

PAULO LEE

Avaliação do uso de energia solar térmica para suprir as demandas de energia de um hotel.



Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica d Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Energia Térmica Solar  
Orientador: Prof. Me. Daniel Setrak Sowmy.

São Paulo  
2017



## FICHA DE APROVAÇÃO

Nome: Lee, Paulo

Título: Avaliação do uso de energia solar térmica para suprir as demandas de energia de um hotel.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia - PECE, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em: \_\_\_\_\_

### Banca Examinadora

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

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: \_\_\_\_\_

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

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

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: \_\_\_\_\_

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

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

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: \_\_\_\_\_

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



### Catalogação-na-publicação

Lee, Paulo

Avaliação do uso de energia solar térmica para suprir as demandas de energia de um hotel / P. Lee -- São Paulo, 2017.  
83 p.

Monografia (Especialização em Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Energia Solar Térmica 2.Universidade de São Paulo 3.Escola Politécnica 4.Programa de Educação Continuada em Engenharia 5.Daniel Setrak Sowmy I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.



Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado sabedoria e discernimento e força de vontade para concluir uma etapa importante da minha vida e carreira.

À toda minha família, minha esposa Kayoung por ter me apoiado e acreditar mesmo nos momentos de dificuldade e me dar motivação constante.

À minha mãe sra. Hae por ter me ensinado a ser ousado e por sempre me encorajar a superar meus limites.

Ao meu pai sr. Cícero Lee por ter me ensinado as dificuldades e sempre me dar confiança nos momentos difíceis.

Meu irmão mais velho James Lee por ter investido seu tempo e nos meus estudos sempre apostando em seu irmão mais novo independente da situação.



## RESUMO

**LEE, PAULO. Avaliação do uso de energia solar térmica para suprir as demandas de energia de um hotel.** 2017. 83p. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – PECE– Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

As fontes renováveis vêm se mostrando uma alternativa de gerar energia e uma forma muito vantajosa em questão ambiental, econômico e até complementar para geração de energia elétrica. Por isso, vem sendo muito procurada e requisitada em casas, comércios, hotéis e indústrias. Nos dias de hoje a energia solar térmica, diferentemente da solar fotovoltaica, que se mostra muito mais vantajosa pelo seu rápido retorno de investimento e também, se mostra muito interessante pela alta eficiência dos coletores. Com isso, surgiu disposição por parte do autor, em fazer uma avaliação do uso de energia térmica em um hotel na região metropolitana de São Paulo para entender melhor a utilização do sistema, ganhar conhecimento técnico na área e a avaliação de um sistema como um todo e quais as melhorias possíveis. Sabendo que um hotel possui grande demanda de aquecimento da água e ainda mesmo que se utilizando de energia à gás para diminuição da conta de energia elétrica que se diz nobre, a administração do hotel também se mostrou muito interessada em avaliar a economia que a energia solar térmica pode proporcionar ao hotel e alcançar melhores resultados financeiros e econômicos nessa crise. Dessa forma, melhorar a eficiência energética e diminuir os custos com insumos como energia elétrica e gás natural para aquecimento dos mesmos, aproveitando parte dessa energia renovável disponibilizada para o planeta. O estudo também visa entender a viabilidade do investimento, já que os coletores solares se mostram bastante vantajosos para edifícios de pequeno porte. Porém, ao contrário do hotel em questão, que é bastante verticalizado. E também da disponibilidade do espaço encontrado no local para dispor os coletores solares procurando soluções de aquecimento solar térmicos mais eficientes disponíveis no mercado global. Como dimensionamento utilizou-se do método encontrado no livro de Duffie & Beckman para estimativa de irradiação solar além de dados disponibilizados no mercado e F-Chart para dimensionamento de coletores solares.

Palavras-chave: Energia Solar; Energias Renováveis, Energia Térmica, Hotel.



## ABSTRACT

LEE, PAULO. **Assessment of the use of solar thermal energy to meet the energy demands of a hotel.** 2017. 83p. Monograph (Specialization in Renewable Energy, Distributed Generation and Energy Efficiency) - PECE - Continuing Education Program of the Polytechnic School - University of São Paulo, São Paulo, 2017.

Renewable sources have been shown to be an alternative to generate energy and a very advantageous way in environmental, economic and even complementary issue for electric energy generation. Therefore, it has been much sought after and requested in homes, businesses, hotels and industries. Today solar thermal energy, unlike solar photovoltaic, which is much more advantageous for its fast return on investment and also, is very interesting because of the high efficiency of the collectors. Although, according to Greener, there was a reduction of 29.41% in the price reduction of photovoltaic systems, yet the thermal system proves to be more interesting due to its high efficiency. This led to the author's willingness to make an assessment of the use of thermal energy in a hotel in the metropolitan region of São Paulo to better understand the use of the system, gain technical knowledge in the area and evaluate a system as a whole and what improvements are possible. Knowing that a hotel has great demand for water heating and even if using gas energy to decrease the electricity bill that says noble, the hotel management has also been very interested in assessing the economy that solar energy can provide the hotel and achieve better financial and economic results in this crisis. In this way, improve energy efficiency and reduce costs with inputs such as electricity and natural gas to heat them, taking advantage of that renewable energy available to the planet. The study also aims to understand the feasibility of the investment, as solar collectors prove quite advantageous for small buildings. However, unlike the hotel in question, it is quite upright. And also the availability of space found locally to dispose solar collectors looking for more efficient solar heating solutions available in the global market. Sizing was done using the method found in Duffie & Beckman's book for estimation of solar irradiation besides data available in the market and F-Chart for solar collector sizing.

Keywords: Solar energy; Renewable Energy, Thermal Energy, Hotel.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade Instalada de Energia Renovável .....	26
Figura 2 - Produção de Energia Primária.....	28
Figura 3 - Incidência Solar na região metropolitana de São Paulo.....	29
Figura 4 - Média da Irradiação Global Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> ).....	32
Figura 5 - Coletores Fechados diversos tamanhos	
Figura 6 - Coletor Plano Aberto .....	36
Figura 7 - Coletores à vácuo dispostos no telhado .....	39
Figura 8 - Funcionamento do tubo à vácuo. ....	38
Figura 9 - Comparativo de entre os tipos de coletores.....	40
Figura 10. Mapa do hotel .....	60
Figura 11. Esquema do sistema de alta pressão .....	63
Figura 12. Fancoletes para aquecimento de ambiente .....	66
Figura 13. Reservatório de 500L .....	66
Figura 14. Controlador de temperatura.....	66
Figura 15 - Piscina aquecida do SPA.....	67
Figura 16.1. Ampliação da imagem da área 1 .....	80
Figura 17. Planta do 3º Pavimento com área para disponibilizar os coletores solar.....	81
Figura 18. Sombreamento na área 2, no 3 pavimento.....	81
Figura 19. Vista superior do hotel, com detalhe do sombreamento da torre central .....	82
Figura 20. Á rea três.....	82
Figura 21. Foto da área quatro, torre esquerda do hotel .....	83
Figura 22. Coletor escolhido e seus componentes de construção .....	86
Figura 23. Especificação técnica Tubo à vácuo.....	87
Figura 24. Bússola indicando o Norte Magnético .....	90
Figura 25. Arranjos dos coletores. ....	53
Figura 26. Esquema de ligação entre os coletores .....	54
Figura 27. Configuração do sistema de aquecimento térmico solar .....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Irradiação Solar em São Paulo Fonte: CRESESB .....	32
Tabela 2. Variação de temperatura ao longo do ano.....	34
Tabela 3. Quantidade e participação dos coletores .....	50
Tabela 4. Quantidade e taxa de crescimento dos coletores solares.....	50
Tabela 5. Dados técnicos dos aquecedores existentes .....	64
Tabela 6. Especificação técnica aquecedor de água Saturn .....	65
Tabela 7. Equipamentos utilizados para aquecimento térmico a gás.....	68
Tabela 8. Tabela de referência para consulta e dimensionamento.....	73
Tabela 9. Distribuição da demanda de água quente.....	75
Tabela 10. Demanda de água no Banheiro .....	78
Tabela 11. Demanda de água na cozinha.....	78
Tabela 12. Especificações Técnicas do coletor dado pelo próprio fabricante.....	85
Tabela 13. Irradiação Solar para cidade de São Paulo .....	88
Tabela 14. Inclinação ideal para coletores .....	89
Tabela 15. Vantagens e vantagens de tipos de arranjos.....	54
Tabela 16. Tabela para pré-dimensionamento de coletores por área.....	91
Tabela 17. Especificação do coletor com Eficiência Energética média e o PMME.....	92
Tabela 18. Irradiação solar diária média mensal no plano inclinado para o hotel.....	92
Tabela 19. Dados do gás .....	93
Tabela 20. Dados técnicos dos aquecedores existentes .....	93
Tabela 21. Desempenho do sistema de aquecimento líquido mensal e anual em Madison.....	95
Tabela 22. Orçamento levantado para coletores fechados.....	99
Tabela 23. Orçamento levantado para tubo à vácuo .....	100
Tabela 24. Comparativo Financeiro da energia térmica 100% .....	103
Tabela 25. Fluxo de caixa coletor fechado 100% .....	103
Tabela 26. Fluxo de caixa Tubo à Vácuo 100% .....	104
Tabela 27. Comparativo Financeiro da energia térmica 70% .....	105
Tabela 28. Comparativo Financeiro da energia térmica 50% .....	106



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAPP	Associação Nacional dos fabricantes e construtores de Piscinas e Produtos afins
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência de Energia Eólica e Solar Sérgio de Salvo Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	International Energy Agency
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IRENA	International Renewable Energy Agency IRENA
NASA	Agencia Espacial Americana
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa interna de retorno



## LISTA DE SÍMBOLOS

kW	Quilowatt
mW	Megawatt
l/min	Vazão litros por minuto
kcal/h	Quilocalorias por hora
m <sup>3</sup> /h	metros cúbicos por hora
GW <sub>th</sub>	Gigawatt Térmico
kWh/m <sup>2</sup>	Kilowatt hora por metro quadrado
MJ	MegaJoule
ΔT <sub>1</sub>	Variação de temperatura coletor 1
ΔT <sub>2</sub>	Variação de temperatura coletor 2
ΔT <sub>3</sub>	Variação de temperatura coletor 2
W/m <sup>2</sup> °C	Coeficiente de perda de calor



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	25
1.1 Questão de análise.....	29
1.2 Objetivo.....	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	31
2.1 Potencial Solar .....	31
2.2 Coletores Solares .....	35
2.2.1 Tipos de coletores .....	36
2.3 Solar térmico no Mundo .....	43
2.4 Solar Térmico no Brasil .....	49
2.5 Arranjo de coletores .....	53
2.6 Configurações do Sistema.....	55
2.7 Leis, Incentivos e benefícios .....	57
3. ESTUDO DE CASO.....	59
3.1 Apresentação do Hotel Luz Plaza .....	59
3.2 Equipamentos para aquecimento a gás do Hotel .....	63
3.2.1 Demandas do Hotel .....	69
3.2.1.1 Demanda Energética Geral do Hotel .....	69
3.2.1.2 Demanda de Gás .....	71
Consumo de gás para cada local .....	73
3.2.1.3 Consumo de Água.....	77
3.2.2 Métodos.....	79
3.3.1 Área disposta do hotel.....	79
Características dos espaços disponíveis no hotel.....	80
3.3.2 Instalação dos coletores .....	85
Coletor solar adotado .....	85
Inclinação dos coletores .....	87
Orientação Geográfica .....	89
3.6 Estimativa de cálculo inicial .....	91
Refinamento com F-Chart.....	95
4 CUSTOS E RETORNO DO INVESTIMENTO .....	99
4.1 Custos de implantação .....	99
4.2 VIABILIDADE FINANCEIRA .....	101
5. CONCLUSÃO .....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111



## 1. INTRODUÇÃO

Devido as grandes dificuldades que encontramos no país e com a crise socioeconômica que o Brasil vem enfrentando. Residências, indústrias e comércios procuram novas formas de utilização de energia e outras formas mais econômicas e de sustentabilidade. As propostas são a utilização de equipamentos mais econômicos e eficientes e/ou utilização de energia renovável e reaproveitamento de energia, essa utilização pode ser de forma completa, atendendo toda a demanda energética e em outros casos seria utilização complementar de energia ou em conjunto de energia renovável e não renovável, atendendo somente parte da utilização energética.

A energia renovável se mostra bastante interessante por diversos aspectos, seja ela de forma direta como diminuição dos gases nocivos ao meio ambiente e também aproveita a energia disponível no mundo e que é renovável, ou seja, são consideradas inesgotáveis pois são fontes disponíveis com abundância. Como indiretamente, criando novos postos de trabalho, melhorando o nível de desemprego.

O Brasil possui como uma das principais fontes da matriz energética a hídrica que por sua vez é uma fonte renovável, em comparação do Balanço Energético de 2016 (BEN2016) e do Balanço Energético de 2017(BEN2017), houve uma melhora nas condições hidrológicas no país em 2016, aumentando a disponibilidade da energia hidráulica após quatro anos de estresse. Embora o ano base de 2016 tenha sido favorável na parte hídrica, como mencionado, devido à falta de chuva dos anos anteriores houve reflexo no crescimento de energia renovável que vem surpreendendo cada vez mais a energia térmica que se utiliza de combustíveis fósseis. Dividindo em duas fontes, as renováveis e as não-renováveis, o Brasil possui como oferta de energia renovável:

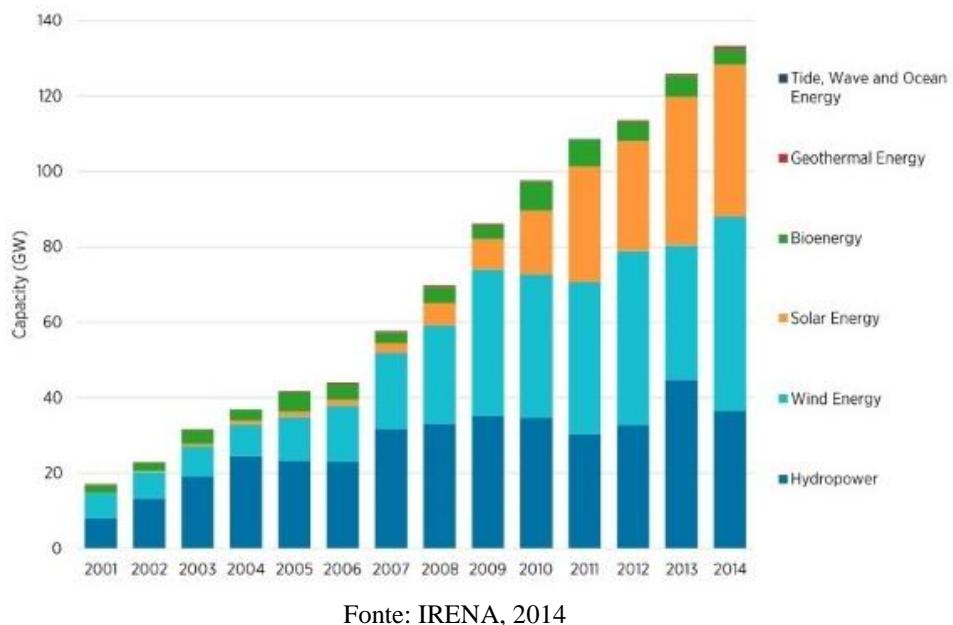
- Petróleo e derivados com a maior participação na oferta com 36,5% de participação;
- Gás natural com 12,3%;
- Carvão Mineral com 5,5%;
- Urânio 1,5% utilizado nas usinas nucleares de Angra;
- Outras não renováveis 0,7%, a exemplo o xisto betuminoso.

