  $F_{RT\alpha}$  e  $F_{RU_L}$  e a área externa, são encontrados na tabela do Inmetro, anexo 5. Dessa forma, utilizando a equação 19, temos:

$$PMDEE = 3,391 \text{ kWh/mês.m}^2$$

A área coletora foi calculada utilizando-se a equação 20. O valor da Irradiação Global média anual ( $I_G$ ) para Santos é encontrado no anexo 6. Logo:

$$A_{\text{coletora}} = 272,66 \text{ m}^2$$

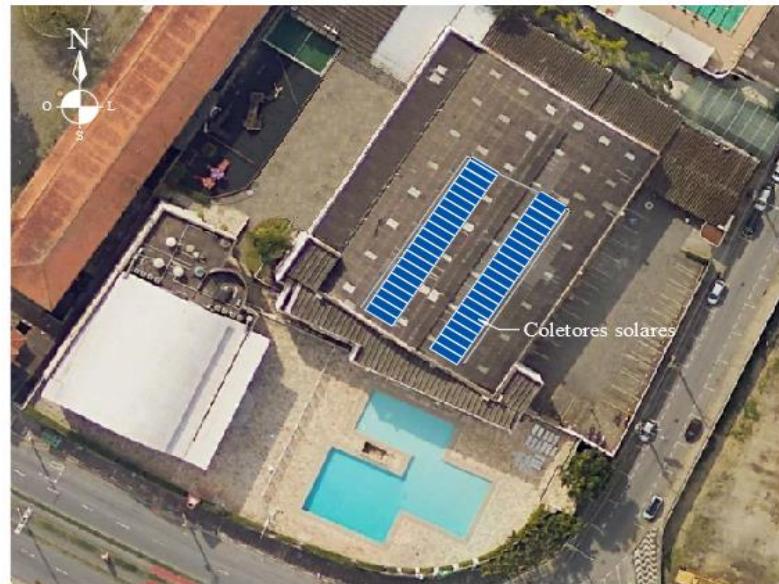
O número de coletores ( $N_{\text{coletores}}$ ) é encontrado utilizando-se equação 21:

$$N_{\text{coletores}} = 208 \text{ coletores.}$$

A área escolhida para instalação dos coletores para a piscina social foi o telhado do ginásio de esportes, localizado próximo à piscina, conforme mostra a figura 21. Essa

área é suficiente para que os coletores fiquem dispostos sobre o telhado e estão expostas ao sol ao longo do dia, sem objetos que possam lhe fazer sombra.

*Figura 21. Demarcação de área para instalação dos coletores da piscina social*



Fonte: inserção sobre imagem google maps

### **3.1.3 Análise econômica**

A medição do consumo do gás natural que é usado para aquecer a água da piscina social não é feita de forma independente, mas através de um medidor único que registra simultaneamente o consumo de gás natural usado tanto na manutenção da temperatura da água da piscina quanto na caldeira que gera o vapor para as saunas úmidas masculina e feminina. Não encontramos junto aos poucos registros operacionais dados que nos permitisse estimar esse consumo. Por outro lado, verificou-se que o consumo de gás natural para uso na piscina semiolímpica é registrado em um medidor que mede exclusivamente esse consumo, ou seja, todo o consumo apontado na conta da empresa fornecedora do gás natural identificada como “piscina olímpica” é exclusivo. Para chegarmos a um valor de consumo de gás natural para manutenção da temperatura da água da piscina social fizemos uma proporção do consumo da piscina semiolímpica com as áreas de ambas as piscinas e também com as temperaturas ideais para as atividades praticadas nessas piscinas.

A partir do anexo 2 (conta COMGAS – janeiro /2019), extraímos que o consumo mensal médio de gás natural para a piscina semiolímpica é de 1814 m<sup>3</sup>. Fazendo uma

proporção entre as áreas das duas piscinas e as temperaturas da piscina social (29 °C) e a semiolímpica (30 °C), teremos como consumo médio de gás natural para essa piscina a piscina social igual 1.593 m<sup>3</sup> / mês.

Adotamos como valor para o custo do gás natural o valor médio das contas COMGAS, anexo 2, obtendo o valor de R\$ 4,07 por m<sup>3</sup>.

Para efeito da análise econômica, a receita anual a ser obtida com a implantação do sistema térmico solar é igual ao valor do consumo anual de gás natural, dado por:

$$V_{\text{gas},\text{ano}} = R\$ 4,07 \times 1.593 \text{ m}^3/\text{mês} \times 12 \text{ meses}$$

$$V_{\text{gas},\text{ano}} = R\$ 77.798,00$$

O valor do investimento no sistema solar será a soma dos seguintes componentes:

- Preço dos coletores solares: foi considerado R\$ 200,00 por metro quadrado, considerando que a área de coletores para a piscina social é de 273 m<sup>2</sup>, o preço dos coletores foi estimado em R\$ 54.500,00.
- Custo de tubulação e acessórios: estimado com apoio da área de Manutenção do clube em R\$ 30.000,00;
- Custo de mão de obra: estimado com apoio da área de Manutenção do clube em R\$ 57.000,00;

A soma dos itens acima é de R\$ 141.500,00 e, acrescentando um porcentual de incerteza de 20%, teremos como custo total do investimento de R\$ 169.800,00.

Foram estimados os valores do Valor Presente Líquido e da Taxa Interna de Retorno; a taxa mínima de atratividade para investimentos será considerada como a taxa Selic, atualmente em 6,5% mais 3,5 %, perfazendo uma taxa mínima de atratividade de 10,0%. Os valores estão calculados para períodos de duração do investimento de 5, 10 e 15 anos e, para efeito de análise de sensibilidade, foram feitas estimativas considerando que poderá haver decréscimos na receita prevista, ou seja, hipóteses de perdas de eficiência do sistema solar e/ou variações do preço do gás natural. Foram estimadas 3 situações de redução da receita, de 10%, 20% e 30%. Feitas essas considerações, temos os seguintes resultados:

*Tabela 4. Resultados da análise financeira do investimento na piscina social*

RECEITA	RECEITA	VPL (R\$)			TIR (% a.a)		
		%	R\$	5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS	5 ANOS
100	77.798	125.115	308.295	421.938	35,95	44,68	45,65
90	70.018	95.623	260.430	362.762	30,23	39,79	41,00
80	62.238	66.131	212.625	303.587	24,30	34,80	36,30
70	54.458	36.639	164.821	244.412	18,13	26,69	31,55

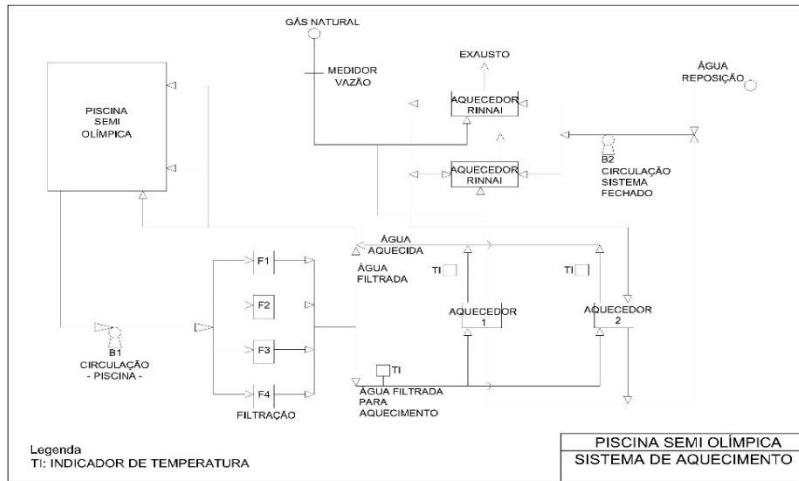
Os valores de VPL e TIR obtidos, considerando 100% da receita anual obtida, são bastante atrativos; O VPL é positivo e a TIR encontrada (46,96%) é superior à taxa mínima de atratividade (10,0 %). A análise de sensibilidade indica que o investimento é robusto e mesmo para o caso de duração de 5 anos e queda de 30% na receita, fornece VPL de R\$ 36.639,00 e TIR (18,13%), superior à taxa mínima de atratividade.

### **3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DE PISCINA SEMIOLÍMPICA**

#### **3.2.1 Situação Problema**

O aquecimento da água da piscina semiolímpica é feito de forma análoga ao aquecimento da água fria da piscina social, ou seja, através da troca de calor em um permutador de calor, entre uma corrente de água aquecida que circula em um sistema fechado com a corrente de água fria da piscina. A figura 22 mostra o sistema de aquecimento desta piscina.

Figura 22. Sistema atual de aquecimento da piscina semiolímpica



Fonte: esquema feito com base em levantamento no local. (Autoria própria)

O circuito de água quente é composto por um pequeno tanque de água de reposição, um par de bombas e duas baterias de aquecimento, compostas uma delas por 4 aquecedores e outra por 5 aquecedores, todos da marca RINNAI, modelo REU – 304 U BR, e dois permutadores de calor. Os aquecedores RINNAI (figura 23) aquecem a água que circula por eles com os gases de combustão provenientes da queima de gás natural nesses aquecedores.