E como renovável temos:

- Biomassa da Cana com a maior participação entre as renováveis com 17,5%;
- Hidráulica 12,6%;
- Lenha e Carvão Vegetal 8%;
- Lixívia e outras renováveis(dentre elas a Solar e a Eólica) com 5,4%.

Entendemos que o crescimento da energia renovável no Brasil e no mundo cresce substancialmente, se analisarmos o gráfico 1, nota-se o crescimento geral de energia renovável, destacando o crescimento de energia solar como um todo a partir de 2008, e é a energia que mais cresce desde então. A energia hidráulica tem sofrido pequenas variações e a eólica voltou a crescer nos últimos anos.

Gráfico 1. Capacidade Instalada de Energia Renovável



Fonte: IRENA, 2014

Algumas fontes de pesquisa vêm mostrando o crescimento das energias renováveis no Brasil e no mundo, como mostra o gráfico da International Renewable Energy Agency (IRENA). Existem ainda cenários otimistas como a do Greenpeace, Relatório Alvorada Greenpeace Brasil, que comenta que o Brasil pode chegar a uma matriz energética sendo 100% renováveis. O governo brasileiro tem contribuído na questão de energia renovável, em 2012 a ANEEL criou a Resolução 482 que incentivou a Micro e a Mini Geração através do Net-Meeting, em outras palavras, a compensação de energia excedente produzida através das fontes renováveis possibilitando que as residências pudessem gerar sua própria energia. E em 2015 a ANEEL melhorou a Resolução 482 atualizando para a Resolução 687, aumentando a facilidade e tirando a burocracia que havia nas concessionárias para liberação das instalações de micro e mini gerações. Criou novos limites de potência entre micro e mini geradores. Além de poder utilizar da geração compartilhada, em outras palavras, podendo agora utilizar parte do excedente em outra unidade ou local do gerador, porém desde que pertencente à mesma concessionária.

Segundo dados do Balanço Energético desse ano de 2017 (base de dados 2016), podemos notar que no Brasil houve um crescimento na geração de energia renovável enquanto os não renováveis tiveram uma considerável queda. A energia solar vem crescendo a passos largos se comparado as demais energias, mas isso acontece devido à pouca representatividade em termos numéricos se comparado a eólica, outra energia renovável. No Brasil ainda não existem usinas térmicas solares de porte expressivos que poderiam alavancar ainda mais esse crescimento como as muitas usinas eólicas distribuídas pelo Brasil.

Fonte	2015	2016	Δ 16/15
Hidrelétrica	359.743	380.911	5,9%
Gás Natural	79.490	56.485	-28,9%
Biomassa <sup>1</sup>	47.394	49.236	3,9%
Derivados do Petróleo <sup>3</sup>	25.657	12.103	-52,8%
Nuclear	14.734	15.864	7,7%
Carvão Vapor	18.856	17.001	-9,8%
Eólica	21.626	33.489	54,9%
Solar Fotovoltaica	59	85	44,7%
Outras <sup>4</sup>	13.669	13.723	0,4%
<b>Geração Total</b>	<b>581.228</b>	<b>578.898</b>	<b>-0,4%</b>

<sup>1</sup> Inclui geração distribuída

<sup>2</sup> Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

<sup>3</sup> Inclui óleo diesel e óleo combustível

<sup>4</sup> Inclui outras fontes primárias, gás de coquearia e outras secundárias

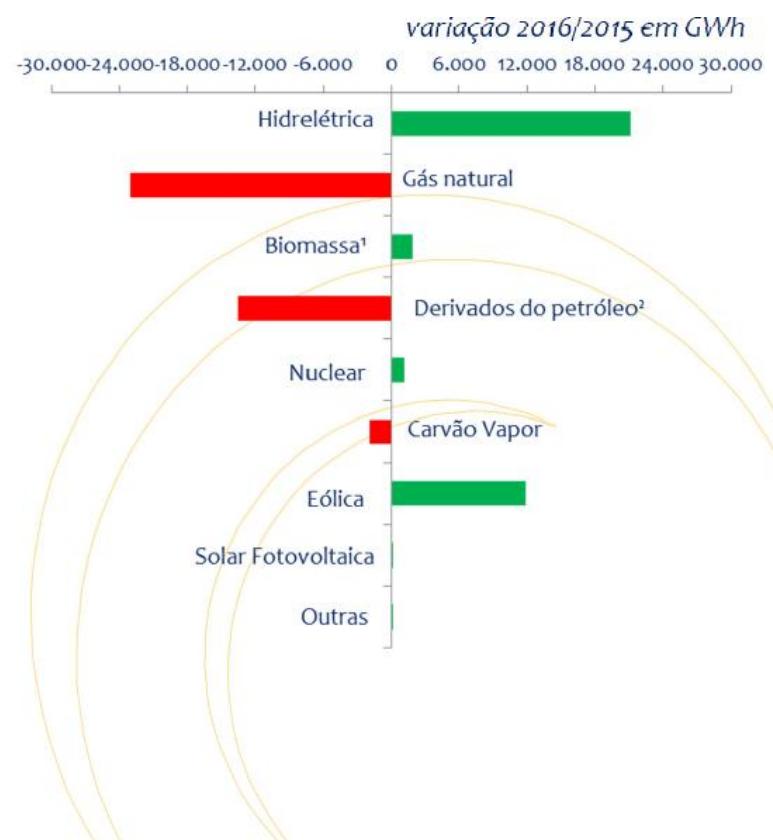


Figura 1.1 Crescimento de Geração de Energia Renovável.

Fonte: Síntese do Relatório Final, BEN2017

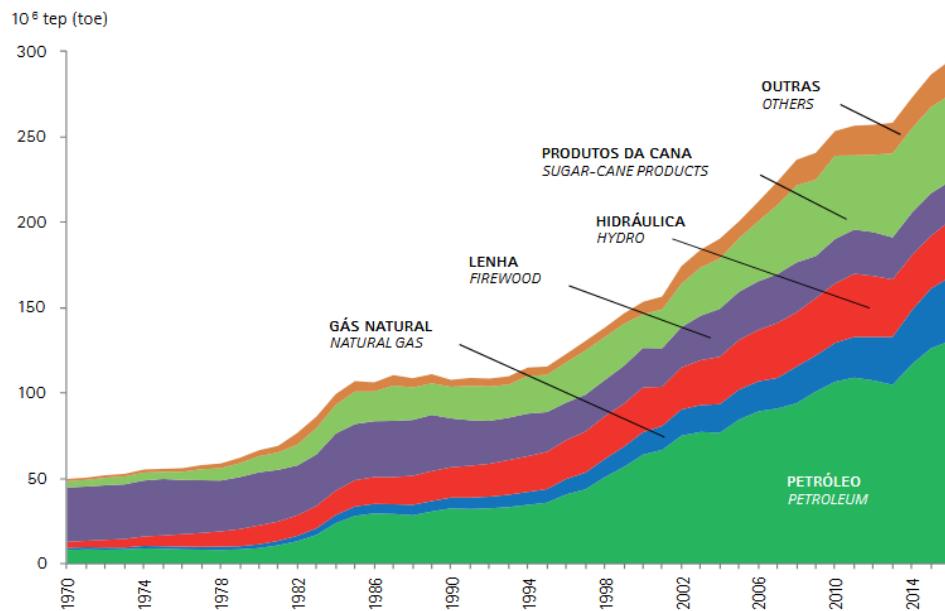


Figura 1.2 - Produção de Energia Primária.  
Fonte: Relatório Final Balanço Energético 2017

No livro Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, 2017, menciona uma curiosidade de que o Sol fornece à Terra cerca de dez mil vezes à energia que a humanidade demanda de energia na atualidade ou ainda citada em outro momento, a energia solar recebida pela Terra é cerca de 5 mil vezes maior do que o consumo mundial de eletricidade no ano em que foi publicado no artigo de Derek Abbott (Proceedings of the IEEE | Vol. 98, No. 1, Janeiro 2010).

Como dito anteriormente a energia solar pode ser aproveitada diretamente ou de forma indireta através do Sol. Diretamente, quando a energia passa por apenas uma etapa, ou seja, da energia solar transformando diretamente em energia elétrica ou indiretamente quando existem mais de uma etapa para transformar a energia solar para aproveitamento e consumo final. Hoje são conhecidas como provenientes diretamente do Sol a energia fotovoltaica e de modo indireto temos a heliotérmica/solar térmica e o aquecimento de coletor solar.

O foco para o presente estudo é o aquecimento da água através da energia solar para demanda de um hotel. Com isso primeiramente é necessário entender a incidência solar, o potencial solar no Brasil, quais são os mercados, os tipos de instalação, os sistemas e os problemas técnicos e de viabilidade financeira entre outros. Na qual será abrangida ao longo do trabalho.

## 1.1 Questão de análise.

Devido ao hotel se encontrar em uma região metropolitana de São Paulo, é geralmente afetado por sombreamento de outros edifícios mais altos, impedindo o completo aproveitamento energético do Sol. O sistema térmico solar também possui algumas dificuldades que, embora sejam eficientes, geralmente se tornam inviáveis em altos edifícios devido à verticalização dos prédios exigindo maior demanda de coletores e com pouca área disponível para uso. Ainda, dados solarimétricos demonstram que a região metropolitana de São Paulo possui pouca incidência solar global se comparado à maioria das regiões do interior da grande São Paulo, assim como mostra a figura 1.3 abaixo.



Figura 1.3 - Incidência Solar na região metropolitana de São Paulo

Fonte: Secretaria de Energia e Mineração.

Mas, em contra partida, com base nas informações dadas no Atlas Brasileiro de Energia Solar, é possível notar maior produção de energia solar térmica nas regiões do Sul e Sudeste. Isso se deve justamente à temperatura mais amena e fria nessas regiões se comparado às outras regiões do Brasil, dessa forma demandando mais aquecimento e mais implementação do sistema e consequentemente reduzindo os custos de equipamentos solares térmicos, tornando ainda mais interessante a utilização de sistemas solares térmicos. Ainda assim as regiões com menor incidência solar no Brasil ainda são maiores do que de países Europeus, como a Alemanha.

## 1.2 Objetivo

O presente estudo visa avaliar o aproveitamento da energia térmica solar para suprir as demandas de água quente de um hotel na região metropolitana de São Paulo. Enfrentando problemas, fazendo levantamentos das necessidades energéticas de um hotel, entendendo a necessidade específica de cada ambiente, a análise e dimensionamento dos coletores solares, da incidência solar no local e quais tecnologias se mostram mais interessantes, mostrando a capacidade de um sistema de aquecimento térmico solar como um todo ou entender as vantagens que pode se trazer para o hotel de forma a complementar os gastos e suprir a demanda energética, sondando o ganho e a disposição energética solar e como o sistema se comporta, ponderando o aproveitamento do sistema mesmo com pouca área disposta para uso. Ainda que haja algumas restrições como a verticalização de um hotel, região com menor incidência solar, falta de interesse dos investidores. É importante verificar e analisar cada caso, devido as particularidades individuais, que podem ser vantajosos ou ainda mais restritivos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Potencial Solar

Com dados do CRESESB, no mapa, no estado de São Paulo, podemos notar que a insolação média gira em torno de seis a sete horas por dia em São Paulo.

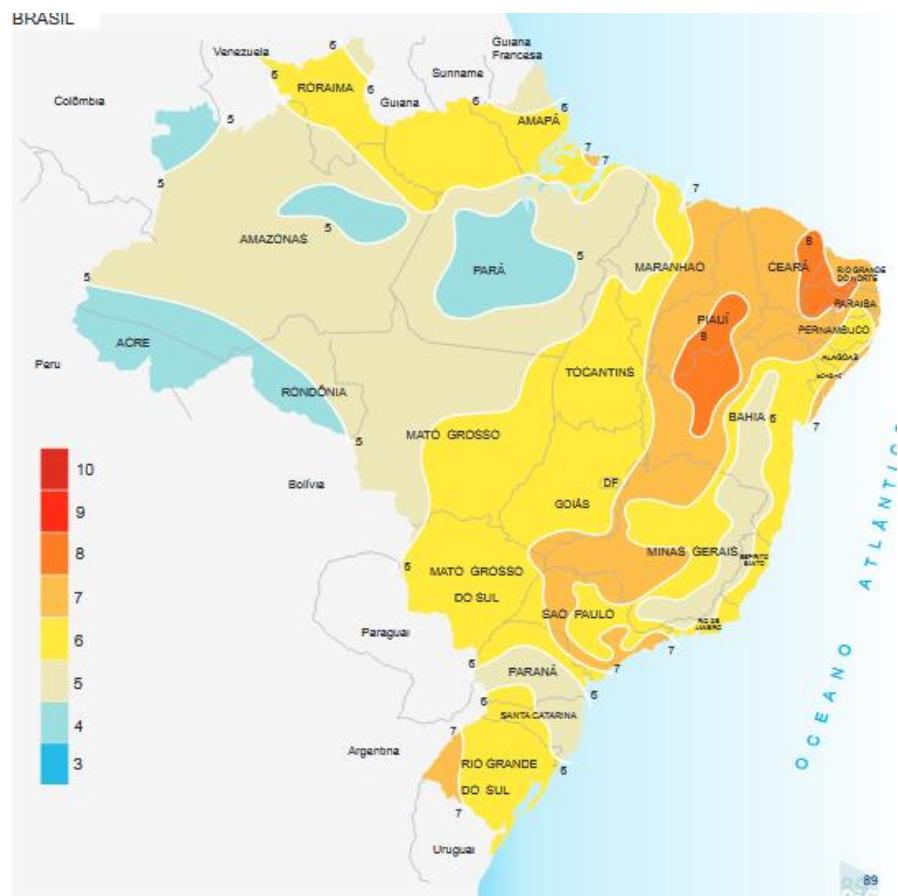


Figura 2.1 Insolação Anual em horas.  
Fonte: CRESESB Atlas Solarimétrico 2000

O horário de maior insolação em São Paulo, ocorre entre 9:00h as 15:00h em média.

A irradiação Global Horizontal na região Sudeste do Brasil varia em torno de  $5,1 \text{ kWh/m}^2$

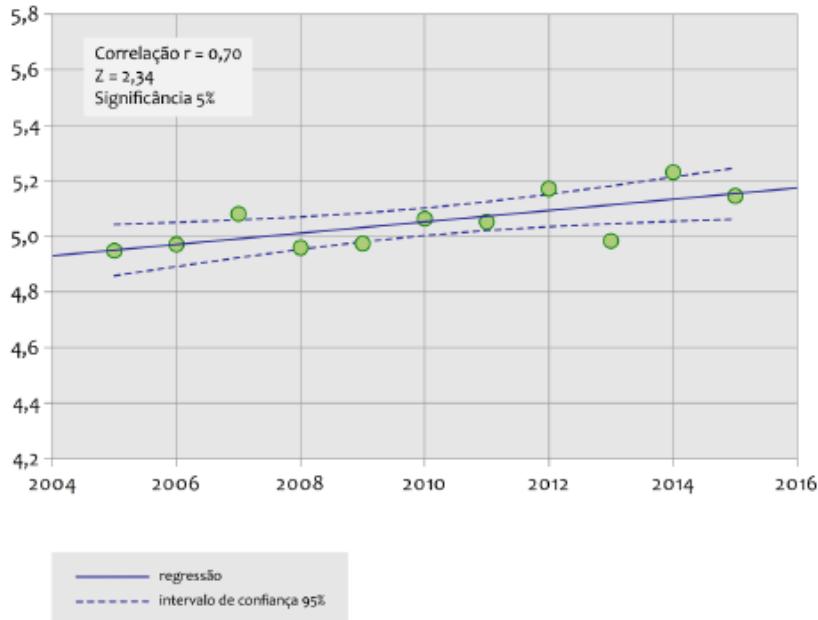


Figura 2.2 - Média da Irradiação Global Horizontal ( $\text{kWh/m}^2$ )  
Fonte: Atlas Brasileiro Solar 2ª Edição.

Como nosso estudo em questão se encontra em São Paulo, procuramos a localização exata do hotel e encontramos no CRESESB a irradiação local.

#### Localidades próximas

Latitude: 23,532652° S  
Longitude: 46,639596° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [ $\text{kWh/m}^2.\text{dia}$ ]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out					
✓	Sao Paulo	São Paulo	SP	BRA	23,5° S	46,637421° O		3,6	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
✓	Sao Bernardo do Campo	São Bernardo do Campo	SP	BRA	23,7° S	46,565° O		20,1	4,89	4,81	4,69	4,03	3,44	3,06	3,53	3,53	3,83	4,53	5,17	5,06	4,21	2,11
✓	Santos	Santos	SP	BRA	23,9° S	46,333611° O		51,4	4,89	5,03	4,39	3,83	3,50	3,03	3,39	3,56	3,56	4,31	4,94	5,08	4,13	2,05

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

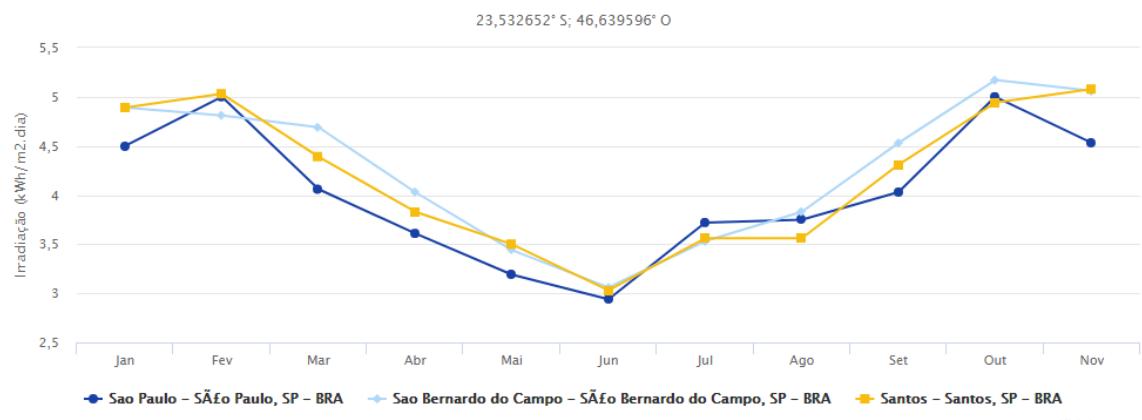


Tabela 2.1 Irradiação Solar em São Paulo

Fonte: CRESESB

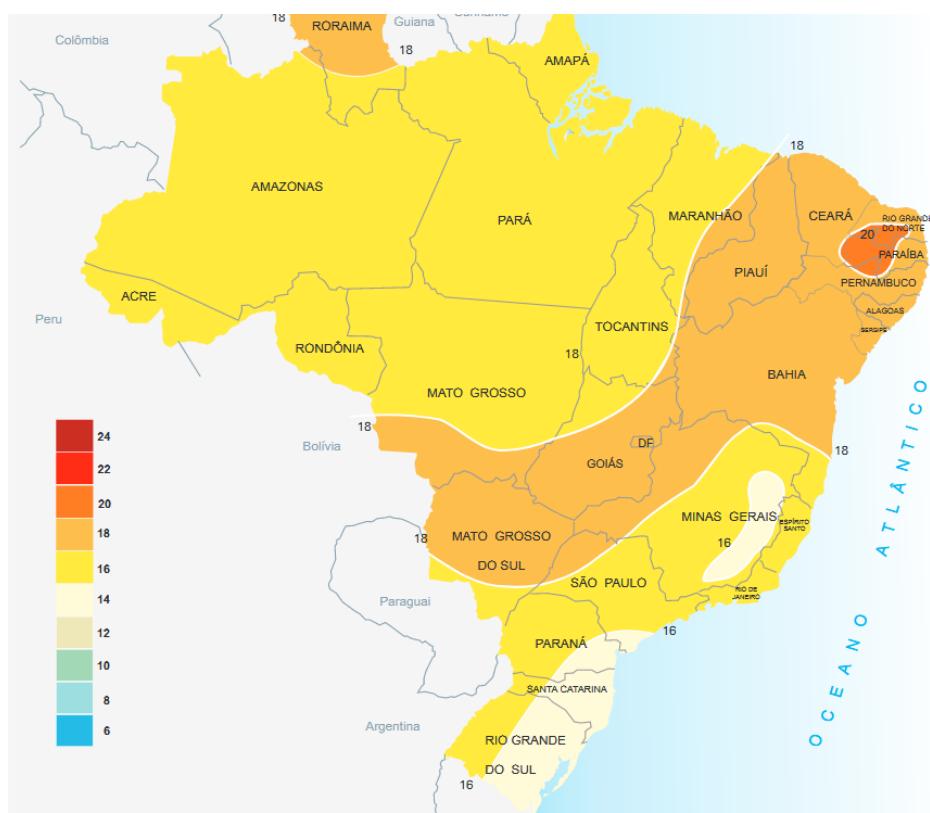


Figura 2.3 – Radiação Solar Global diária, média anual em MJ/m<sup>2</sup>.dia  
Fonte: Atlas Solarimétrico, 2000

Podemos notar a variação de temperatura em São Paulo onde a média de temperatura ficou em torno de 20°C no ano para uma série de dados ao longo de 30 anos. Porém para se chegar a um resultado mais acurado foi feito um filtro de informações desse ano de janeiro até o mês presente de 2017, da estação de Mirante de Santana da INMET, que é a estação mais próxima do hotel, onde ocorreu o estudo e se chegou à uma temperatura próxima a encontrada no Climatempo, de cerca de 20,1°C. Calculando a média entre temperaturas máximas e mínimas, essa temperatura deve variar um pouco para cima até o final do ano devido as temperaturas mais elevadas no Verão. Dessa forma para a avaliação desse estudo iremos adotar a temperatura de 20°C como temperatura ambiente (fria).

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	19°	27°	237
Fevereiro	19°	28°	222
Março	18°	27°	161
Abril	16°	25°	73
Maio	14°	23°	71
Junho	12°	22°	50
Julho	12°	22°	44
Agosto	13°	23°	40
Setembro	14°	24°	71
Outubro	15°	25°	127
Novembro	17°	26°	146
Dezembro	18°	26°	201

Tabela 1.2 Variação de temperatura ao longo do ano.

Fonte: Climatempo,2017

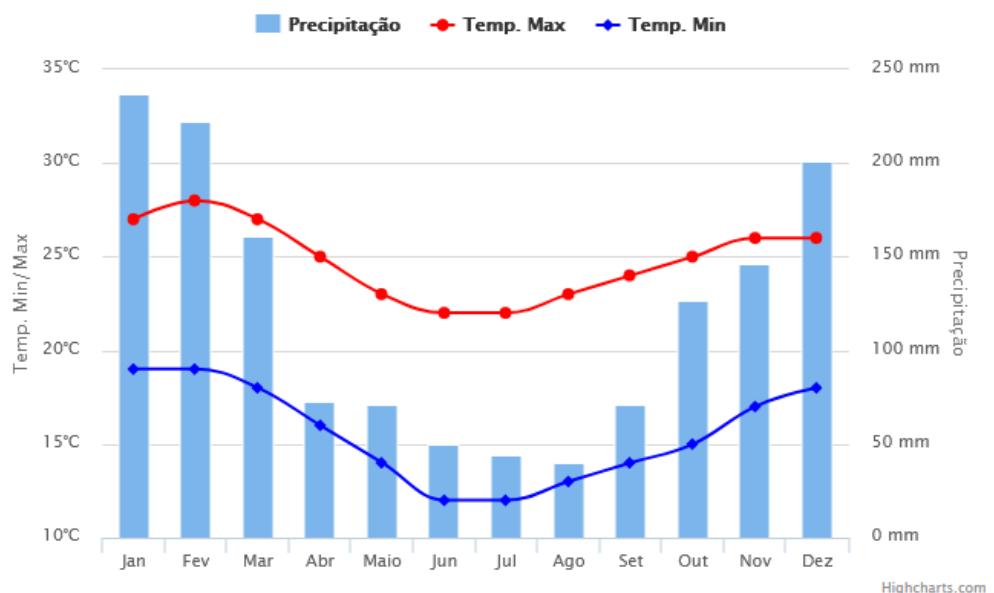


Figura 2.3. Variação de temperatura ao longo do ano. Fonte: Climatempo,2017

## 2.2 Coletores Solares

Os coletores solares térmicos são bastante requisitados na utilização de aquecimento da água para uso próprio como em residências, para banhos e piscinas e também são empregados de diversas maneiras e bastante utilizado no setor de serviços como em hotéis, pousadas, clubes, motéis, academias e indústrias para aquecimento de água de piscinas, saunas, lavanderia ou até pré-aquecimento para algum processo industrial. Os coletores solares são muito interessantes por serem uma solução barata, de fácil adaptação e manutenção e por se mostrarem muito eficientes dando um rápido retorno sobre o investimento devido ao seu baixo custo de implementação se comparado com outras formas de obter energia renovável. Geralmente, os coletores térmicos solares são muito confundidos com os painéis fotovoltaicos embora se pareçam fisicamente possuem o funcionamento e a construção de forma diferente entre si, pois enquanto um aquece o fluido e possui um reservatório o outro gera corrente elétrica através da reação entre os semicondutores e armazenam a energia gerada através de controladores e baterias em casos de off-grid ou são a energia é transformada através de inversores para envio da rede ou consumo simultâneo no local.

## 2.2.1 Tipos de coletores

- **Coletor Plano Fechado** possui esse nome devido à sua estrutura ser protegida e bem vedada para que não haja perdas por troca térmica e infiltração de umidade. Elas são compostas de uma caixa externa geralmente feita de alumínio, devido a leveza e por não se corroerem com a temperatura e a exposição da chuva. Possui um isolamento térmico, um circuito térmico onde ocorre a passagem do fluido através de uma serpentina parecida com a serpentina da geladeira, uma superfície absorvedora que é aquecido com o Sol e uma cobertura para proteger de granizos, chuva e detritos. Geralmente são utilizadas para aquecimento do banho, por atingirem temperaturas medianas por volta até de 60°C. A temperatura de banho quente, em média se dá por volta dos 38°C à 44°C. Possui uma eficiência em torno de 60%.

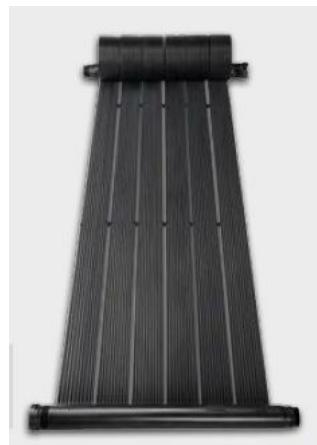


Figura 2.4 - Coletor Plano Aberto  
Fonte: Catálogo Heliotek

Figura 2.5 - Coletores Fechados diversos tamanhos  
Fonte: [Verdegás](#)

- **Coletor Plano Aberto**, já o coletor de plano aberto, possui o funcionamento parecido com a de plano fechado. Mas a diferença fica na proteção onde não existe uma cobertura e fica exposta ao tempo.. Por serem abertas elas possuem um menor custo se comparado à outros coletores, e atingem temperaturas mais amenas dessa forma sendo ideal para se utilizar em piscinas e áreas de lazer.

- **Coletor Tubo à Vácuo** é o estado da arte na questão de aquecimento térmico solar para uso de aquecimento de água, devido á sua alta eficiência alcançando temperaturas bem mais elevadas, se comparado aos outros coletores, por volta de 70°C podendo atingir 100°C, segundo a KOMECO. Os tubos à vácuo possuem o funcionamento parecido com as garrafas térmicas, que possuem vácuo entre o tubo interno e externo impedindo a troca de calor entre as partes, mantendo o fluido bem aquecido. Porém, de certa maneira, ainda são um pouco mais recentes no mercado brasileiro (DASOL, 2014, p. 5). E possuem alto índice de quebra dos tubos que são feito de vidro que podem danificar e se partir facilmente durante, o transporte, na instalação ou ao tempo em chuvas de granizos, oque acarreta na liberação do vácuo interno e consequentemente perdendo a eficiência inicial.

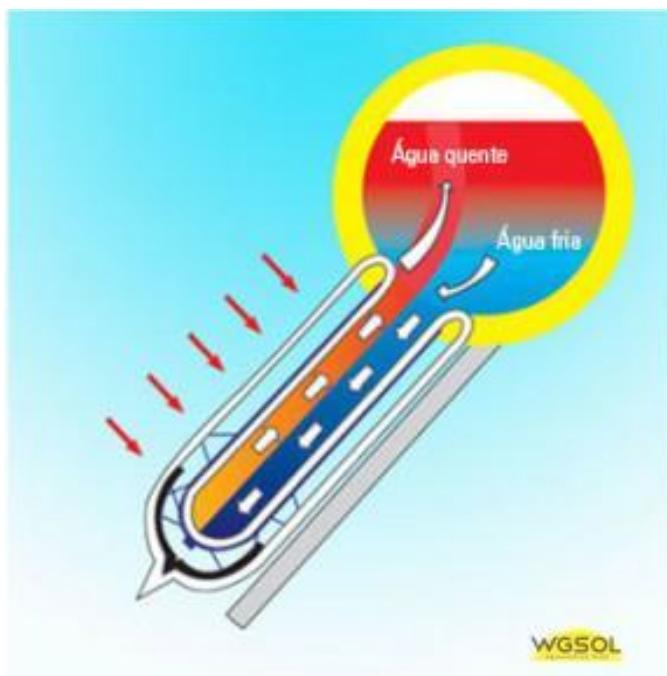


Figura 2.6. Funcionamento do tubo a vácuo  
Fonte: WGSOL

Porém existem também os tubos à vácuo com hastes de cobre, também conhecidos como “heat-pipes”. É importante notar que há diferença entre coletor solar a vácuo convencional e os que possuem as hastes. E funcionam de formas diferentes. No caso dos heat-pipes, ao invés da água passar diferetamente pelo tubo a vácuo, dentro da haste de cobre existe um fluido que com o aquecimento solar o líquido se evapora elevando o calor para a ponta da haste na parte superior do tubo, onde fica interligada à um cabeçote de cobre onde passa a água para aquecimento. As temperaturas variam de 95°C á 135°C dependendo do coletor (KINGSPAN, p.2)

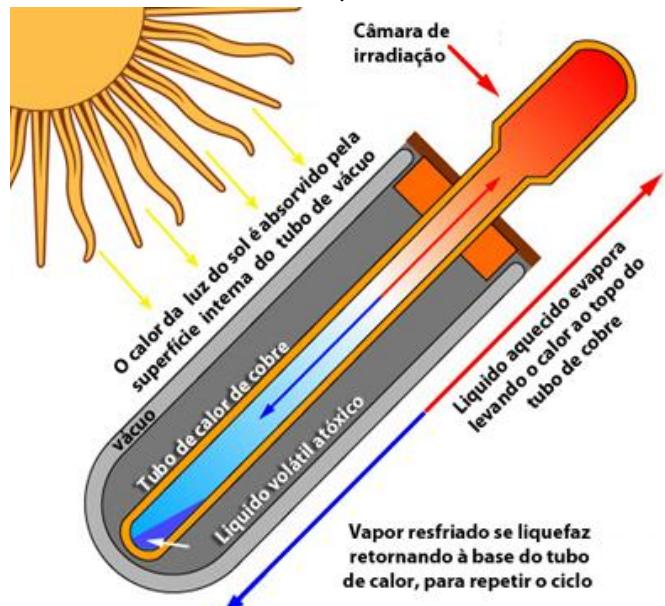


Figura 2.7 - Funcionamento do tubo à vácuo

Fonte: <http://www.newhome.com.br/htmls/ekohome/Solar/T%C3%A9rmico/ColetorTubVac.htm>