Figura 23. Aquecedores RINNAI da piscina semiolímpica



Fonte: Foto do local (autoria própria)

O circuito de filtração da água da piscina, por sua vez, é composto por outras duas bombas de circulação e uma bateria de quatro filtros de areia que operam em paralelo, para retenção dos sólidos em suspensão da água fria da piscina. Após a filtração, parte da água é direcionada para dois permutadores de calor iguais ao abaixo mostrado e nestes a água fria é aquecida pela água quente do circuito fechado de aquecimento de água.

A água filtrada aquecida mistura-se em linha com a água filtrada fria e essa corrente retorna à piscina, para manter a água desta na temperatura recomendada para as práticas esportivas.

### 3.2.2 Análise técnica

A metodologia de cálculo utilizada para determinar o número de coletores para o sistema de aquecimento solar da piscina social, também será usada para determinar

o número de coletores necessários para manter a temperatura da água da piscina semiolímpica.

Seguem abaixo os valores dos parâmetros necessários e as considerações feitas:

$P_a = 101,3 \text{ kPa}$  (altura de Santos = 2,0 m);

$V = 0,6 \text{ m/s}$ ;

$T_p = 28^\circ\text{C} = 301,1 \text{ K}$ ;

$T_a = 22,9^\circ\text{C} = 296,1 \text{ K}$  (temperatura média anual de Santos, conforme anexo 7);

$w_p = 0,0200$  (carta psicrométrica anexo 4, para umidade relativa média = 81,5%);

$w_a = 0,0150$  (carta psicrométrica anexo 4, para umidade relativa média = 81,5 %);

Área estimada para a piscina = 450 m<sup>2</sup>, conforme apêndice 2;

Tempo que a piscina ficará coberta, considerando que não haverá perdas térmicas nesta situação: 10 horas por dia.

Os coletores ficarão dispostos diretamente sobre a cobertura da arquibancada da piscina semiolímpica, portanto, o ângulo de inclinação foi considerado zero.

Essa cobertura, assim como o telhado do ginásio de esportes, foi considerada direcionada para o norte geográfico.

O modelo de coletores é o mesmo definido para a piscina social, marca Pro-Sol, modelo H2 Sol 5,0 (anexo 5).

Após essas considerações, foram utilizadas as equações 15, 16, 18, 19, 20, 21.

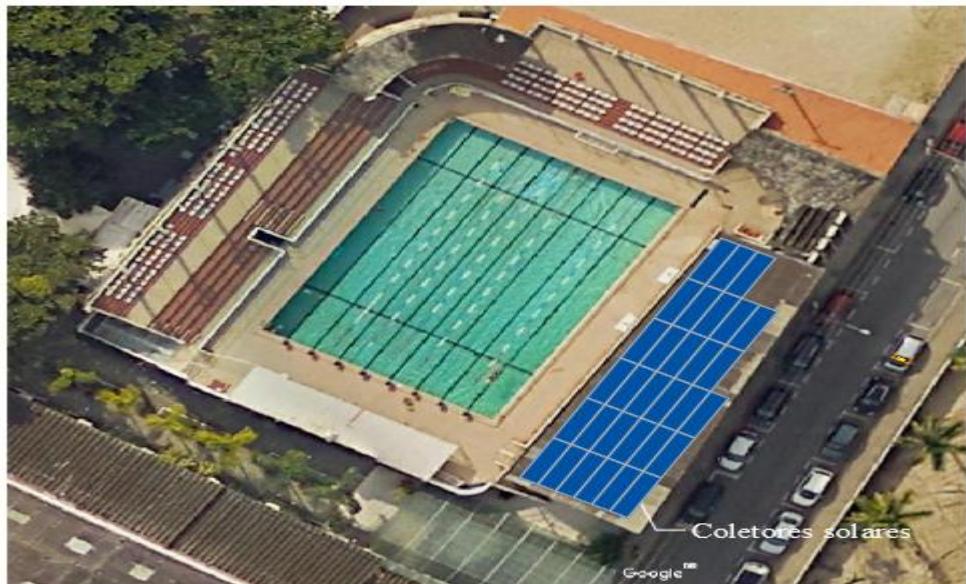
Abaixo seguem os principais resultados:

$A_{coletores} = 231,8 \text{ m}^2$

$N_{coletores} = 177$

A área disponível escolhida para instalação dos coletores é a laje da arquibancada da piscina (apêndice 4), onde ficariam dispostos diretamente na laje, conforme desenho ilustrativo da figura 24. O local permite a exposição à irradiação ao longo do dia, sem objetos que possam lhe fazer sombra.

*Figura 24. Demarcação da área para instalação dos coletores da piscina semiolímpica*



Fonte: inserção em imagem google maps.

### 3.2.3 Análise econômica

Ao contrário da piscina social, a piscina semiolímpica tem um registrador exclusivo para lançamento e cobrança do consumo de gás natural pela distribuidora, assim, temos a leitura direta das quantidades consumidas ao longo do ano de 2018. Considerando o mesmo preço do gás natural considerado no item 3.1.1, de R\$ 4,04 por m<sup>3</sup> e considerando o consumo anual de 21.767 m<sup>3</sup> (conta COMGÁS – janeiro 2018 anexo 2), o valor da receita a ser obtida será de:

$$V_{\text{pisc.semi.}} = \text{R\$ } 4,07 / \text{mês} \times 21.767 \text{ meses}$$

$$V_{\text{pisc.semi.}} = \text{R\$ } 88.592,00$$

O custo da instalação dos coletores será dado pelas seguintes parcelas:

- Custo dos coletores: considerando o mesmo valor do metro quadrado de R\$ 200,00 por metro quadrado e área de coletores de 231,8 m<sup>2</sup>, teremos o custo de R\$ 46.400,00.

Os custos de reforço da estrutura na qual serão instalados os coletores, além dos custos de instalação dos coletores (mão de obra) e da tubulação necessária para interligação do sistema térmico solar com o sistema de aquecimento de água da piscina foram obtidos com apoio da área de manutenção do clube:

- Custo de reforço da estrutura: R\$ 70.000,00;
- Custo de tubulação e válvulas: R\$ 40.000,00;

- Custo da mão de obra: R\$ 40.000,00;

Custo total acrescido de 20% de incertezas: R\$ 235.600,00.

De forma análoga ao cálculo feito para a piscina social, foram calculados os valores do Valor Presente Líquido e da Taxa Interna de Retorno. A taxa mínima de atratividade para investimentos será considerada como a taxa Selic, atualmente em 6,5% mais 3,5 %, perfazendo uma taxa mínima de atratividade de 10,0%. Os valores foram calculados para períodos de duração do investimento de 5, 10 e 15 anos e, para efeito de análise de sensibilidade, foram feitas estimativas considerando que podem haver decréscimos na receita prevista; foram estimadas 3 situações de redução da receita, de 10%, 20% e 30%, ou seja, hipóteses de perdas de eficiência do sistema solar e/ou variações do preço do gás natural. Feitas essas considerações, temos os seguintes resultados:

*Tabela 5. Resultados da análise financeira do investimento na piscina semiolímpica*

RECEITA %	RECEITA R\$	VPL (R\$)			TIR (% a.a)		
		5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS	5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS
100	88.592	100.233	308.759	438.238	25,55	35,85	37,28
90	79.733	66.651	234.325	370.855	20,55	31,68	33,39
80	70.878	33.083	199.915	302.895	15,36	27,42	29,42
70	62.014	-518	145.449	236.083	9,91	23,00	25,44

Os valores de VPL e TIR obtidos, considerando 100% da receita anual obtida e duração de 15 anos, são bastante atrativos; O VPL é positivo (R\$ 438.238,00) e a TIR encontrada (37,28%) é superior à taxa mínima de atratividade (10,0%). A análise de sensibilidade indica que o investimento é robusto exceto para o caso de duração de 5 anos e queda de 30% na receita, no qual o VPL R\$ 518,00 negativos e TIR (9,91%), tornariam o investimento indiferente em relação à taxa mínima de atratividade.

### **3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE PARA OS VESTIÁRIOS MASCULINO E FEMININO, DA PISCINA SOCIAL**

#### **3.3.1 Situação problema**

Os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) são os meses de maior frequência da piscina social. Como o clube não possuí nenhum dado referente à quantidade de sócios que utilizam os vestiários da piscina social, foi necessário estimar o número de pessoas que tomam banho nesses. Portanto, com base no anexo 8, foi considerada uma média de 50% de frequentadores, dos 10 dias de maior frequência dos meses de verão, que fazem uso das duchas para banho, resultando em total 76 pessoas.

Os vestiários masculino e feminino da piscina social possuem, cada um, dez duchas com aquecimento a energia elétrica; cinco das duchas de cada vestiário possuem potência de 5.500 W e outras cinco possuem potência de 7.000 W.

Além de ser objetivo de o clube reduzir suas despesas com energia elétrica usada nos chuveiros dos vestiários masculino e feminino da piscina social, também é objetivo disponibilizar, futuramente, água quente nos lavatórios e duchas higiênicas.

Assim, o estudo básico de implantação do sistema de aquecimento solar irá indicar quanto dessa despesa poderá ser reduzido.

#### **3.3.2 Análise Técnica**

O cálculo do consumo médio diário de água quente nos vestiários está consolidado na tabela 6 abaixo, calculada com base na tabela de consumo sugerida pela norma brasileira NBR 15569:2008 (tabela 3), e com as suas considerações explicitadas. A tabela 6 mostra os dados apresentados pela norma, os valores considerados para o número de usos, e os resultados de consumo médio diário para cada equipamento, bem como, o somatório dos mesmos.

*Tabela 6. Consumo médio diário de água quente nos vestiários da piscina social*

Equipamento	Consumo	Tempo	Frequência	Consumo	Quant.	Consumo
	(l/min)	(min/uso)	(vezes/dia.pessoa)	(l/dia.pessoa)	(pessoas)	(l/dia)
Ducha banho	6,6	10	1	66	76	5.016
Lavatório	3,0	2	2	12	152	1.824
Ducha Higien.	3,0	2	1	6	152	912
Total (l/dia)						7.752

O somatório dos consumos diário de cada equipamento, ou seja,  $V_{consumo}$ , foi calculada utilizando a equação 22:

$$V_{consumo} = 7.752 \text{ l/dia}$$

Para  $T_{consumo} = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_{amb} = 22,9^\circ\text{C}$  (anexo 7),  $T_{armaz} = 50^\circ\text{C}$  através da equação 24, temos que:  $V_{armaz} = 4,891 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Porém, conforme ABNT NBR 15569:2008:  $V_{armaz} \geq 0,75 V_{consumo}$ ; o que não se verifica. Logo,  $V_{armaz} = 5,814 \text{ m}^3$

Agora, deve-se recalcular a nova temperatura de armazenamento. Utilizando-se novamente a equação 24, temos que  $T_{armaz} = 45,7^\circ\text{C}$ .

Com esses valores, calcula-se a energia útil através da equação 25. Portanto:

$$E_{útil} = 154,166 \text{ kWh/dia}$$

As perdas térmicas no sistema foram calculadas conforme a equação 26. Logo:

$$E_{perdas} = 23,125 \text{ kWh/dia}$$

Conforme a norma brasileira, o próximo passo é calcular o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar. Para os valores de  $\beta = 24^\circ$ ,  $\beta_{ótimo} = 33,57^\circ$  e  $\alpha = 0$ , temos, conforme a equação 17:

$$FC_{instal} = 1,011.$$

O coletor escolhido é o coletor da Heliotek, MC15 Evolution PRO, cujos características seguem abaixo e no anexo 5:

Área externa:  $1,5 \text{ m}^2$ ;

Produção média mensal de energia específica:  $PME_e = 84,2 \text{ kWh/mês.m}^2$ ;

$$Frta = 0,739$$

$$FrUL = 5,051 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Com os dados do coletor, calcula-se a produção média diária de energia específica do coletor, através da equação 19:

$$PMDEE = 3,005 \text{ kWh/ m}^2 \cdot \text{dia}$$

Finalmente, a estimativa da área coletora foi realizada através da equação 20, sendo  $I_G = 4,07 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ , vide anexo 6. Portanto:

$$A_{\text{coletora}} = 71,814 \text{ m}^2$$

Utilizando a equação 21, encontramos o número de coletores:

$$N_{\text{coletores}} = 48.$$

Cálculo do sombreamento e espaçamento:

Diferentemente dos coletores dos sistemas de aquecimento de água para as piscinas, foi considerada uma inclinação ( $\beta$ ) para os coletores do sistema solar referente aos vestiários, de  $24^\circ$ . Portanto, para se evitar o sombreamento entre os próprios coletores, foi realizado um cálculo para determinar a distância mínima horizontal entre as fileiras de coletores. O espaçamento foi calculado para o dia 22 de junho, solstício de inverno, situação na qual há maior formação de sombra possível (vide figura 9).

Para o dia 22 de junho,  $n = 172$ .

E para a cidade de Santos, temos os seguintes dados:

- Latitude ( $\Phi$ ): - 23,901 S
- Longitude ( $L$ ): - 46,349 O

O ângulo da declinação solar ( $\delta$ ), foi calculado através da equação 1, logo:

$$\delta = 23,45^\circ$$

Os parâmetros B e E foram calculados através das equações 6 e 5, respectivamente:

$$B = 90^\circ \text{ e } E = -1,5$$

Sendo a Longitude hora legal  $L_0 = 45^\circ \text{ W}$ , e utilizando a equação 4, temos que:

$$\text{Corhora} = -0,11$$

Foram adotados 4 horários (HL) para estudo. A hora solar HS é dada em hora e fração da hora, através da equação 3.

Os ângulos horários  $\omega$  foram calculados pela equação 2.

Finalmente, calcula-se o ângulo zenital, utilizando a equação 9.

Os resultados estão demonstrados na tabela abaixo:

HL	HS	$\omega$	$\theta_z$
09:00	08,89	-46,65	65,56
11:00	10,89	-16,65	50,07
13:00	12,89	13,35	49,13
15:00	14,89	43,35	63,36

Conforme folha de dados do coletor da Heliotek, MC15 Evolution PRO, a altura é igual a 100 centímetros.

A distância mínima ( $d$ ) entre duas fileiras de coletores será dada pela equação 27, onde  $h$  é a altura do coletor com inclinação  $\beta = 24^\circ$ .

Os valores de  $d$  para cada horário estão dispostos na tabela abaixo:

HL	<b>h (cm)</b>	<b><math>\theta_z</math></b>	<b><math>\tan (\theta_z)</math></b>	<b>d (cm)</b>
9:00	40,67	65,56	2,20	89,47
11:00	40,67	50,07	1,20	48,40
13:00	40,67	49,13	1,16	46,77
15:00	40,67	63,36	1,99	80,93

Portanto, a distância mínima entre os coletores deve ser a de maior valor, ou seja, 89,47 centímetros.

O local disponível para instalação do sistema de aquecimento fica em uma laje adjacente ao ginásio de esportes. Esta laje, embora tenha aproximadamente o mesmo comprimento do ginásio, não tem largura suficiente para instalação de um único sistema. Com a determinação da distância mínima entre os coletores, o estudo detalhado de layout irá definir o posicionamento mais adequado dos sistemas previstos.

#### Cálculo da Carga Térmica:

O cálculo da carga térmica mensal para aquecimento da água ( $CT_m$ ), será dado pela equação 23:

A tabela 7 mostra os resultados da carga térmica de cada mês em GJ e kWh.

*Tabela 7. Cargas térmicas mensais calculadas*

Mês	$CT_m$	$CT_m$
	(GJ/mês)	(kWh/mês)
Janeiro	30,14	8372,87
Fevereiro	27,22	7562,59
Março	30,14	8372,59
Abril	29,17	8101,78
Maio	30,14	8372,59
Junho	29,17	8101,78
Julho	30,14	8372,59
Agosto	30,14	8372,59
Setembro	29,17	8101,78
Outubro	30,14	8372,59
Novembro	29,17	8101,78
Dezembro	30,14	8372,59

Com os valores da carga térmica necessária para aquecimento da água, podemos calcular a fração solar, para cada mês do ano, através do cálculo dos adimensionais X e Y, definidos nas equações 28 e 29. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

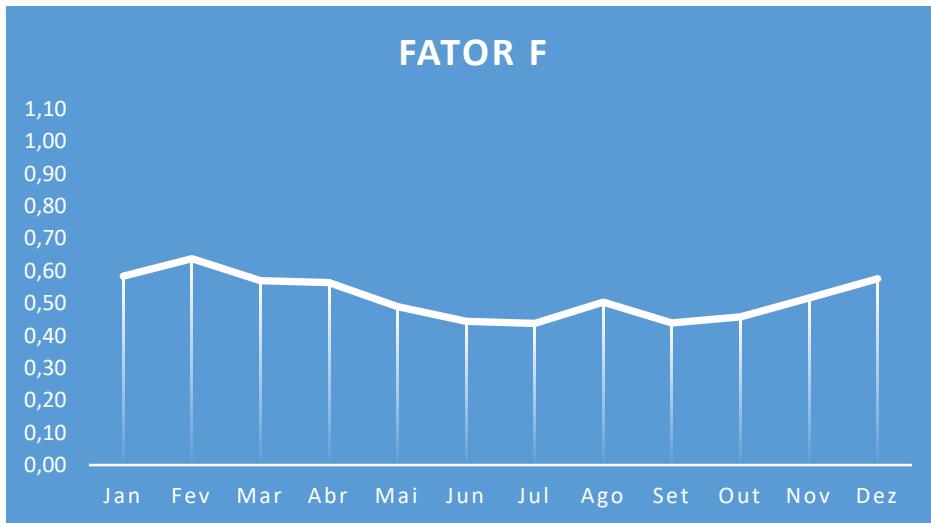
Verificada a necessidade de correções do valor de X, foram utilizadas as equações 31 e 32 para tal. Resultados apresentados na Tabela 8.

Finalmente, calcula-se as frações solares mensais utilizando a equação 30.