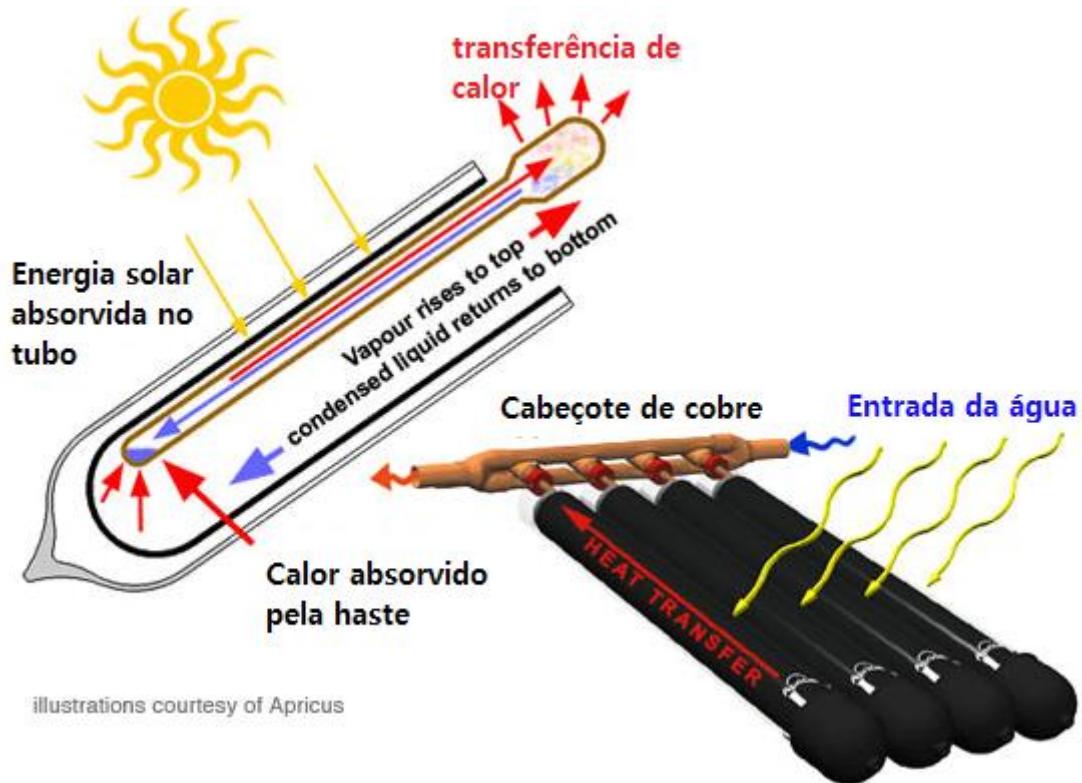


Figura 2.9 Esquema de funcionamento

Fonte: Greenspec

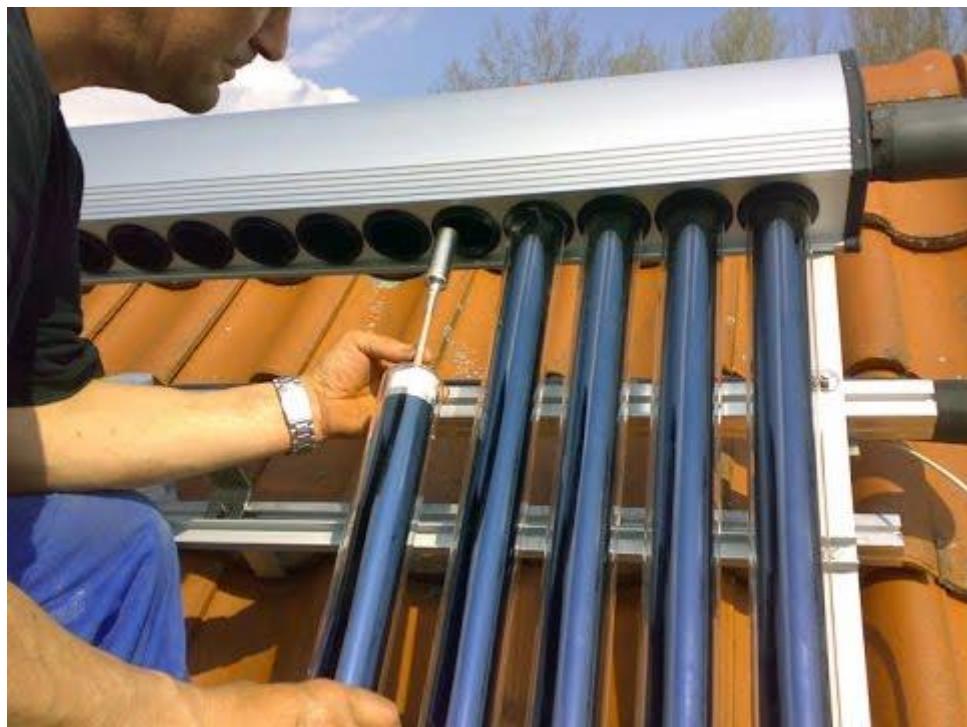


Figura 2.8 – Montagem de coletores à vácuo disposição no telhado

Fonte: SUNRAIN

Abaixo, na figura 2.9, temos um comparativo que pode ilustrar as diferenças entre os tipos de coletores e tubos a vácuo, na qual cada um pode operar de forma diferente para cada condição, em questão de, variação de eficiência e temperatura, porém usualmente os comparativos (DUFFIE,2013, p. 302) são feitos entre o rendimento térmico e a razão entre a variação de temperatura( $\Delta T$ ) pela radiação solar ( $G_T$ ). Então para cada curva da figura 2.9, pode ocorrer uma característica diferente conforme a variação da radiação solar ao longo do dia. As três curvas a seguir foram utilizadas a radiação solar,  $G_T = 1000\text{W/m}^2$  (David Darling).

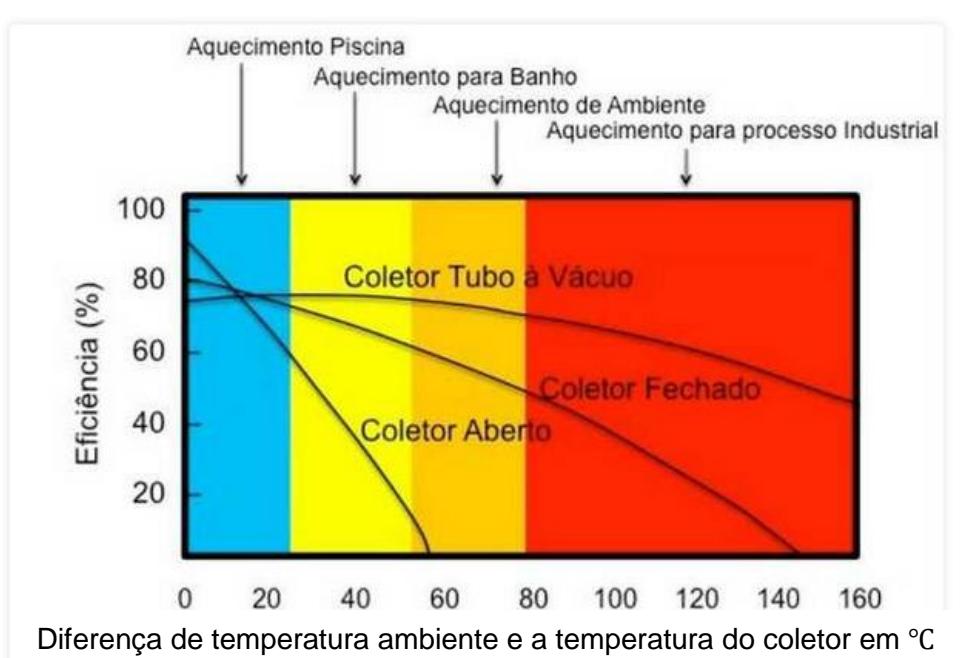


Figura 2.9 - Comparativo de entre os tipos de coletores

Fonte: Aquakent

A figura 2.10, a seguir demonstra a diferença de rendimento para um mesmo coletor a vácuo, conforme ocorre mudanças no nível da radiação solar, assim podemos entender que ao longo do dia para um mesmo coletor ocorre variações de rendimento, onde as maiores diferenças ocorrem a temperaturas mais elevadas e rendimentos mais constantes à temperaturas mais baixas. Ainda nessa figura, podemos notar os pontos de operações e as curvas, dessa forma podemos identificar a área mais usual que os coletores operam para determinadas radiações solares ao longo do dia. O que possibilita entender o melhor ponto para um determinado coletor.

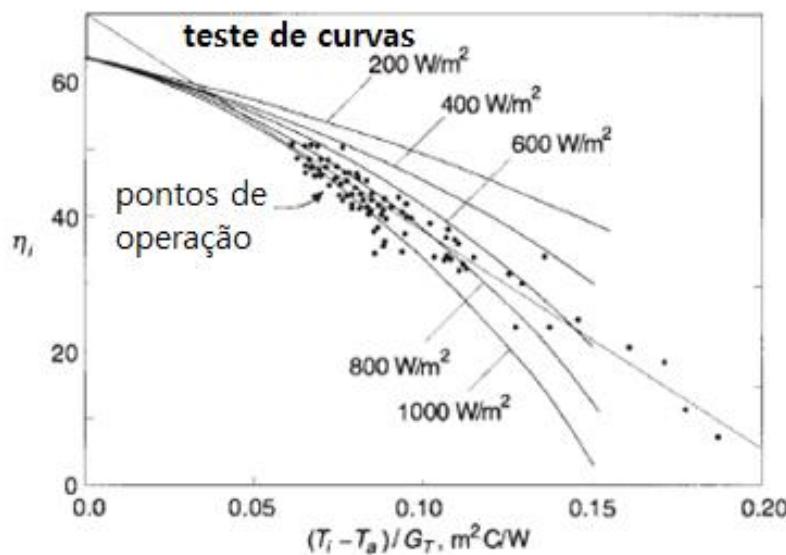


Figura 2.10. Teste de curvas e pontos de operação de um coletor de tubo a vácuo  
Fonte: Duffie & Beckman

## 2.2.2 Sistemas Térmicos Solares

Existem sistemas térmicos solares por termo-sifão e forçado.

Termo-sifão, como diz no próprio nome, é um sistema que faz a função de sifão através do próprio aquecimento da água. Onde ocorre o movimento da água através da diferença de densidade entre a água quente e a água fria, a água quente sobe e a fria desce, com tal diferença, mas ainda é importante que o reservatório de água esteja abaixo dos coletores solares para que ocorra essa troca de forma efetiva. Em outras palavras, não é necessário o uso de algum equipamento que empurre a água e complete o movimento, o que acaba melhorando no custo final devido ao acréscimo das bombas e também no custo delas.

Já o sistema forçado, necessita de uma bomba para que ocorra o movimento e que a água possa vencer o atrito ou as perdas de cargas encontradas na tubulação e/ou nas juntas. Geralmente esse tipo de sistema é mais voltado para sistemas maiores e que exigem maior demanda, não só isso, mas quando o reservatório não puder estar acima dos coletores solares.



## 2.3 Solar térmico no Mundo

Até o final de 2014, o mundo tinha a capacidade de aquecimento térmico solar instalado de 410,2 GWth (GigaWatt térmico), sendo a China a detentora da maior parte instalada com 289,5GWth, quase 76% do mercado. Porém dados mais recentes de 2016, mostram um crescimento considerável da capacidade para 456 GWth.

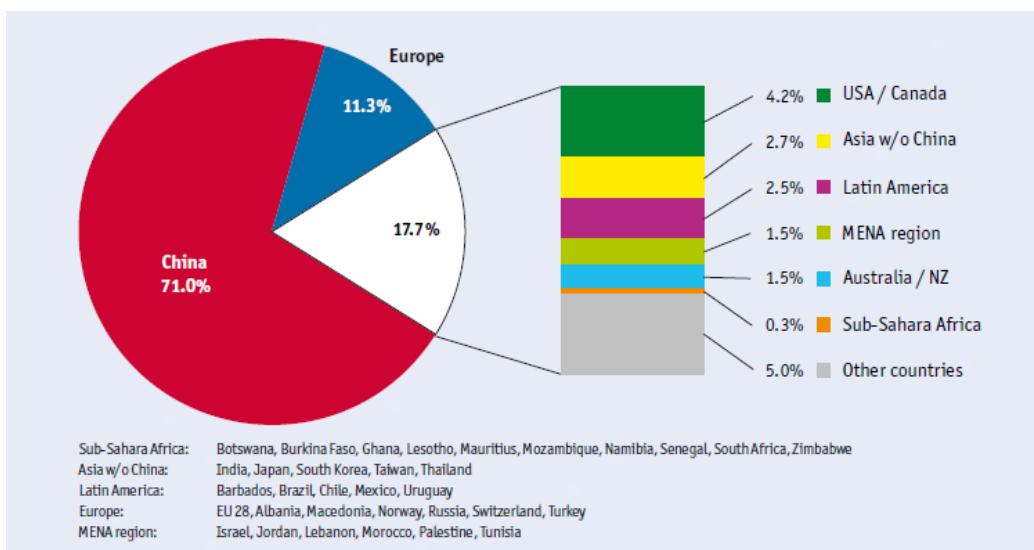


Figura 2.10. Distribuição de capacidade de aquecimento solar.

Fonte: Solar Heat Worldwide, 2017

A capacidade de aquecimento através do Sol está dividida em quatro tecnologias:

Os tubos a vácuo, coletores solares fechados (vidro), coletores abertos (utilizados em sua grande maioria em piscinas) e os coletores a ar abertos e fechados. Sendo a tecnologia com maior utilização tubos a vácuo produzindo 291,8GWth (cerca de 417 milhões de m<sup>2</sup> de área instalada) com 71,1% do mercado mundial, seguida de coletores fechados com 22,1% com 90,9GWth.

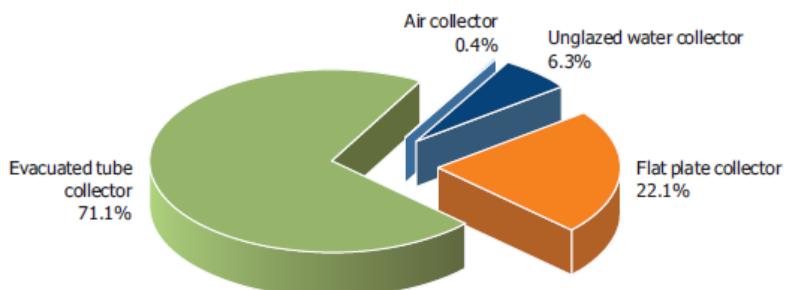


Figura 1.10. Distribuição de capacidade de Instalação de Coletores

Na figura 2.11, podemos notar a comparação entre o aquecimento térmico solar e algumas renováveis como eólica, fotovoltaica, geotérmica, heliotérmica e energia das marés.