*Tabela 8. Fração solar com as correções aplicadas ao parâmetro X*

Mês	X	Y	$X_{C1}$	$X_{C2}$	f
Janeiro	2,376	0,876	2,330	2,372	0,584
Fevereiro	2,373	0,961	2,328	2,372	0,638
Março	2,399	0,859	2,353	2,423	0,570
Abril	2,440	0,859	2,394	2,518	0,564
Maio	2,514	0,762	2,467	2,687	0,490
Junho	2,572	0,707	2,524	2,819	0,444
Julho	2,602	0,704	2,551	2,885	0,438
Agosto	2,605	0,800	2,555	2,891	0,504
Setembro	2,576	0,702	2,527	2,826	0,439
Outubro	2,514	0,717	2,467	2,687	0,458
Novembro	2,500	0,790	2,403	2,540	0,517
Dezembro	2,418	0,873	2,372	2,467	0,576

O gráfico abaixo torna mais visível a variação entre os meses dos valores da fração solar.



A fração solar média obtida foi:  $f_{\text{méd}} = 0,567$ .

Ou seja, o sistema de aquecimento solar para aquecimento da água de banho dos vestiários da piscina social será responsável pelo fornecimento de 56,7%, em média, da energia necessária.

### 3.3.3 Análise econômica

Para realizar a análise econômica é necessário estimar o custo de energia elétrica referente às duchas, assim como o custo necessário para aquecer a água prevista nos lavatórios e duchas higiênicas.

Em cada vestiário, masculino ou feminino, existem cinco chuveiros com potência de 5.500 W e outros cinco com potência de 7.000 W.

Considerando que:

- são tomados 76 banhos/dia;
- a duração média de cada banho é de 10 min, conforme norma ABNT NBR 15569:2008;

O consumo de energia por tipo de chuveiro será:

$$\text{horas banho/dia.chuveiro} = 76 \text{ pessoas/dia} \times 10 \text{ min/pessoa} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 1/2$$

$$\text{horas banho/dia.chuveiro} = 6,33 \text{ h/dia}$$

O consumo de energia nos chuveiros de 5.500 W e 7.000 W, em kWh/ano:

$$C_{5500W,ano} = 5.500W \times 6,33h/\text{dia} \times 1kW/1000W \times 30\text{dias/mês} \times 12\text{ mês/ano}$$

$$C_{5500W,ano} = 12.538,80 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{7000W,ano} = 7.000W \times 6,33h/\text{dia} \times 1kW/1000W \times 30\text{dias/mês} \times 12\text{ mês/ano}$$

$$C_{7000W.\text{ano}} = 15.951,60 \text{ kWh/ano}$$

Preço kWh – base anexo 3.

Valor da conta (janeiro/2019): R\$ 39.365,44;

Consumo medido (janeiro/2019): 59.973,91 kWh;

Valor kWh: R\$ 0,66/kWh.

Valor do consumo de energia elétrica/ano:

$$\text{Custo}_{5500W} = 12.538,80 \text{ kWh/ano} \times \text{R\$ } 0,66/\text{kWh}$$

$$\text{Custo}_{5500W} = \text{R\$ } 8.275,61$$

$$\text{Custo}_{7000W} = 15.951,60 \text{ kWh/ano} \times \text{R\$ } 0,66/\text{kWh}$$

$$\text{Custo}_{7000W} = \text{R\$ } 10.518,06$$

Custo total de energia elétrica, por ano:

$$C_{\text{chuveiros}} = \text{R\$ } 18.793,67$$

Em atendimento a premissa de se prever água quente para lavatórios e duchas higiênicas, foi acrescentado ao custo da demanda elétrica o custo da energia para aquecer o volume de água para esses equipamentos.

Esse volume está apresentado na tabela 6 e a carga térmica foi calculada através da equação 23.

Para  $V_{\text{consumo}} = 2736 \text{ l/dia}$  e  $T_{\text{banho}} = 40^{\circ}\text{C}$

$$CT_m = 1906,54 \text{ kWh/mês} \quad \text{ou} \quad CT_m = 22.878,48 \text{ kWh/ano}$$

Portanto o custo da energia para aquecimento de água para duchas e lavatórios será:

$$\text{Custo}_{\text{duchas}} = 22.878,48 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,66/\text{kWh}$$

$$\text{Custo}_{\text{duchas}} = \text{R\$ } 15.099,76.$$

O valor total das despesas com energia elétrica para atendimento dos objetivos do clube será:

$$\text{Custo}_{\text{total}} = C_{\text{chuveiros}} + \text{Custo}_{\text{duchas}} = \text{R\$ } 18.793,67 + \text{R\$ } 15.099,76$$

$$\text{Custo}_{\text{total}} = \text{R\$ } 33.893,43$$

Os seguintes critérios serão aplicados para estimativa do VPL e da TIR:

Receita: será dada pelo produto da fração solar pela somatória dos custos de energia elétrica necessários para aquecimento da água de chuveiros e da água de lavatórios e duchas higiênicas.

$$\text{Receita} = \text{R\$ } 33.893,43 \times 0,567 \quad \text{Receita} = \text{R\$ } 19.217,57$$

O valor estimado para o investimento em cada conjunto em R\$.

- coletores solares Heliotek MC Evolutin Pro 15 : R\$ 42.000,00

-reservatório térmico	: R\$ 24.102,00
- tubulação e isolamento térmico	: R\$ 6.000,00
- acessórios	: R\$ 15.000,00
- mão de obra	: R\$ 24.000,00
Valor Total	: R\$ 111.102,00

A taxa mínima de atratividade será de 10% a.a.

Além do cálculo do VPL e da TIR, será feita uma análise de sensibilidade do investimento, considerando uma perda de receita em relação à receita estimada de 10%, 20% e 30%, para ciclos de vida do investimento de 5, 10 e 15 anos, conforme Tabela

*Tabela 9. Resultados da análise financeira do investimento no sistema solar de águas sanitárias*

RECEITA	RECEITA	VPL (R\$)			TIR (% a.a)		
		%	R\$	5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS	5 ANOS
100	19.217	-38.254	7.978	35.064	-4,65	11,66	15,24
90	17.295	-45.540	-4.832	20.445	-7,81	8,98	13,12
80	15.373	-52.826	-16.641	5.826	-11,14	6,39	10,91
70	13.451	-60.112	-28.451	-8.792	-14,70	3,64	8,59

O resultado da análise econômica mostra que para o período de 15 anos e realização de 100% da receita, o investimento tem TIR de 15,24% a.a, acima da taxa mínima de atratividade de 10% a.a e VPL de R\$ 35.064,00.

Pode-se, no entanto, observar que a redução de receita ao longo do ciclo de vida representa risco de redução da atratividade econômica, quando o ciclo fica menor do que 15 anos.

## 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente monografia apresenta um estudo básico de viabilidade técnica e econômica para a instalação de sistemas de aquecimento solar para manutenção da temperatura da água de duas piscinas, uma social e outra semiolímpica, e também de sistema de aquecimento solar de água sanitária para vestiários de um clube localizado na cidade de Santos.

As áreas de coletores solares requeridas para o serviço a ser desempenhado pelos sistemas de aquecimento solares são 272,7 m<sup>2</sup> para a piscina social, 231,8 m<sup>2</sup> para a piscina semiolímpica e de 71,8 m<sup>2</sup> para o sistema de água de banho. O clube não dispõe de áreas livres e de fácil acesso, mas consideramos exequível a instalação dos sistemas nos locais indicados.

Os investimentos necessários para a instalação de cada sistema foram estimados em R\$ 169.800,00 para o sistema solar da piscina social, R\$ 235.680,00 para o sistema da piscina semiolímpica, e R\$ 111.102,00 para o sistema solar de aquecimento de águas sanitárias, não sendo baixos para a capacidade financeira do clube, mas o resultado da análise financeira dos investimentos, na piscina social e na piscina semiolímpica, é bastante atrativo.

Para a piscina social, o Valor Presente Líquido encontrado para 15 anos de ciclo de vida do investimento foi de R\$ 421.938,00 e a Taxa Interna de Retorno de 45,65% a.a. A análise de sensibilidade indicou que mesmo com redução da Receita em 30% (R\$54.458,00) e redução do ciclo de vida para 5 anos, o VPL é de R\$ 36.639,00 e a TIR é de 18,13% a.a., acima da taxa mínima de atratividade de 10% .

Para a piscina semiolímpica, o Valor Presente Líquido encontrado, também para 15 anos de ciclo de vida do sistema, foi de R\$ 438.238,00 e a Taxa Interna de Retorno foi de 37,28%. A análise de sensibilidade indicou que com redução da receita em 30% (R\$ 62.014,00) e redução do ciclo de vida para 5 anos, o VPL é de negativo em R\$ 518,00 e a TIR é de 9,91% a.a, praticamente igual taxa mínima de atratividade de 10%. Para o sistema de aquecimento de água de banho, lavatório e duchas higiênicas, embora para o ciclo de vida de 15 anos tenhamos obtido VPL de R\$ 35.064,00 e TIR de 15,24% a.a, portanto, acima da taxa mínima de atratividade, a análise de sensibilidade mostra que o investimento pode não ser atrativo se houver redução da receita e/ou redução do ciclo de vida do investimento.

Para definição da localização da área para instalação dos coletores, foi adotado como critério a proximidade do local de consumo da água quente e a exposição à radiação solar. No entanto, dada à inexistência de áreas de fácil acesso aos sistemas de aquecimento solar, recomendamos que o projeto de detalhamento aprofunde a acessibilidade aos sistemas. No caso do sistema de aquecimento de água para chuveiros, duchas higiênicas e lavatórios, o estudo detalhado de layout indicará se o espaço disponível será suficiente para a instalação de todo o sistema solar.

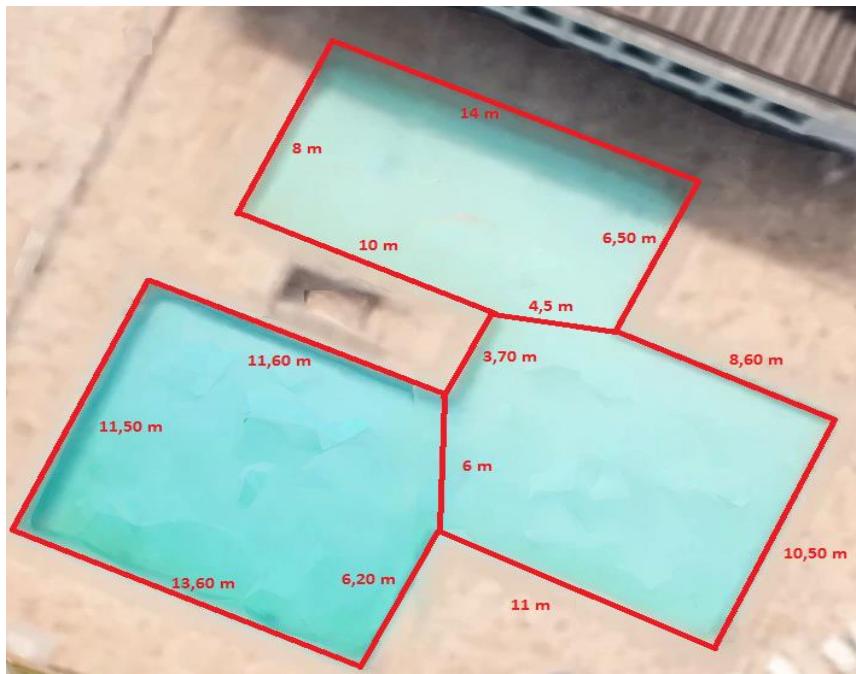
Os resultados indicam que o investimento em coletores para a piscina social e para a piscina olímpica são atrativos e pode-se recomendar aos gestores do clube a continuidade dos empreendimentos. Considerando que os valores dos investimentos iniciais possam ser altos para o clube, recomendamos que priorizem, nesta ordem, o sistema para manutenção da temperatura da piscina social e o sistema de manutenção da temperatura da piscina semiolímpica. Financeiramente, não é recomendável o investimento no sistema de aquecimento de água para banho dos vestiários da piscina social pelo alto risco do investimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

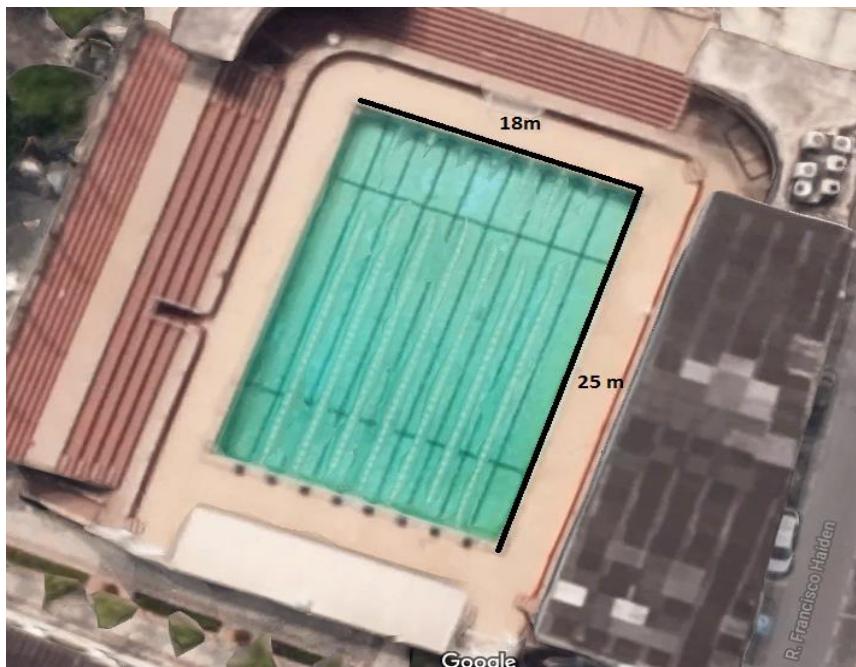
- [1] ABRAVA, Capacitação em projetos de energia solar.2008.pdf.  
<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>
- [2] Pacheco CRF, Fundamentos da utilização de energia solar.IN: Moreira JRS, organizador. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Rio de Janeiro. LTC, 2017.
- [3] Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar. Manual de Instalação. www.forum clima.pr.gov.br/arquivo/File/manual de instalação
- [4] COMGÁS, Manual técnico para projetos e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural”, março 2011[internet]. [www.labeee.ufsc.br/manuais](http://www.labeee.ufsc.br/manuais).
- [5] INMETRO, Tabelas de consumo/Eficiência energética.  
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>
- [6] Duffie, J.A.: Beckman,W.A. Solar engineering of thermal process. 3ed., New Jersey. John Willey & Sons. 2006 .
- [7] Sowry, D.A. Energia solar - Apostila 2. Curso de especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética, POLI/PECE.
- [8] Sila, TF. Estudo da viabilidade de aproveitamento da energia solar em cidades da América do Sul através da aplicação do método da fração solar. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.
- [9] Prates WR. Engenharia econômica: pay back, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR).[internet]. <https://www.wrprates.com/engenharia-economica>).
- [10] Çengel,YA. Boles M. A.. Termodinâmica. Tradução Roque K.A..5<sup>a</sup> ed. – São Paulo. McGraw Hill, 2006.
- [11] Atlas do Potencial Eólico Brasileiro – Velocidade média anual da região sudeste  
[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/mapas\\_3d.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/mapas_3d.pdf)

## APÊNDICE

Apêndice 1 – Esquema da piscina social.



Apêndice 2 – Esquema da piscina semiolímpica.



Apêndice 3 – Medidas do ginásio de esportes (sistema piscina social)



Apêndice 4 – Medidas da laje da arquibancada da piscina semiolímpica



### Apêndice 5 – Medidas da laje da arquibancada



## ANEXOS

### **Anexo 1 – Indicação de temperaturas para água de piscinas – Federação Internacional de Natação (FINA).**

Parâmetros de Temperatura Ideal para a prática de natação e exercícios aquáticos. Para chegar à temperatura ideal da água, deve-se analisar fatores como: intensidade da atividade física praticada, idade e condições especiais dos banhistas e temperatura do ar piscina. As temperaturas ideais podem ser divididas em 3 faixas (atleta, aluno e bebê), nestas faixas a utilização dos limites inferiores ou superiores depende sobretudo da temperatura ambiente, ou seja, no dia mais quente é indicado o limite inferior, e no dia mais frio, o limite superior. Temperaturas muito elevadas não são recomendadas, pois podem causar desconforto aos usuários.

1<sup>a</sup>. Faixa – de 25°C a 28°C (faixa ATLETA): este é o intervalo de variação que, segundo a regra FR 2.11 da FINA (Fédération Internationale de Natation), as piscinas oficiais devem apresentar em suas águas. Nestas temperaturas são realizadas competições oficiais e extraoficiais de natação, saltos ornamentais, pólo aquático e nado sincronizado, assim como treinamentos avançados destes esportes aquáticos. Em academias, as aulas ministradas utilizando essa faixa de temperatura são geralmente destinadas a alunos adolescentes ou adultos jovens, em turmas de aprendizado avançado ou aperfeiçoamento.

2<sup>a</sup>. Faixa – de 29°C a 30°C (faixa ALUNO): é a faixa de ouro da maioria das academias e cursos de natação em geral. Nesta faixa se encaixarão 95% de todas as atividades aquáticas de uma piscina comercial, ou seja, o aprendizado da natação em todos os níveis e idades acima de 2 anos; a prática de hidroginástica, incluindo gestantes; e as atividades alternativas como surf, mergulho, hidro axé, hidro circuito, etc. Mesmo se a academia desenvolver turmas especiais para deficientes físicos, eles poderão usufruir bem destas temperaturas, desde que mantenham preservada boa mobilidade corporal para as aulas.