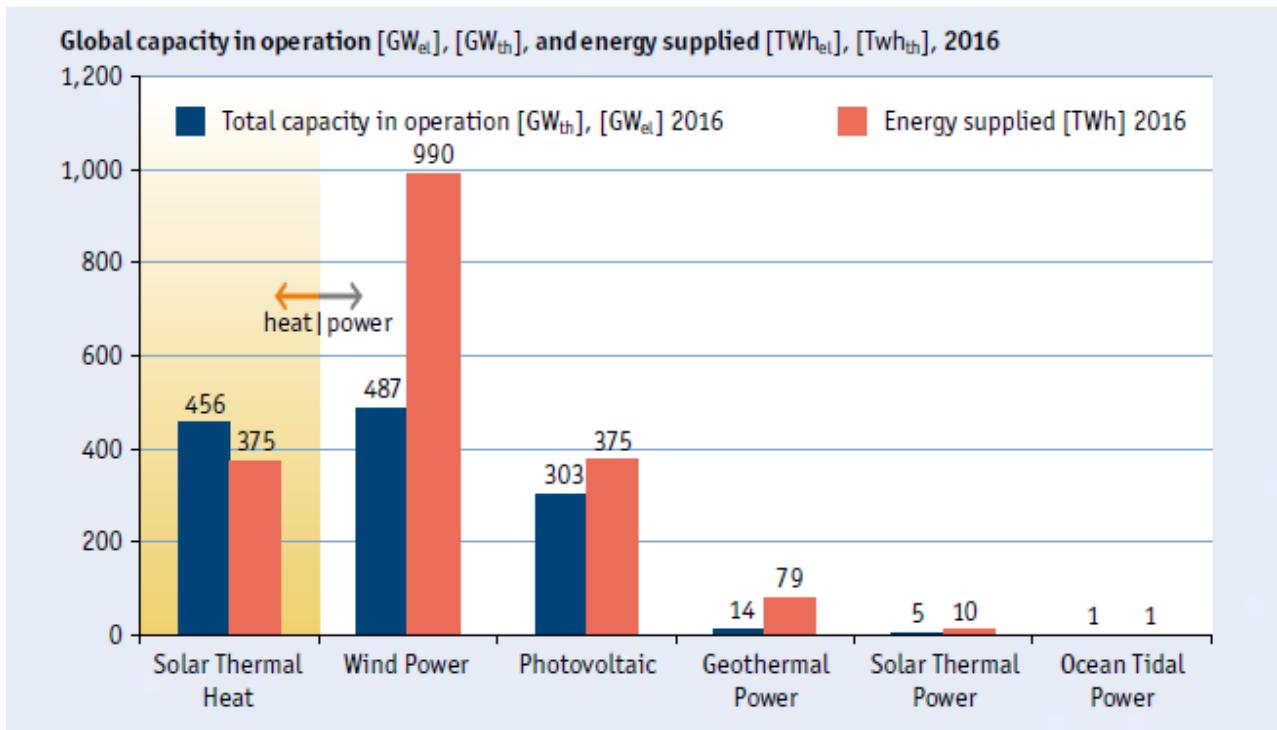


Figura 2.11. Comparativo do solar térmico e de outras renováveis

Fonte: IEW, 2017

Dividido em GigaWatt elétrico(GWel) e Gigawatt térmico (GWth) como medida de grandeza de capacidade de operação e Terawatt-hora elétrico (TWhel) e Terawatt-hora térmico(TWhth) como energia fornecida, a figura acima faz um comparativo de aquecimento térmico solar em termos de capacidade instalada em operação é quase igual a energia gerada pela eólica ao final do ano de 2016. Embora são formas diferentes de obtenção de energia, enquanto uma é aquecimento de água a outra é geração de energia elétrica, o gráfico no presente trabalho tem como intenção, mensurar o aquecimento solar térmico de coletores diante de outras energias renováveis elétricas nos dias de hoje.

O gráfico a seguir demonstra de uma forma mais ilustrativa a taxa de crescimento de cada uma das tecnologias. Em 2010 o aquecimento solar térmico era a de maior capacidade de operação até 2015, já nos dias de hoje a energia eólica ultrapassou e já produz mais energia do que a solar térmica, a taxa de crescimento do solar fotovoltaico é alta se comparada com as outras duas, mas isso se deve ao mercado fotovoltaico ser um pouco mais recente em que o custo que se tinha antes para fabricá-los produzir e implementar os módulos fotovoltaicos era muito alto e oneroso. Porém hoje já existem novas tecnologias e maior acesso a esses módulos, também pela produção em maior escala. Havendo um grande desenvolvimento de novos produtos com os módulos, um dos exemplos são as telhas fotovoltaicas Tesla, que prometem um custo ainda menor se comparado às próprias placas, considerando o retorno da energia produzida e a eliminação do custo das telhas de cerâmica. Segundo o blog da BlueSol, as novas telhas possuem também vantagem estética, maior durabilidade, mais resistência e maior eficiência, se comparado com os painéis fotovoltaicos. Também é possível notar que a taxa de crescimento do solar térmico vêm caindo gradativamente ao longo dos anos no mundo. Isso se deve, pelo fato do mercado consumidor de residências, que faz parte de 90% dos consumidores, perderem cada vez mais o interesse pelo aquecimento térmico solar e se interessando cada vez mais pelos sistemas fotovoltaicos.

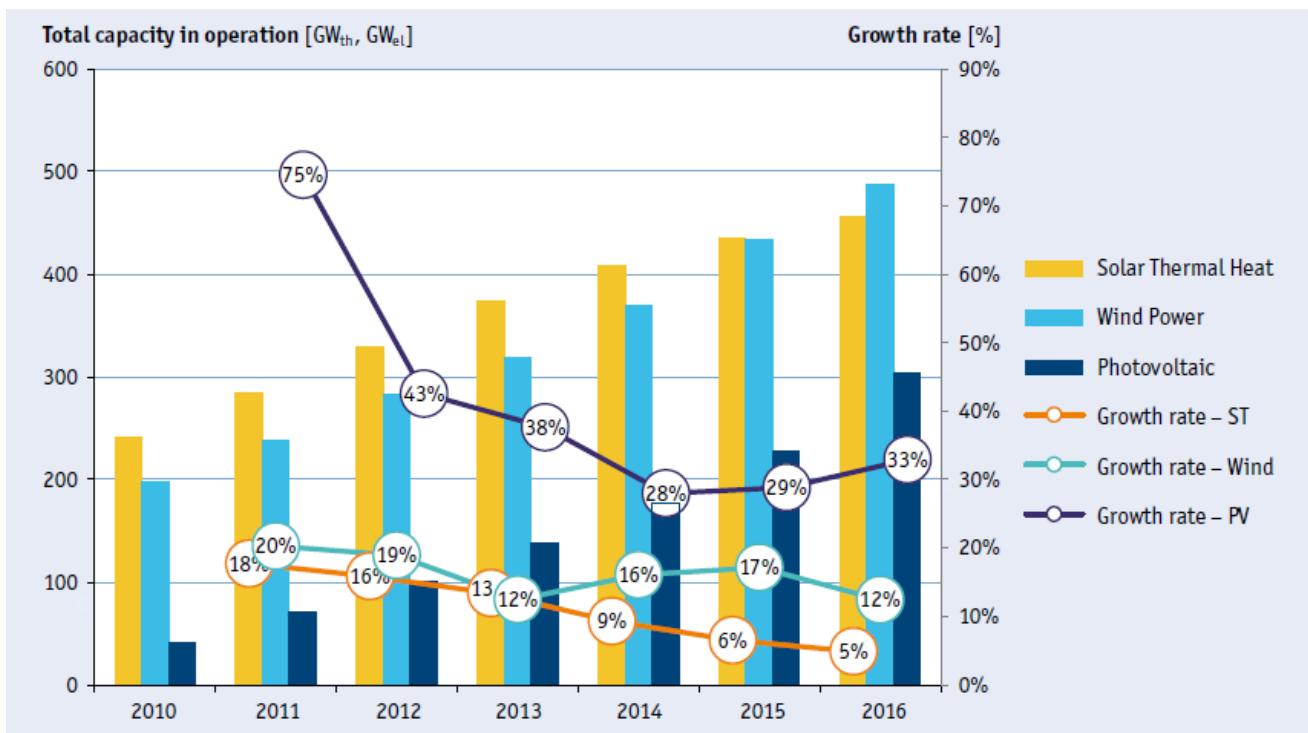


Figura 2.12 Comparativo de índice de crescimento  
Fonte: Solar Heat Worldwide, 2017

Na figura acima demonstra um comparativo entre o aquecimento térmico solar, fotovoltaica e energia eólica. Além disso também, a taxa de crescimento de cada uma delas ao longo dos anos. Demonstrando que aquecimento solar térmico solar vêm crescendo de forma retraída e tímida, ao contrário da fotovoltaica que demonstra uma taxa alta de crescimento no atual mercado. Mas essa alta taxa também se deve pois a fotovoltaica possui uma menor capacidade de operação das demais.

A China, o maior mercado, é responsável por essa diminuição dessa taxa de crescimento, já que caiu 17% de 2014 para 2015 como demonstra o gráfico a seguir. Mas em contrapartida é possível notar o crescimento notório dos sistemas de aquecimento solar na Ásia em geral, composta por países como Índia, Japão, Coréia do Sul, Taiwan e Tailândia, sem contar os índices da China.

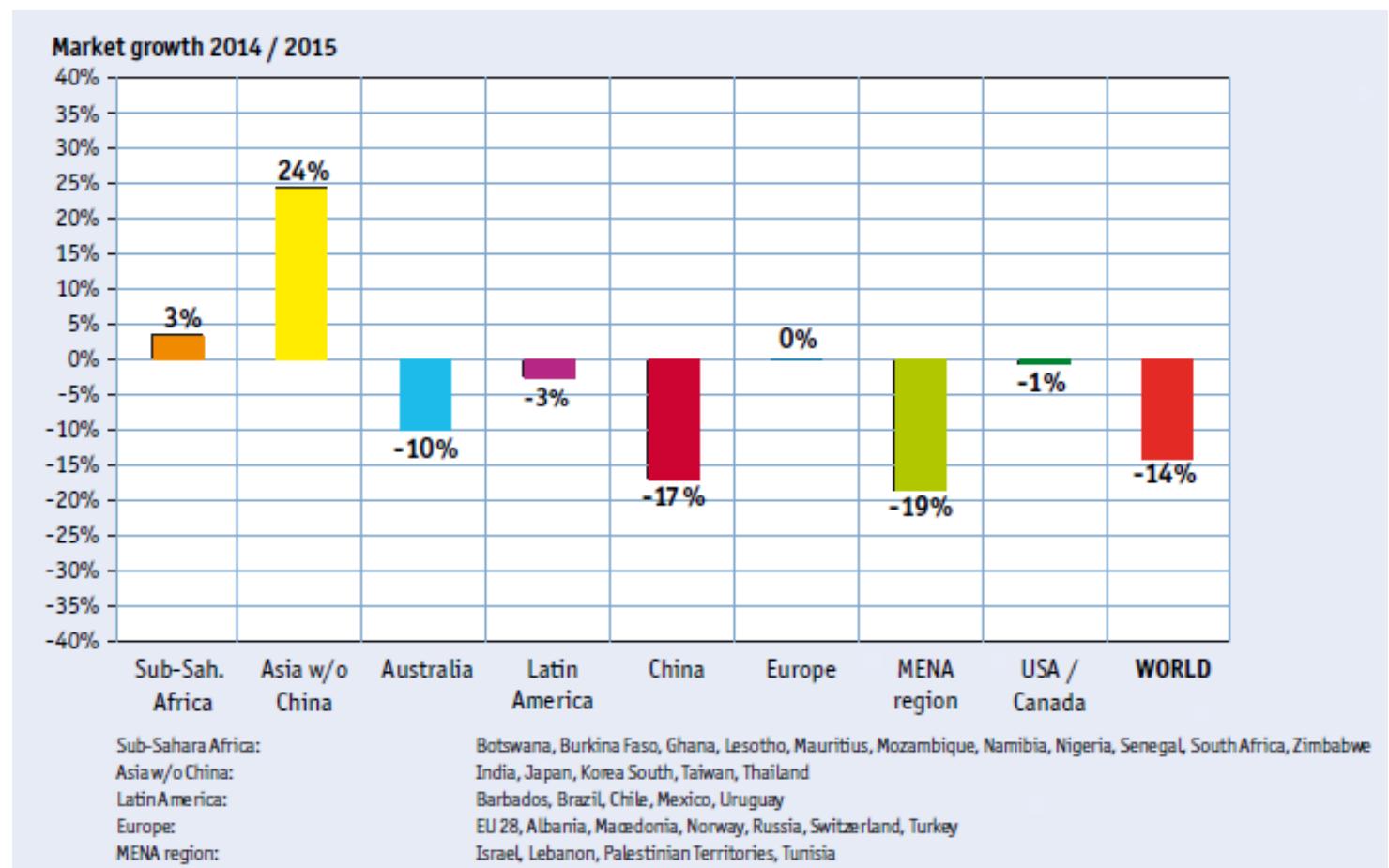


Gráfico 2.13. Crescimento do mercado do aquecimento solar térmico no mundo

Fonte: Solar Heat WorldWide, 2017

Os dez maiores mercados de coletores solares instalados, divididos em coletores solar aberto, coletores solar plano e tubo a vácuo.

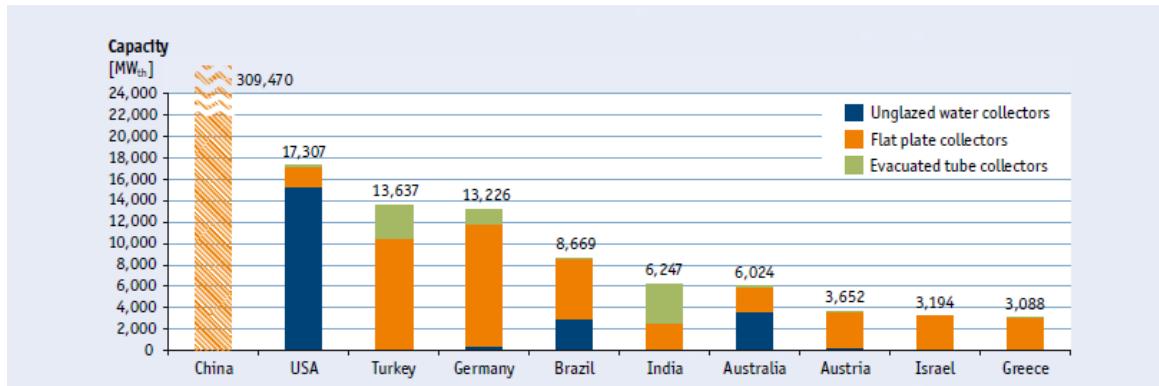


Figura 2.14. Os 10 maiores mercados de coletores solar

Fonte: Solar Heat WorldWide, 2017



## 2.4 Solar Térmico no Brasil

O Brasil se encontra entre os cinco maiores mercados de aquecimento térmico solar e possui um grande potencial de crescimento. Além de ter o privilégio da grande incidência solar, se comparado aos países europeus, possui uma boa viabilidade econômica tendo um rápido retorno sobre o investimento inicial. No Brasil, com a predominância do uso do chuveiro elétrico sistemas de aquecimento a gás e aquecimento solar se mostram muito interessantes em termos de economia e eficiência energética. Já que a energia elétrica é considerada uma energia “nobre” para se utilizar no aquecimento de água para banhos. O custo da energia elétrica ainda pode sofrer elevação, na ausência de chuvas e secas nas regiões das usinas hidrelétricas, tendo que contratar usinas térmicas com uso de combustíveis fósseis. Mas segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, existem dois grandes fatores que afetam a utilização em larga escala do sistema de aquecimento solar: a falta de conscientização da população e o investimento inicial alto se comparado aos chuveiros elétricos.