3<sup>a</sup>. Faixa – de 31°C a 32°C (faixa BEBÊ): esta faixa de temperaturas mais altas é indicada para: bebês de até 2 anos, prática de hidroterapia, e para os deficientes físicos mais comprometidos em termos de movimentação espontânea. Levando em consideração aos estudos científicos e adaptando a realidade de nossos alunos e aulas ofertadas, definimos que a temperatura ideal para nossas piscinas são; Semi olímpica aberta de 25m – mínima de 26°C e máxima de 29°C. predominância de exercícios vigorosos. Natação Infantil e adulto, sendo a mínima considerada para as crianças 27°C. Semi olímpica do Centro de hidroginástica 25m - mínima de 27°C e máxima de 30°C. (ideal 29°), predominância

de exercícios vigorosos (natação infantil e adulto, Deep Water) e Hidroginástica em Flutuação. Piscina de 12,5m do Centro de Hidroginástica - mínima de 27°C e máxima de 32°C. predominância de Atividades com bebês, Hidro Bem Viver e Natação infantil, porém temos atividades vigorosas (Water Bike e Hidro Power), por isso não podemos exceder do limite. [http://hipica.com.br/cms/uploads/5aa84bd8136c2\\_parametros-de-temperatura-ideal-para-a-pratica-de-natacao-e-exercicios-aquaticos.pdf](http://hipica.com.br/cms/uploads/5aa84bd8136c2_parametros-de-temperatura-ideal-para-a-pratica-de-natacao-e-exercicios-aquaticos.pdf)



**Companhia de Gás de São Paulo**  
Rua Capitão Faustino de Lima, 134 - CEP 03040-030 - Brás - São Paulo - SP  
CNPJ 61.856.571/0006-21 - Insc. Estadual 108.701.514.110  
Insc. Municipal 514.103.514.110  
Inscrição Unica Regime Especial - Processo UA-S1QE9-697928/2002

**comgas**

NOTA FISCAL / CONTA DE GÁS

**CLUBE INTERNACIONAL DE REGATAS**

AV ALM SALDANHA DA GAMA 5

SANTOS	CNPJ/CPF	58.212.556/0001-21	MÊS DE REFERÊNCIA	JANEIRO/2019
CÓDIGO DO USUÁRIO		23684283	VENCIMENTO	14.01.2019
Nota Fiscal/Conta de Gás N°	011.420.239	Data da Emissão	07.01.2019	
Tipo de Conta	NORMAL	Data de Apresentação	08.01.2019	
Segmento	Comercial	Unidade de Leitura	47B110WJ	
Código do Cliente	8510588	Inscrição Estadual	633.422.647.110	
<b>DADOS DO FATURAMENTO</b>		<b>VALOR</b>	R\$ 4.634,40	
Fornecimento de Gás Natural				
Valor Total a Pagar R\$ 4.634,40				
<b>AVISOS AO USUÁRIO</b>				
Em função de melhorias no nosso processo, a sua data de leitura será alterada a partir do mês que vem. Atente-se ao campo "Previsão da Próxima Leitura".				
A partir de 10/12/2018 temos um novo endereço de atendimento presencial na cidade de São Paulo: Al. Tietê, 219 Jardim Paulista.				
<b>INFORMAÇÕES IMPORTANTES</b>				
Débito automático conta de gás 12/2018 liquidação				
O inadimplemento desta fatura por prazo superior à 15 dias ensejará a interrupção do fornecimento de gás para todo o segmento, exceto os segmentos Residencial e Residencial Coletivo, cujo prazo de inadimplemento considerado é de 30 dias.				
<b>DETALHAMENTO DE CONSUMO</b>				
Leitura Anterior	30.11.2018	902.985,00	Consumo (m <sup>3</sup> /mês) Medido	1.023,00
Leitura Atual	28.12.2018	904.008,00	Fator de Pressão	1,0800
Dias de Consumo	028		Fator de Temperatura	1,0000
Previsão da Próxima Leitura	25.02.2019		Fator de Compressibilidade	1,0000
Tipo do Medidor	CR100		Fator de Correção*	1,080
Nº do Medidor	3438055		Fator de PCS	1,0098
			Consumo Corrigido/Faturado*	1.115,67
<b>HISTÓRICO DE CONSUMO - 12 ÚLTIMOS MESES (m<sup>3</sup>)</b>				
Mês/Ano	Corrigido/Faturado	Médio		
DEZ/2018	2.174,00	2.174,00		
NOV/2018	4.780,91	4.374,00		
OCT/2018	3.797,97	3.477,00		
SET/2018	7.787,28	7.113,00		
AGO/2018	758,00	758,00		
JUL/2018	1.180,24	1.088,00		
JUN/2018	1.017,89	822,00		
MAY/2018	905,84	800,00		
ABR/2018	904,34	824,00		
MAR/2018	873,67	788,00		
FEV/2018	1.038,87	943,00		
JAN/2018	1.000,00	914,00		
* O cálculo do Fator de Correção é feito através do Fator de Pressão x Fator de Temperatura x Fator de Compressibilidade x Fator de Correção.				
* O cálculo de consumo corrigido/faturado é feito através do Consumo em medida x Fator de PCS (Poder Calórico Superior) x Fator de correção = Consumo Corrigido/Faturado.				
Os valores para Gás Natural referidos nas seguintes condições: Poder calorífico superior: 9.400 kcal/m <sup>3</sup> ; temperatura= 20°C; pressão= 1 atm, conforme Resolução ANP n° 16.				
Reservado ao Fisco	c984.c13c.49b7.062a.134f.f22c.eefab376	Via do usuário		
Autenticação mecânica				
<b>Nota Fiscal / Conta de Gás</b>				
				Nº 011.420.239
Usuário: CLUBE INTERNACIONAL DE REGATAS				
Código do Usuário	Mês de Referência	Vencimento	Valor Total a Pagar (R\$)	
23684283	JAN/2019	14.01.2019	4.634,40	
Para Cadastro em Débito Automático				
Banco	Agência	Código		
033	2007	23684283		
O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Sobre o valor pago após o vencimento incidirá multa de 2% e juros de mora de 0,033% ao dia, incluídos em conta futura (Port. CSPE 156/01). O não pagamento poderá levar a protesto e/ou negativação, cobrança de despesas e demais emolumentos (Lei Fed. 9492/97).				
Verifique se ocorrer débito automático em sua conta corrente, no vencimento. Se, por qualquer motivo o débito não for efetuado, utilize esta nota fiscal/conta de gás para o pagamento em qualquer banco autorizado.				
Bancos autorizados a receber essa conta: Bradesco*, Banco do Brasil*, Caixa Federal*, Itaú*, Sicredi**, Safra e Santander. (*exceto boca de caixa, **somente débito automático).				
836500000465 344000577298 002442653008 002368428302				
Autenticação Mecânica				
<b>DÉBITO AUTOMÁTICO</b>				

### Anexo 3 – Conta Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL) – janeiro/2019.

Companhia Piratininga de Força e Luz Uma empresa do Grupo CPFL Energia		CPFL ENERGIA		Rod. Eng. Miguel Noel N. Burnier, km 2,5 Campinas - SP - 13088-900 Inscrição Estadual: 244.946.329-113 Inscrição no CNPJ: 01.172.213/0001-51								
<p>Jibe Internacional de Regatas ALM SALDANHA DA GAMA 5 INTA DA PRAIA 030-400 SANTOS SP</p> <p><b>Nota Fiscal</b> Conta de Energia Elétrica Nº. 021610625 série C Data de Emissão 12/01/2019 Data de Apresentação 16/01/2019 Pág. 1 de 2</p>												
Teiro de leitura	Lote	Cliente		Reservado ao fisco								
NATL06-00000000000	06	60010726		61D5.862B.7FD9.233F.E3C9.A5F1.95B4.ADB7								
<b>DADOS DO SEU CÓDIGO</b>												
JUBE INTERNATIONAL DE REGATAS ALM SALDANHA DA GAMA 5 1030-400 SANTOS - SP			Classificação: Tarifa Verde-A4 Comercial Outros Serviços Atividades CNPJ 58.212.556/0001-21 Inscrição Estadual: ISENTO Conta Contrato Nº.220000018322									
ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA/MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)							
0800 721 1294	60010726	2036268999	JAN/2019	23/01/2019	<b>39.365,44</b>							
<a href="http://www.cpflempresas.com.br">www.cpflempresas.com.br</a>												
<b>CRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO RESERVADO AO FISCO</b>												
id.	Descrição da Operação	Mês	Quant.	Valor Total	Base Cálculo							
Ref.	Registrada	Quant.	Faturada	Base ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	PIS/COFINS	PIS/COFINS				
15	Nº. 902802313192	Ref.	Unid.	Tributos	ICMS	Base Cálculo	0,80%	3,70%				
05	Consumo Ponta [KWh] - TUSD	JAN/19	9.032,040	9.032,040 kWh	0,59306647	5.356,60	5.356,60	42,85	198,19			
05	Consumo Fora Ponta [KWh]-TUSD	JAN/19	50.941,872	50.941,872 kWh	0,08664911	3.395,23	3.395,23	27,16	125,62			
01	Conc Ponta Band Verde - TE	JAN/19	9.032,040	9.032,040 kWh	0,84344379	5.811,81	5.811,81	46,49	215,03			
01	Consumo F Ponta Band Verde-TE	JAN/19	50.941,872	50.941,872 kWh	0,40424487	20.592,99	20.592,99	18,00	761,94			
01	Consumo Realivo Exc Ponta	JAN/19	52,538	52,538 KWh	0,42407021	22,28	22,28	18,00	0,18	0,82		
01	Consumo Realivo Exc Fora Ponta	JAN/19	788,384	788,384 KWh	0,42417120	334,41	334,41	60,19	334,41	2,68	12,37	
02	Demandas [kWh] - TUSD	JAN/19	261,360	310,000 kW	8,97383871	2.781,89	2.781,89			2.781,89	22,26	102,93
	Subtotal				38.296,01							
05	Multa por Atraso Pgto	DEZ/18			842,82							
04	Juros de Mora	DEZ/18			194,82							
	Total Distribuidoras				39.332,25							
07	Contrib. Custo IP-CIP Municipal	JAN/19			33,19							
	Total Devoluções/Ajustes				33,19							
	Total a Pagar				39.368,44							
Demonstrativo - Líminar Inciso II												
Base de Cálculo sem liminar:						29.440,11						
Dedução de ICMS/PIS/COFINS						0,00		2.558,26-		21,43-	99,13-	
Base de Cálculo Ajustada						26.761,29						
<b>TOTAL CONSOLIDADO</b>						39.365,44	26.761,29	4.817,03	38.295,01	300,28	1.416,90	

*Autenticação Mecânica no Verso*

**LANÇADO**

DOC. 24311  
DATA: / /  
RESPONSÁVEL *[Assinatura]*

Cód. Déb. Automático-Banco  
220000018322

Vencimento  
23/01/2019

Total a Pagar R\$  
**39.365,44**

ATRASO NO PAGAMENTO SERÁ COBRADO EM CONTA FUTURA: MULTA 2%, JUROS MORA 0,033% AO DIA E CORREÇÃO MONETÁRIA, CONF.LEGISLAÇÃO VIGENTE

**DÉBITO AUTOMÁTICO**  
Banco 033 Agência 2007

Autenticação Mecânica

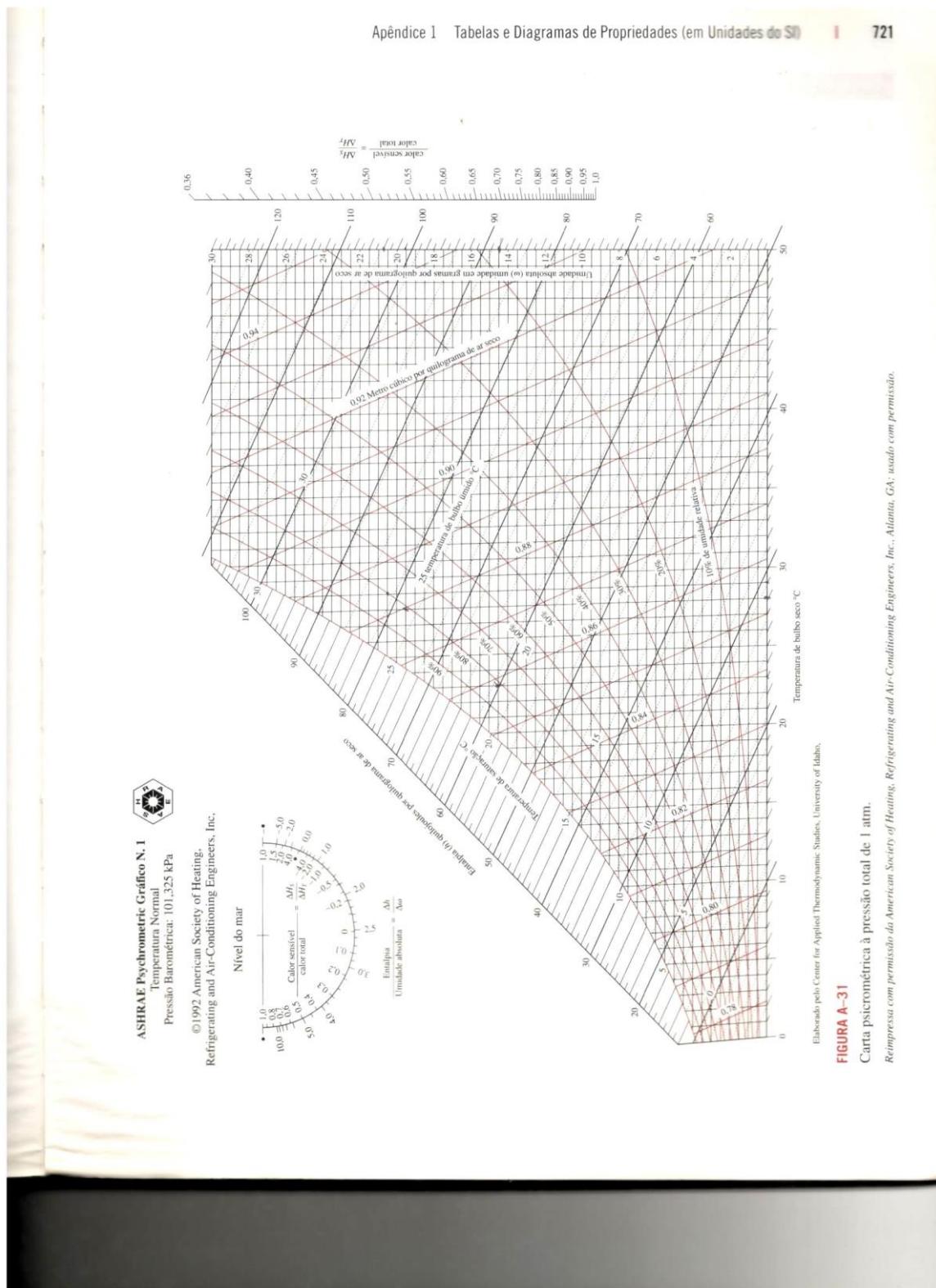
836100003935 654401103019 112078615021 200000183224