Apesar disso, o Brasil vem crescendo gradativamente ao longo dos anos, conforme podemos ver no gráfico 6, adiante.

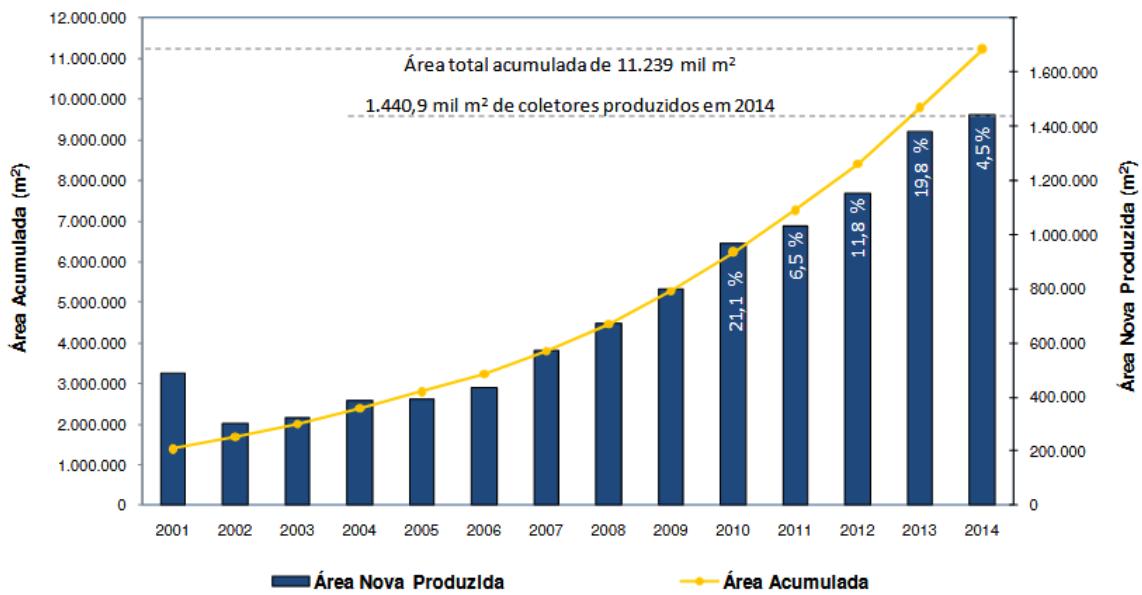


Figura 2.15. Crescimento do Mercado de Aquecimento Solar Brasileiro  
Fonte: DASOL, 2014

O mercado brasileiro é composto em sua maioria de coletores solares planos (fechado) em seguida de coletores abertos. Embora a participação do tubo evacuado seja pequena ainda no mercado brasileiro ela teve um crescimento substancial de cerca de 60% de 2013 para 2014. Embora não tenhamos dados mais recentes.

Ano / Tipo	Coletor Aberto		Coletor Fechado		Coletor à Vácuo	
2009	407.051	51,0%	391.089	49,0%	-	-
2010	493.725	51,1%	472.956	48,9%	-	-
2011	512.099	49,7%	517.517	50,3%	-	-
2012	525.508	45,6%	625.855	54,4%	-	-
2013	621.616	45,1%	747.282	54,2%	9.909	0,7%
2014	643.888	44,7%	781.118	54,2%	15.864	1,1%

Tabela 2.2. Quantidade e participação dos coletores

Fonte: DASOL, 2014

Houveram dois grandes saltos nos crescimento dos coletores aberto e fechado, em 2010 e em 2013.

Já o tubo evacuado só começa a ter participação no mercado em 2013. Embora exista grande eficiência ainda não está consolidado no país devido ao seu alto índice de quebra e avaria.

Ano / Tipo	Coletor Aberto		Coletor Fechado		Tubo Evacuado	
2009	407.051	Cresc.	391.089	Cresc.		Cresc.
2010	493.725	21,3%	472.956	20,9%		
2011	512.099	3,7%	517.517	9,4%		
2012	525.508	2,6%	625.855	20,9%		
2013	621.616	18,3%	747.282	19,4%	9.909	
2014	643.888	3,6%	781.118	4,5%	15.864	60,1%

Tabela 2.3. Quantidade e taxa de crescimento dos coletores solares

Fonte: DASOL, 2014

A venda no Brasil está dividida em quatro seguimentos, sendo a residencial tendo a maior fatia do mercado com 51%, seguido da indústria com 17% e o resto dividido nos programas habitacionais e comércio e serviços, este último na qual esta análise tem foco.

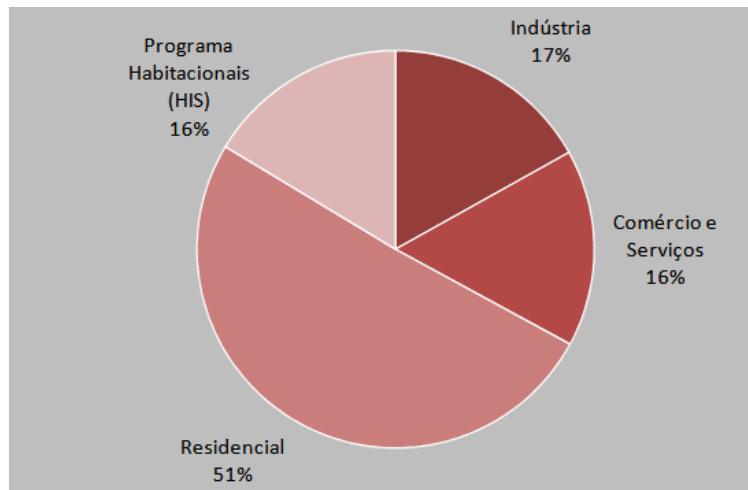


Figura 2.16. Divisão do mercado em seguimentos de coletores solares instalados  
Fonte: DASOL, 2014

Apesar do dado ser de 2013 é possível notar o grande potencial de energia solar em São Paulo para 2020 se comparado as outras tecnologias.

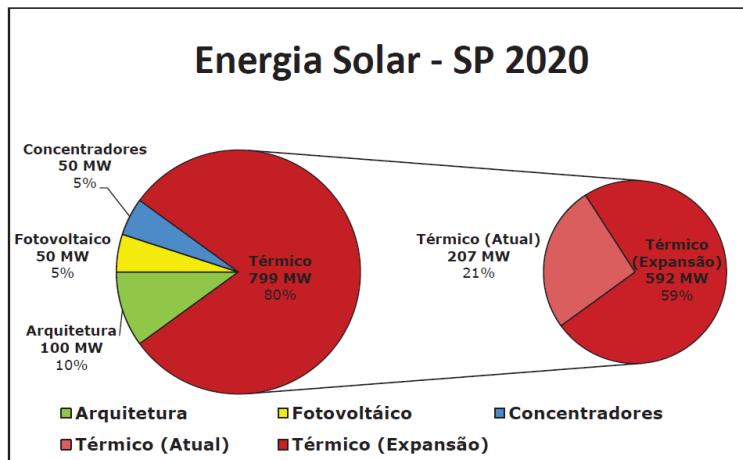


Figura 2.17. Expansão de energia solar para 2020  
Fonte: Subsecretaria de energia renovável, 2013 São Paulo



## 2.5 Arranjo de coletores

Existem três tipos de arranjo de coletores

Em série, paralelo e paralelo de canais.



Fonte: ABRAVA, 2014

No livro, Energias Renováveis, Geração distribuída e Eficiência Energética, Simões 2016 temos no capítulo 10 de energia térmica que:

Ligação em série:  $\Delta T_1 > \Delta T_2 > \Delta T_3$

Ligação em paralelo:  $\Delta T_1 \cong \Delta T_2 \cong \Delta T_3$

A ligação em série se comparado a paralela, se mostra menos custosa devido a menos ligações hidráulicas, menos acessórios e menor utilização de cotovelos e canos. Outro porém é a facilidade na ligação, bastando ligar a saída de um coletor com a entrada do coletor seguinte. Porém a desvantagem é que, existe um limite de absorção solar dos coletores e a quantidade de perda em cada coletor, sabe-se que a variação de temperatura na ligação em série diminui de um coletor para o outro, e quando os coletores do início da série chegam na temperatura final da capacidade do coletor, os últimos coletores já não terão tanta funcionalidade e aproveitamento, dessa forma, restringindo também a maior número de coletores. Já a ligação em paralelo funciona de uma forma, onde os coletores trabalhem de forma conjunta aquecendo maior volume de água em menor tempo, dando mais rendimento. A ligação em paralelo de canais, somente pode ser feito em determinados coletores que possuem uma construção diferenciada.

Segue os prós e contras de cada uma, conforme tabela 2.4 a seguir :

Vantagens	Série	Paralelo	Paralelo de canais
Possui baixo custo de instalação	✓	x	✓
Instalação é simples	✓	x	✓
É possível fazer em qualquer coletor	✓	✓	x
Possui maior rendimento	x	✓	✓
Pode-se utilizar em maior número de coletores	x	✓	x
Menor perda de carga	x	✓	✓

Desvantagens	Série	Paralelo	Paralelo de canais
Menor rendimento	✓	x	x
Maior perda de carga	✓	x	x
Custo mais elevado	x	✓	x
Instalação menos simples	x	✓	x
Instalação somente em coletores de 4 entradas	x	x	✓
Limite de coletores máximos	✓	x	✓

Tabela 2.4. Vantagens e vantagens de tipos de arranjos.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados. ABRAVA 2014

Mas pode-se utilizar de um arranjo misto entre série e paralelo, dependendo das condições e do local a serem dispostos. Porém para que não haja perda térmica também é preciso tomar cuidado na instalação para que não torne a passagem de retorno invertida e assim percorrer maior caminho e maiores perdas.

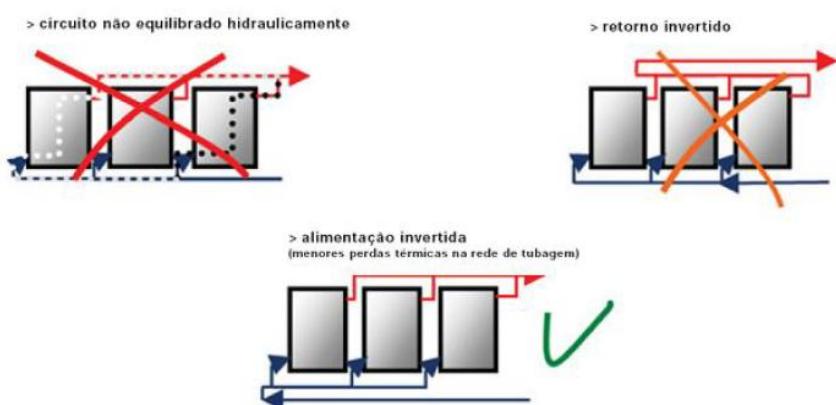


Figura 2.19. Esquema de ligação entre os coletores  
Fonte: ABRAVA, 2014

Dado as características, para o hotel o arranjo misto de série e paralelo, seria ideal devido ao número de coletores que serão instalados e para melhor aproveitamento de rendimento, já que área é um pouco restrita em questão de largura, limitando em quatro coletores um do lado do outro.

## 2.6 Configurações do Sistema

O sistema de aquecimento também permite diversas configurações. No APENDICE B desse trabalho pode-se encontrar mais configurações existentes. Com foco no trabalho e aproveitando o sistema existente (figura 11), no hotel a configuração mais indicada para o aquecimento de água seria o de sistema de acumulação e apoios individuais para manter as ligações pré-existentes e diminuir o custo de instalação. Porém essa seria uma ilustração do sistema, já que para o hotel, existe uma outra distribuição na saída de água quente, conforme tabela 5.

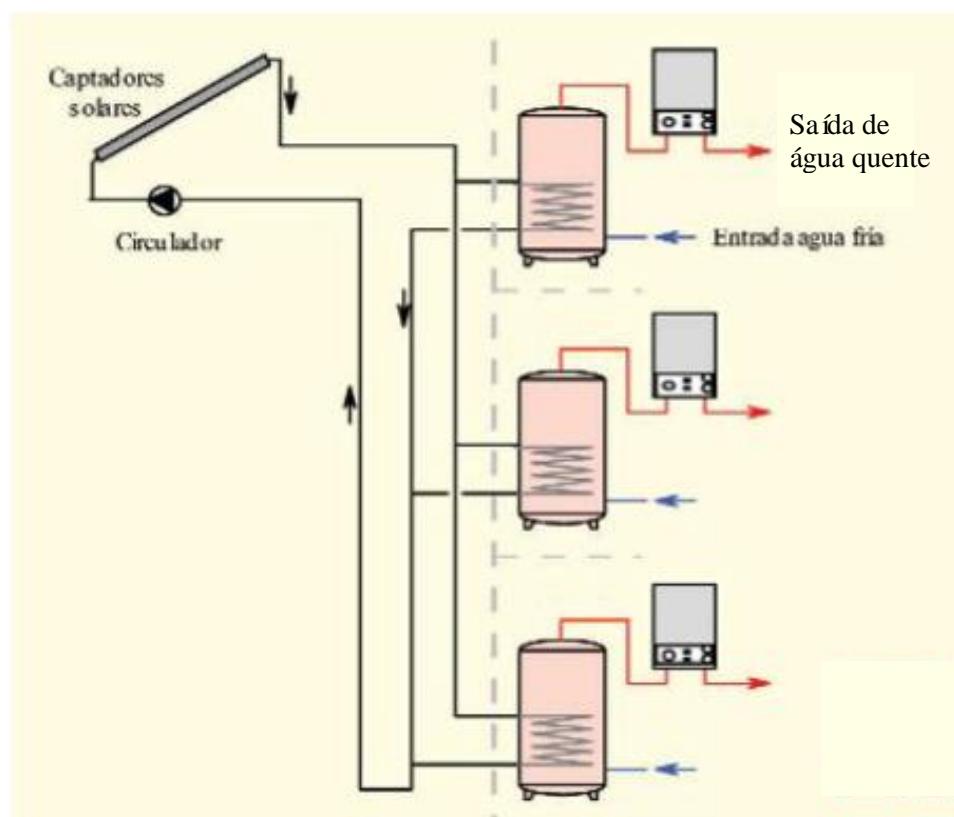


Figura 11. Configuração do sistema de aquecimento térmico solar  
Fonte: ABRAVA, 2014



## 2.7 Leis, Incentivos e benefícios

Em 3 de julho de 2007, em São Paulo, foi decretado a Lei n° 14.459 conforme a citação abaixo:

Acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei n° 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo.

Onde, segundo a lei municipal, fica obrigatório a instalação do sistema de aquecimento de água através da energia solar no município de São Paulo separada em duas categorias as residenciais e as não-residenciais. Sendo as não-residenciais, hotéis, motéis, clubes, indústrias, hospitalares, escolas entre outras. Caso não haja viabilidade técnica para instalação do sistema é necessário provar a inviabilidade através de um estudo técnico de um profissional habilitado.

As energias renováveis são alternativas para combustíveis fósseis, que por sua vez, são energias limitadas que irão acabar em algum momento. As energias renováveis são muito relevantes nos dias de hoje, sabendo que são vantajosas e trazem muitos benefícios seja financeiramente e para o meio ambiente, a ANEEL criou a resolução normativa 482 em 2012 e atualizou em 2015 para a resolução 687 para incentivar e facilitar as instalações de mini e micro gerações. Na RESOLUÇÃO 687 da ANEEL, 2015 mostra que da resolução 482 para 687 ficaram como principais alterações é que a micro geração passou de 100kW para menor ou igual a 75kW de potência instalada ou cogeração qualificada. E a mini geração acima de 75kW e abaixo de 5MW de potência instalada. Também foi adicionado benefício para empreendimento com múltiplas unidades consumidoras onde os créditos energéticos gerados podem ser divididos entre os condôminos. Geração compartilhada, que caracteriza através da reunião de múltiplos consumidores, dentro da mesma área de concessão, por meio de consórcio ou cooperativa e o autoconsumo remoto, que são pessoa física ou jurídica que possui mais de um imóvel na mesma área de concessão e que pode receber o benefício da energia excedente de um imóvel para outro.



### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Apresentação do Hotel Luz Plaza



Figura 3.1. Hotel Luz Plaza

Fonte: Autor

O hotel fica localizado no centro da região metropolitana de São Paulo com latitude -23.5326055 e longitude,-46.6370949,20.63, considerado 4 estrelas, está entre os melhores hotéis da região com ótima avaliação por parte dos clientes e hóspedes.

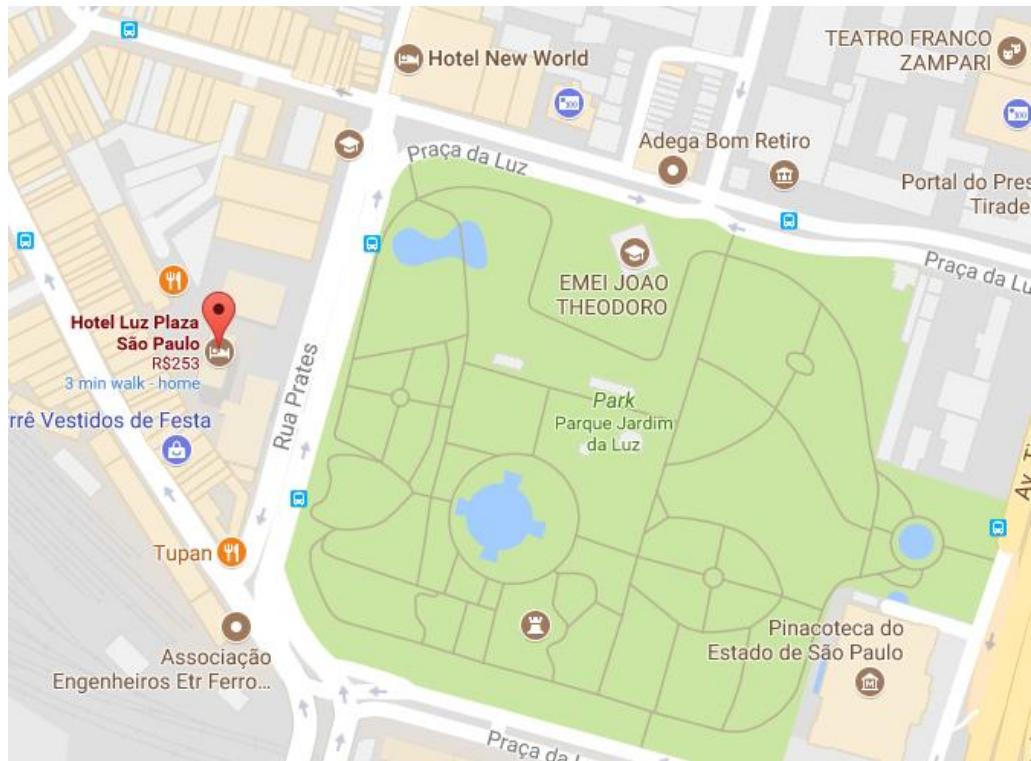


Figura 3.2. Mapa do hotel

Fonte: Googlemaps

A média geral de hóspedes recebidos no ano de 2017 foi por volta de 52 hóspedes diários e de 1495 ao mês. Podendo notar que meses de dezembro, janeiro e junho são de menor demanda no hotel. Ao contrário do que ocorre em hotéis turísticos e de passeio, o hotel em questão, possui maior demanda ao longo do ano letivo, que é formado em grande parte por pessoas que vêm para São Paulo à negócios, trabalhos ou ainda entretenimento, como turnês de shows, Carnaval e festas que ocorrem em São Paulo.

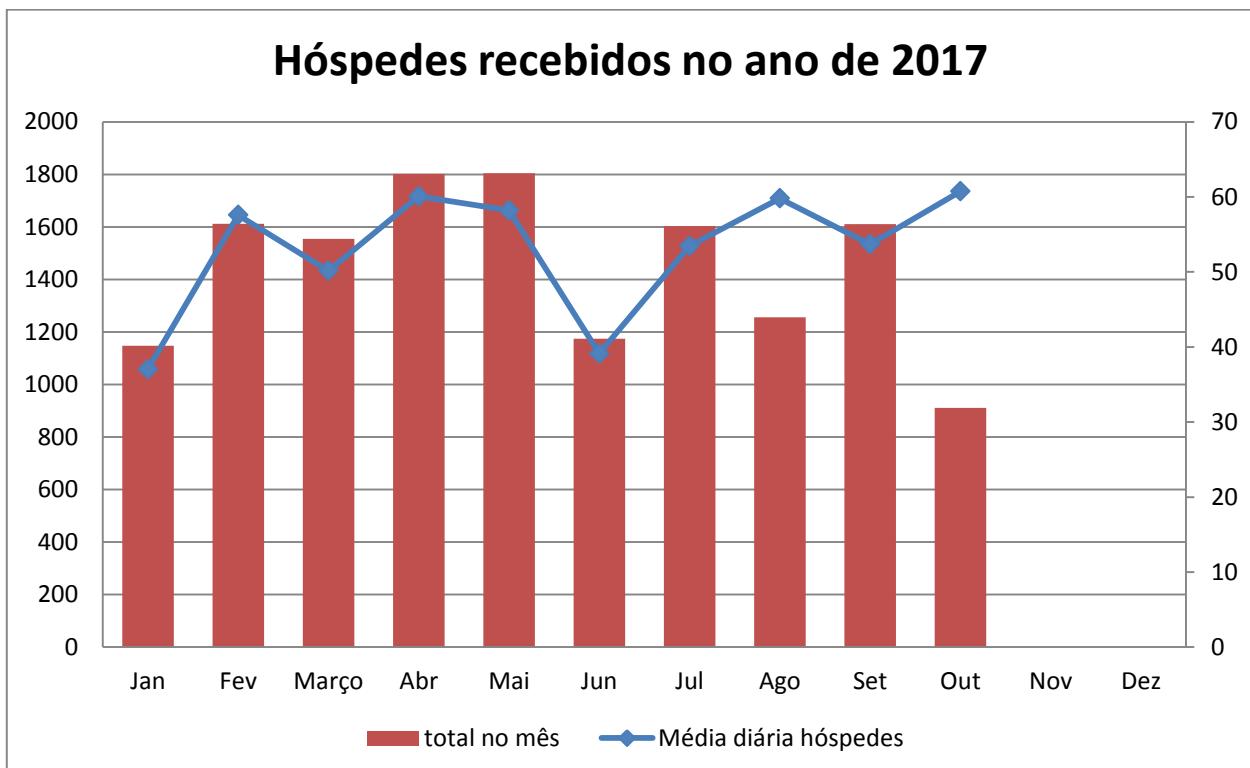


Figura 3.3. Hóspedes recebidos em 2017  
Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados fornecidos pelo hotel.

O Hotel é composto de:

- 102 suítes para hóspedes com disposição de frigobar, secador e ar-condicionado;
- restaurante;
- piscina à temperatura ambiente, ao ar livre;
- Spa – Com aquecedores e locais para massagens e descanso  
No spa ainda existem 5 saunas (3 secas e 2 a vapor), 9 chuveiros, 1 piscina aquecida e 1 ofurô;
- 3 cozinhas uma cozinha de frios e uma cozinha central (servido os cafés da manhã, almoços e jantares) e uma cozinha para servir no Spa;
- bar lounge;
- 4 salões para eventos, conferências e reuniões.
- Dentre outros espaços, como salão de espera, estacionamentos, por exemplo.

O hotel já possui um sistema de aquecimento, a gás para redução e economia de energia elétrica, já que nos tempos de hoje o gás sai muito mais barato que a energia elétrica. E os

aquecedores são de passagem, não sendo necessária a utilização de um reservatório para manter a água aquecida, pois seu aquecimento é feito no momento do acionamento da água (ligando a torneira ou o chuveiro diretamente). Porém existem ainda sete reservatórios de 500 litros cada para manter a temperatura e a demanda solicitada aquecida em caso de sobrecarga na utilização de água quente. Para implementar um sistema de aquecimento solar térmico é necessário o uso de reservatórios que terão como backup o uso de energia elétrica para manter a temperatura da água já aquecida no reservatório, para ser utilizado em dias que não houverem a incidência solar ou como complemento para o sistema já existente. O sistema térmico solar funciona de forma parecida com os sistemas de aquecimento por acumulação, que armazena a água aquecida através de um boiler. Trazendo a grande vantagem de a água poder ser utilizada quente de imediato, assim que houver o acionamento do mesmo. E ainda é vantagem para quem possui problemas com pressões baixas vindo da rede da concessionária de água. Em contrapartida para casas que não possuem espaços suficientes para disponibilizar um espaço para o reservatório ou boiler procuram utilizar-se de aquecedores de passagem.

A demanda necessária para aquecimento de água são:

- Aquecimento da água da piscina;
- Chuveiros e pias dos 102 apartamentos ;
- Spa (Contam com 8 chuveiros, piscina, ofurô e 4 saunas);
- Pias do restaurante.

### 3.2 Equipamentos para aquecimento a gás do Hotel

O hotel conta com um sistema de aquecimento a gás de alta pressão, utilizando-se de bombas para suprir demanda das suítes. A configuração do sistema a gás é a seguinte:

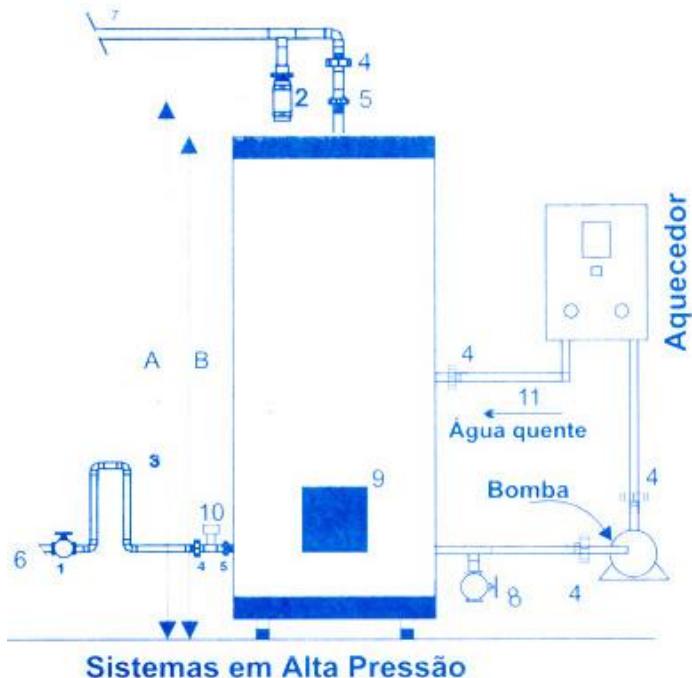


Figura 3.4. Esquema do sistema de alta pressão  
Fonte:Brasiltec

Para aquecimento, o hotel conta com, com nove aquecedores a gás GN no total e sete reservatórios de água quente, sendo separado e utilizado da seguinte forma:

São quatro aquecedores de 32,5l/min da Rinnai, modelo reu2402fec1 (informações tabela 4). Dois deles atendem a demanda dos quartos do 1º ao 8º andar e dois atendem a demanda do 9º ao 16º andar, trabalhando à uma temperatura de cerca de 43°C. E são quatro reservatórios de 500 litros cada, dois sendo utilizado para a demanda do 1º ao 8º andar e dois do 9º ao 16º andar. Entendendo que são no total 102 suítes com média de sete quartos por andar. Para cada andar seriam necessários 82l/min. Com a soma da capacidade dos reservatórios dariam 2000 litros de água aquecida que seriam oferecidas. De forma hipotética se todas as suítes utilizassem ao mesmo tempo o chuveiro teríamos 1230 litros por minuto. Assim possuindo uma pequena margem para uso no minuto seguinte. Mas como se trata de um hotel localizado no centro de São

Paulo, diferentemente de uma pousada no litoral, que exigiria o suprimento da demanda total. O sistema atual consegue atender de forma confortável a demanda exigida.

#### Aquecedor a Gás Rinnai

Rendimento	0.84	%
Capacidade de vazão	34	l/min
Potência nominal	53.7	kW
Consumo máximo de gás	4.84	m <sup>3</sup> /h

Tabela 3.1. Dados técnicos dos aquecedores existentes

Fonte: Elaborado pelo próprio autor. Informações do próprio equipamento.

Cinco aquecedores de 10,4 l/min Saturn, modelo kdb251go. Sendo que quatro atendem o segundo andar onde se encontra o SPA para homens, sendo dois deles para a demanda de oito chuveiros, uma para o ofuro e outra para os fancoletes para aquecimento de ambiente. E uma é direcionada para utilização da demanda da cozinha central.



Figura 12 Aquecedores a gás Rinnai



Figura 3.6 Aquecedor Saturn

Considerando vazão de 12 litros por chuveiro seriam necessários para 8 chuveiros cerca de 96 l/min para suprir a demanda. Porém como se trata de um SPA e com utilizações periódicas e sazonais, raramente ocorre uma superlotação e o uso simultâneo de todos os chuveiros, mas ainda assim

existem dois reservatórios de 500 litros que armazenam a água aquecida como “backup”. Também estão dispostos cinco fancoletes distribuídos no SPA.