<b>Companhia Piratininga de Força e Luz</b> Uma empresa do Grupo CPFL Energia		Rod. Eng. Miguel Noel N. Burnier, km 2,5 Campinas - SP - 13088-900 Inscrição Estadual: 244.946.329-113 Inscrição no CNPJ: 04.172.213/0001-51																																																																																																																																		
<b>stalação 2036268999</b> ibe Internacional de Regatas ALM SALDANHA DA GAMA 5																																																																																																																																				
Nota Fiscal Conta de Energia Elétrica Nº. 021610625 série C Data de Emissão: 12/01/2019 Data de Apresentação: 16/01/2019 Pág. 2 de 2																																																																																																																																				
<b>Demandas Contratadas</b> Ca- nta- ra Ponta ração : 310		<b>Energia Contratada</b> Único Ponta Fora Ponta Reservado	<b>Bandeira Tarifárias</b> Verde : De 13 a 31/12 - 19 Dias Vermelha : De 01 a 11/01 - 11 Dias Total : 30 Dias																																																																																																																																	
<b>TAS DA LEITURA</b> Itura Anterior : 12/12/2018 Itura Atual : 11/01/2019 Dias : 30 Última Leitura Prevista : 08/02/2019		<b>TARIFA ANEEL</b> kWh Ponta TE R\$ 0,49867000 kWh Único R\$ 8,67000000 kWh F.Ponta TE R\$ 0,31329000 Real/kWh Ponta R\$ 0,32874000 kWh Ponta TUSD R\$ 0,56638000 Real/kWh F.Ponta R\$ 0,32874000 kWh F.Ponta TUSD R\$ 0,06365000																																																																																																																																		
<b>PAGAMENTOS DE MEDICAO</b> Energia Ativa : 40136284 Energia Reativa : 40136284 Taxa de perda : 0,0																																																																																																																																				
<b>DADOS DE LEITURA</b> M. Atual Anter Ft.Multip /h Ponta 204400 201892 3,60000 /h F.Ponta 023466 009318 3,60000 /h Reserv. / Ponta 000726 000000 0,36000 / F.Ponta 000586 000000 0,36000 / Reserv. /r Ponta 000089 000075 3,60000 /r F.Ponta 009080 008862 3,60000 /r Reserv. /h Inj. Ponta /h Inj. F.Ponta /h Inj. Reserv.		<b>Demonstrativo de Utilização</b> <b>Mês de Referência 01/2019</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Consumo Ponta - [kWh]</th> <th colspan="2">Consumo Fora de Ponta - [kWh]</th> </tr> <tr> <th>kWh</th> <th>Dias</th> <th>kWh</th> <th>Dias</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2019 JAN</td><td>9032,00</td><td>30</td><td>2019 JAN</td><td>50941,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>2018 DEZ</td><td>10343,00</td><td>32</td><td>2018 DEZ</td><td>54249,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>NOV</td><td>8232,00</td><td>31</td><td>NOV</td><td>49378,00</td><td>31</td></tr> <tr><td>OUT</td><td>9068,00</td><td>29</td><td>OUT</td><td>44914,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>SET</td><td>9932,00</td><td>33</td><td>SET</td><td>49122,00</td><td>33</td></tr> <tr><td>AGO</td><td>8768,00</td><td>29</td><td>AGO</td><td>40563,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>JUL</td><td>8884,00</td><td>30</td><td>JUL</td><td>43407,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>JUN</td><td>9778,00</td><td>32</td><td>JUN</td><td>53429,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>MAI</td><td>11548,00</td><td>30</td><td>MAI</td><td>58273,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>ABR</td><td>10522,00</td><td>29</td><td>ABR</td><td>58066,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>MAR</td><td>10424,00</td><td>32</td><td>MAR</td><td>59857,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>FEV</td><td>11091,00</td><td>29</td><td>FEV</td><td>55483,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>JAN</td><td>9224,00</td><td>29</td><td>JAN</td><td>50798,00</td><td>29</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Demanda - [kW]</th> </tr> <tr> <th>kW</th> <th>Dias</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2019 JAN</td><td>261,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>2018 DEZ</td><td>238,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>NOV</td><td>205,00</td><td>31</td></tr> <tr><td>OUT</td><td>218,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>SET</td><td>221,00</td><td>33</td></tr> <tr><td>AGO</td><td>203,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>JUL</td><td>216,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>JUN</td><td>244,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>MAI</td><td>250,00</td><td>30</td></tr> <tr><td>ABR</td><td>251,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>MAR</td><td>276,00</td><td>32</td></tr> <tr><td>FEV</td><td>259,00</td><td>29</td></tr> <tr><td>JAN</td><td>231,00</td><td>29</td></tr> </tbody> </table>		Consumo Ponta - [kWh]		Consumo Fora de Ponta - [kWh]		kWh	Dias	kWh	Dias	2019 JAN	9032,00	30	2019 JAN	50941,00	30	2018 DEZ	10343,00	32	2018 DEZ	54249,00	32	NOV	8232,00	31	NOV	49378,00	31	OUT	9068,00	29	OUT	44914,00	29	SET	9932,00	33	SET	49122,00	33	AGO	8768,00	29	AGO	40563,00	29	JUL	8884,00	30	JUL	43407,00	30	JUN	9778,00	32	JUN	53429,00	32	MAI	11548,00	30	MAI	58273,00	30	ABR	10522,00	29	ABR	58066,00	29	MAR	10424,00	32	MAR	59857,00	32	FEV	11091,00	29	FEV	55483,00	29	JAN	9224,00	29	JAN	50798,00	29	Demanda - [kW]		kW	Dias	2019 JAN	261,00	30	2018 DEZ	238,00	32	NOV	205,00	31	OUT	218,00	29	SET	221,00	33	AGO	203,00	29	JUL	216,00	30	JUN	244,00	32	MAI	250,00	30	ABR	251,00	29	MAR	276,00	32	FEV	259,00	29	JAN	231,00	29
Consumo Ponta - [kWh]		Consumo Fora de Ponta - [kWh]																																																																																																																																		
kWh	Dias	kWh	Dias																																																																																																																																	
2019 JAN	9032,00	30	2019 JAN	50941,00	30																																																																																																																															
2018 DEZ	10343,00	32	2018 DEZ	54249,00	32																																																																																																																															
NOV	8232,00	31	NOV	49378,00	31																																																																																																																															
OUT	9068,00	29	OUT	44914,00	29																																																																																																																															
SET	9932,00	33	SET	49122,00	33																																																																																																																															
AGO	8768,00	29	AGO	40563,00	29																																																																																																																															
JUL	8884,00	30	JUL	43407,00	30																																																																																																																															
JUN	9778,00	32	JUN	53429,00	32																																																																																																																															
MAI	11548,00	30	MAI	58273,00	30																																																																																																																															
ABR	10522,00	29	ABR	58066,00	29																																																																																																																															
MAR	10424,00	32	MAR	59857,00	32																																																																																																																															
FEV	11091,00	29	FEV	55483,00	29																																																																																																																															
JAN	9224,00	29	JAN	50798,00	29																																																																																																																															
Demanda - [kW]																																																																																																																																				
kW	Dias																																																																																																																																			
2019 JAN	261,00	30																																																																																																																																		
2018 DEZ	238,00	32																																																																																																																																		
NOV	205,00	31																																																																																																																																		
OUT	218,00	29																																																																																																																																		
SET	221,00	33																																																																																																																																		
AGO	203,00	29																																																																																																																																		
JUL	216,00	30																																																																																																																																		
JUN	244,00	32																																																																																																																																		
MAI	250,00	30																																																																																																																																		
ABR	251,00	29																																																																																																																																		
MAR	276,00	32																																																																																																																																		
FEV	259,00	29																																																																																																																																		
JAN	231,00	29																																																																																																																																		
<b>PREZADO CLIENTE</b> Mantenha seus dados sempre atualizados, alguns itens determinam a tarifa e tributação de sua fatura de energia elétrica. Solicite os serviços disponíveis em nosso site com rapidez e segurança e reserve mais tempo para você em seu dia-a-dia. Mais informações acesse o endereço que consta no verso de sua conta.																																																																																																																																				

<b>INFORMAÇÕES SOBRE A FATURA</b> prazo previsto na legislação para lançamento do ICMS que ixou de ser lançado por decisão judicial iniciar-se-á a partir momento que cessarem os efeitos desta. nsiderar quitada se efetuado débito em conta corrente. so não ocorra o débito utilize esta conta para pagamento.	
<b>AVISO IMPORTANTE</b>	

## Anexo 4 – Carta Psicrométrica



Anexo 5 – Tabela de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO)

Empresa	Marca	Modelo	Aplicação	Pressão de Funcionamento		Área Externa do Coletor	Produção Média mensal de Energia		Eficiência Energética Média(%)	Classificação	Material Superfície Absorvedora	Fr(fa)n	FrUL
				(kPa)	(mca)		Por Coletor (kWh/mês)	Por m <sup>2</sup> (Especificific kWh/mês.m <sup>2</sup> )					
PRO-SOL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS DE ENERGIA SOLAR LTDA	Pro-Sol	H2 Sol 5,0	Piscina	200	20,40	1,31	120,3	91,8	62,59	B	Polipropileno	0,747	2,209
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC15 Evolution Pro	Banho	400	40,00	1,50	127,1	84,7	60,7	A	Alumínio	0,739	5,051

Anexo 6 – Tabela da Irradiação solar diária média mensal de Santos (CRESESB)

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Santos

Município: Santos , SP - BRASIL

Latitude: 23,901° S

Longitude: 46,349° O

Distância do ponto de ref. (23,901° S; 46,349° o): 0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,91	5,12	4,26	3,82	3,16	2,81	2,96	3,49	3,40	3,74	4,35	4,95	3,91	2,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,46	4,89	4,37	4,30	3,88	3,60	3,58	4,07	3,57	3,65	4,02	4,43	4,07	1,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	4,56	4,97	4,39	4,26	3,79	3,50	3,49	4,01	3,57	3,69	4,10	4,55	4,07	1,48
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,46	4,89	4,37	4,30	3,88	3,60	3,58	4,07	3,57	3,65	4,02	4,43	4,07	1,32

Anexo 7 – Dados climatológicos de Santos

Mês	Dados climatológicos para Santos												[Esconder]
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima recorde (°C)	37,7	39	36,5	36,8	34,8	34,2	35,8	37,3	37,8	38,4	38,4	37,9	39
Temperatura máxima média (°C)	29,4	29,4	28,3	27,3	25,2	24,1	23	22,7	23	24,7	26,7	27,9	26
Temperatura média compensada (°C)	26,3	26,4	25,6	24,3	22	20,2	19,3	19,2	20,1	22	24	25	22,9
Temperatura mínima média (°C)	22,8	22,9	22,3	21	18,7	16,5	15,9	16	17,2	19	20,8	21,7	19,6
Temperatura mínima recorde (°C)	14,6	14,1	15,9	10,9	9,2	6,5	6,2	8,5	8,8	10,4	12,1	15,7	6,2
Precipitação (mm)	317	314	311	227	165	112	104	102	149	219	213	265	2 498
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	14	13	14	11	10	9	8	7	12	12	11	13	134
Umidade relativa compensada (%)	80,4	82	82	81	81,8	81,2	82	82,8	83,3	81,9	79,8	79,6	81,5
Horas de sol	130,9	120,9	124,7	127,7	135	118	115,9	95,2	69,9	95,3	122	120,8	1 376,3

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (normal climatológica de 1981-2010<sup>[1]</sup>; recordes de temperatura de 1961 a 1996<sup>[2][3]</sup> e Climate-Data.org (precipitação)<sup>[4]</sup>

Anexo 8 – Frequênciā da piscina social

	ACESSOS PISCINA SOCIAL																														
	DIAS																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
dez/18	0	0	2	79	44	17	0	0	0	0	33	70	69	61	118	108	1	86	0	133	66	152	93	0	0	71	52	106	0	0	0
jan/19	1	0	73	90	60	178	6	148	119	108	124	141	61	5	142	74	100	59	131	143	6	90	57	46	4	190	0	0	122	106	75
fev/19	57	159	25	1	2	5	24	21	69	25	2	2	25	9	14	3	8	1	105	8	44	14	101	99	1	6	31	13	0	0	0