MODEL NUMBER	161 GOM	201 GOM	251 GOM	301 GOM				
Function	Combo Boiler							
<b>CENTRAL HEATING WATER</b>								
Construction of Heat Exchanger								
Heat Output	(kcal/hr)	6,400 ~ 16,000	8,000 ~ 20,000	10,000 ~ 25,000	12,000 ~ 30,000			
Max. Efficiency	(%)	82	82	83	84			
Temperature Setting Range	(°C)	40 ~ 80						
Maximum Working Pressure	(kgf/cm <sup>2</sup> )	3						
Pre-Charged Expansion Tank	(liter)	6.5	6.5	8.5	8.5			
Circulation Pump		Self Priming						
Freeze Protection Device		Thermistor						
<b>DOMESTIC HOT WATER</b>								
Heat Output	(kcal/hr)	6,400 ~ 16,000	8,000 ~ 20,000	10,000 ~ 25,000	12,000 ~ 30,000			
Max. Temperature Setting	(°C)	80						
Continuous DHW production	(liter)	10.7	13.3	16.7	20.0			
Continuous DHW production	(°C) = 33	(liter)	8	10.0	12.5			
Continuous DHW production	(°C) = 40	(liter)	6.7	8.3	10.4			
Continuous DHW production	(°C) = 50	(liter)	5.3	6.7	8.3			
Maximum Working Pressure	(kgf/cm <sup>2</sup> )	17.5						
<b>OTHER DATA</b>								
Gas Type		Liquefied Petroleum (L.P.) or Natural Gas						
Gas Consumption - LP	(kg/hr)	1.58	1.98	2.48	2.97			
Gas Consumption (natural gas)	(kcal/hr)	19,000	23,700	29,700	35,600			
Gas Inlet Supply Pressure	(natural: kPa)	(min - max)	0.98 ~ 2.45					
Manifold Pressure	(kPa)	0.16 ~ 0.92	0.16 ~ 0.96	0.25 ~ 0.94	0.14 ~ 0.96			
Usage (Heating & Hot Water)		Dual						
Water Storage Capacity	(liter)	0.7	0.7	0.8	0.8			
Power	(volts/cycle)	AC 220V-50Hz						
Power Consumption	(watts)	120 ~ 160						
Ignition		ELECTRONIC						
NOx Emissions	(Ref:0%, O <sub>2</sub> in flue gas natural gas, ppm)	28 (less than)						
Temp. of Exhaust Gas	(°C)	150 (less than)						
<b>WEIGHT AND DIMENSIONS</b>								
Net Weight (lbs)		31	31	39	39			
A Physical Dimensions: Height	(mm)	630.0	630.0	685.0	685.0			
B Width	(mm)	485	485	525	525			
C Depth	(mm)	235	235	250	250			
D Connection: Gas Inlet		15A, 1/2"	15A, 1/2"	20A, 3/4"	20A, 3/4"			
E Connection: Heating Water	Supply/Return	20A, 3/4"						
F Connection: Domestic Hot Water	Supply/Return	15A, 1/2"						
G Connection: Primary Power	(AC220V-50Hz)	15A, 1/2"						
H Flue Diameter (Intake / Exhaust)	(mm)	70 / 75						

Tabela 3.2. Especificação técnica aquecedor de água Saturn

Fonte: Saturn



Figura 3.7. Fancoletes para aquecimento de ambiente

Fonte: Autor



Figura 3.8 Controlador de temperatura

Fonte: Autor



Figura 13. Reservatório de 500L

Fonte: Autor

Um spa com uma pequena piscina aquecida e quatro saunas, sendo dois a vapor e dois a seco oito chuveiros. Também existe uma piscina aberta, lavanderia entre outros espaços.

Os reservatórios térmicos se encontram no segundo subsolo abaixo do estacionamento de veículos, na calderaria.

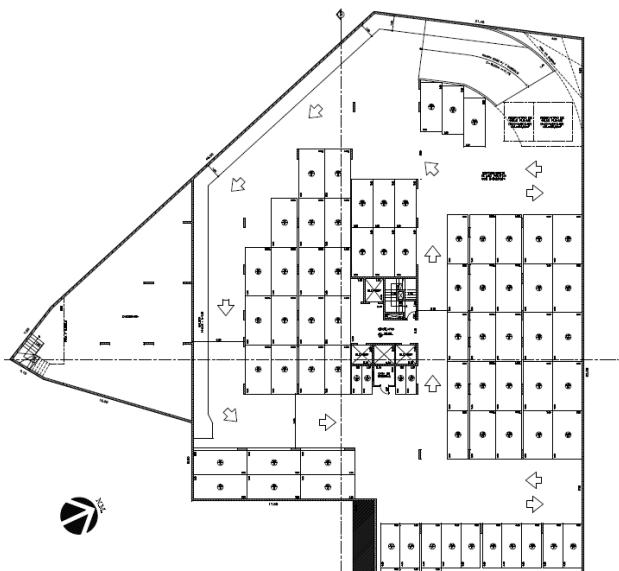


Figura 14. Planta do 1 Subsolo

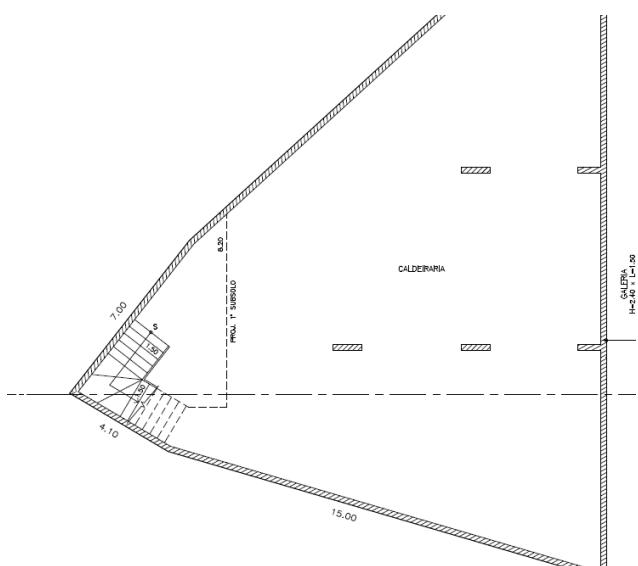


Figura 3.11. Imagem ampliada, calderaria abaixo do primeiro subsolo

Segundo a ANAAP, a temperatura usual das piscinas aquecidas são de 29°C~30°C, porém a piscina do SPA do hotel que tem como função terapêutica, necessita manter a temperatura por volta dos 40°C. Dessa forma o coletor solar para piscina, ou coletor do tipo aberto não se aplica para esse caso.

A piscina aquecida possui 8m<sup>3</sup> de volume de água.



Figura 3.115 - Piscina aquecida do SPA  
Fonte: Foto do SPA

Abaixo quantidade de equipamentos para o aquecimento e fornecimento de água quente.

<b>Qtd</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área atendida</b>
4	Aquecedor	32.5l/min	reu2402fec1	divido 2 do 1º subsolo ao 8º andar /2 9º ao 16º andar
3	Aquecedor	10.4l/min	kdb 251go	2 para o segundo andar e 1 cozinha central
7	Tanque de armazenamento de água quente	500L		Todo o prédio

Tabela 3.3. Equipamentos utilizados para aquecimento térmico a gás

Fonte: Extraído da gestão de patrimônios do hotel

## 3.2 Demandas do Hotel

### 3.2.1 Demanda Energética Geral do Hotel

O hotel consome hoje cerca de 50MW por mês, e possui uma demanda contratada de 150kWh mensais.

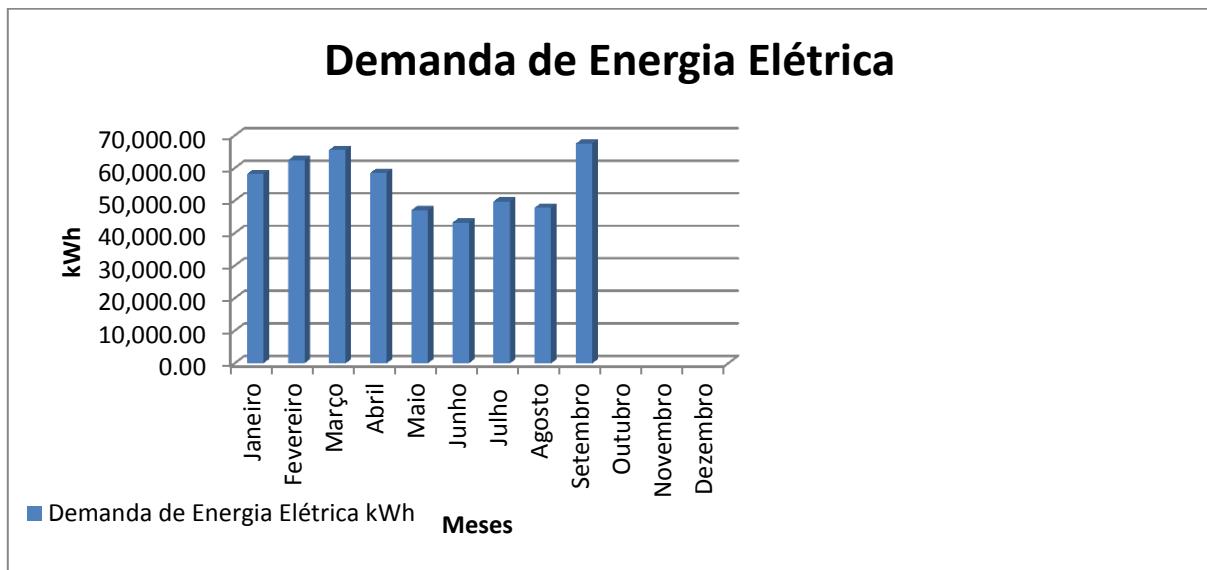


Figura 3.12 Variação do consumo de energia elétrica

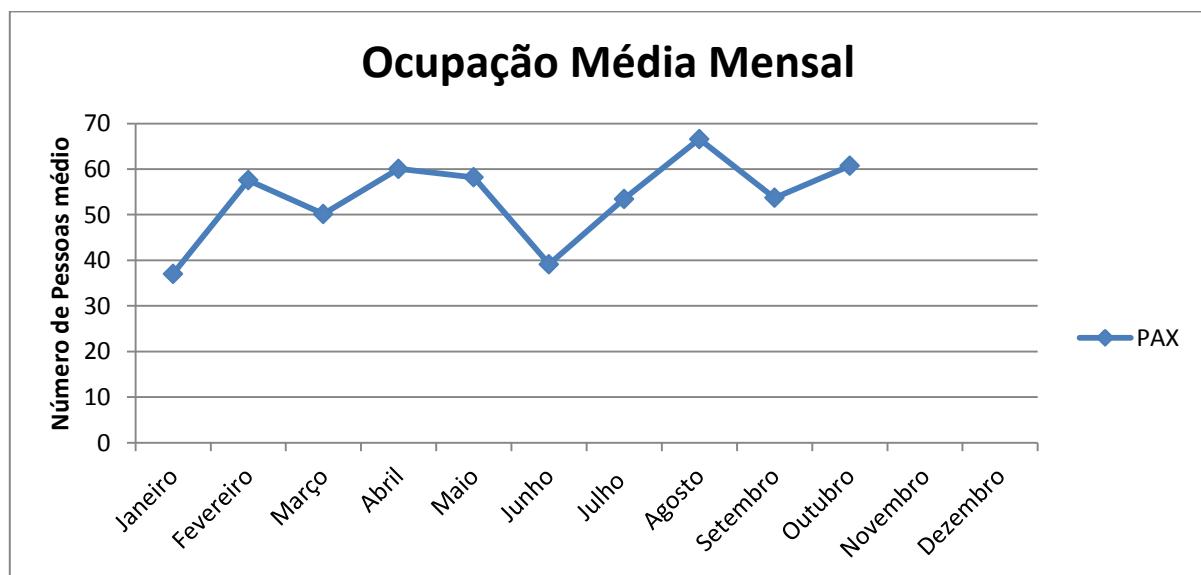


Figura 3.13 Ocupação do hotel ao longo dos anos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dados das demandas de Novembro e Dezembro não haviam sido repassadas pela administração do hotel.

Podemos notar que a ocupação do hotel acompanha a utilização de energia elétrica do hotel. Salvo os meses de Março e Agosto que foram atípicos devido a grande utilização dos espaços e salões de eventos existentes no hotel. Diferentemente de hotéis resorts e pousadas, o hotel que se encontra na região metropolitana, não possui grande demanda em épocas de recesso e temporadas para viagem.

### 3.2.2 Demanda de Gás

A demanda de gás está sendo dividida entre a cozinha, na utilização do preparo dos alimentos aquecendo os mesmos e no aquecimento de água. O aquecimento de água é voltado para uso de banho, e de todos os pontos de pia das suítes, inclusive nas pias das cozinhas e também para o aquecimento da piscina do spa e dos chuveiros.

A vazão de gás utilizada para a cozinha e para o aquecimento de água não possui aferição separada. Dessa forma é necessário fazer uma estimativa de utilização da demanda para o aquecimento de água, conforme a ocupação das suítes e do spa.

Por se tratar de uma avaliação de eficiência econômica foi optado o estudo de alguns casos como, suprimento total da demanda de gás e suprimento parcial para atender apenas parte do volume e utilização de coletores solares planos e/ou tubos a vácuo.

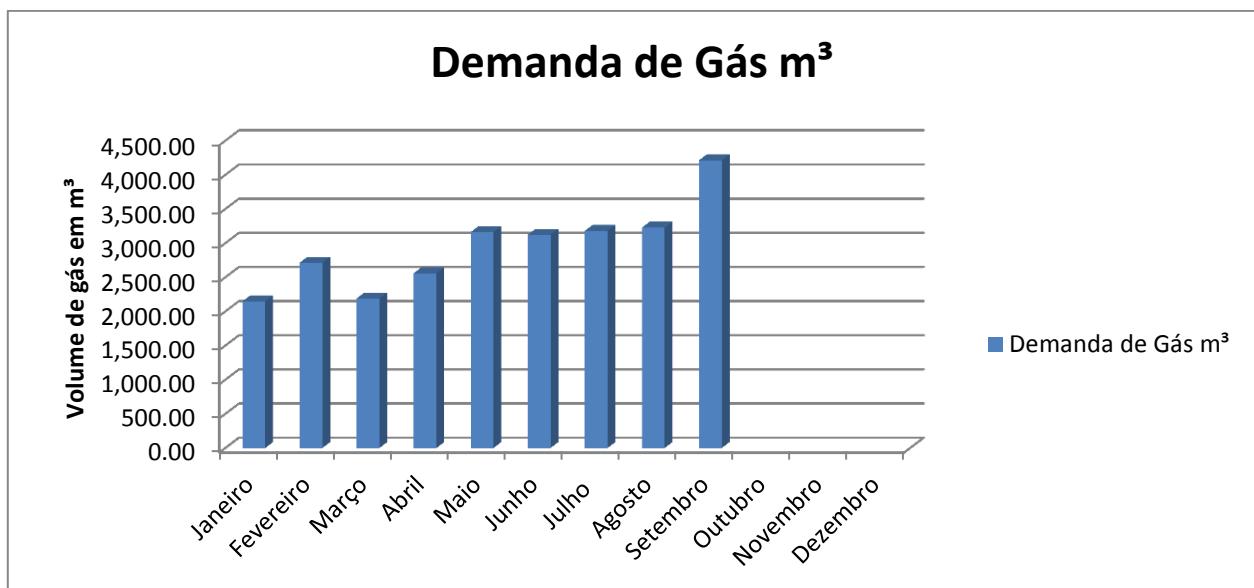


Figura 3.24 - Demanda de gás ao longo do ano <sup>2</sup>  
Fonte: Elaborado pelo autor, com dados fornecidos pelo hotel

Por ser um hotel comercial no centro da cidade metropolitana, geralmente cada quarto é utilizado por uma pessoa, que vêm à São Paulo para negócios ou a trabalho, diferentemente de hotéis e pousadas turísticos que possuem capacidade de receber famílias inteiras no quarto. O bairro do Bom Retiro, onde fica localizado o hotel, também é conhecido como bairro coreano onde mora ou existem grande parte do comércio e da comunidade coreana como mercearias, lojas e dentre outros, o que por consequência acaba que uma parte da

<sup>2</sup> Dados das demandas de Outubro, Novembro e Dezembro não haviam sido repassadas pela administração do hotel.

demanda do hotel é de hóspedes coreanos vindo de outros países, e por curiosidade, inclusive recebeu algumas delegações de esportes na época das olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro.

O consumo mensal médio utilizado pelo hotel é de 2967,25m<sup>3</sup> o que dá em torno de 98,92m<sup>3</sup> diários. Podemos notar que dos meses de Fevereiro à Maio o consumo do gás embora tenha acompanhado o número de hóspedes no hotel a demanda foi menor. Isso deve ao fato da temperatura ainda estar quente nessa época do ano.

Outro ponto atípico que pode-se notar são os maiores consumos de gás em relação ao número de hóspedes nos meses de junho e julho. Isso se deve pois o hotel disponibiliza salas de reuniões e salões para eventos, esses meses houve grande demanda de utilização desses espaços, exigindo utilização da cozinha para preparo de alimentos e aquecimento de água.

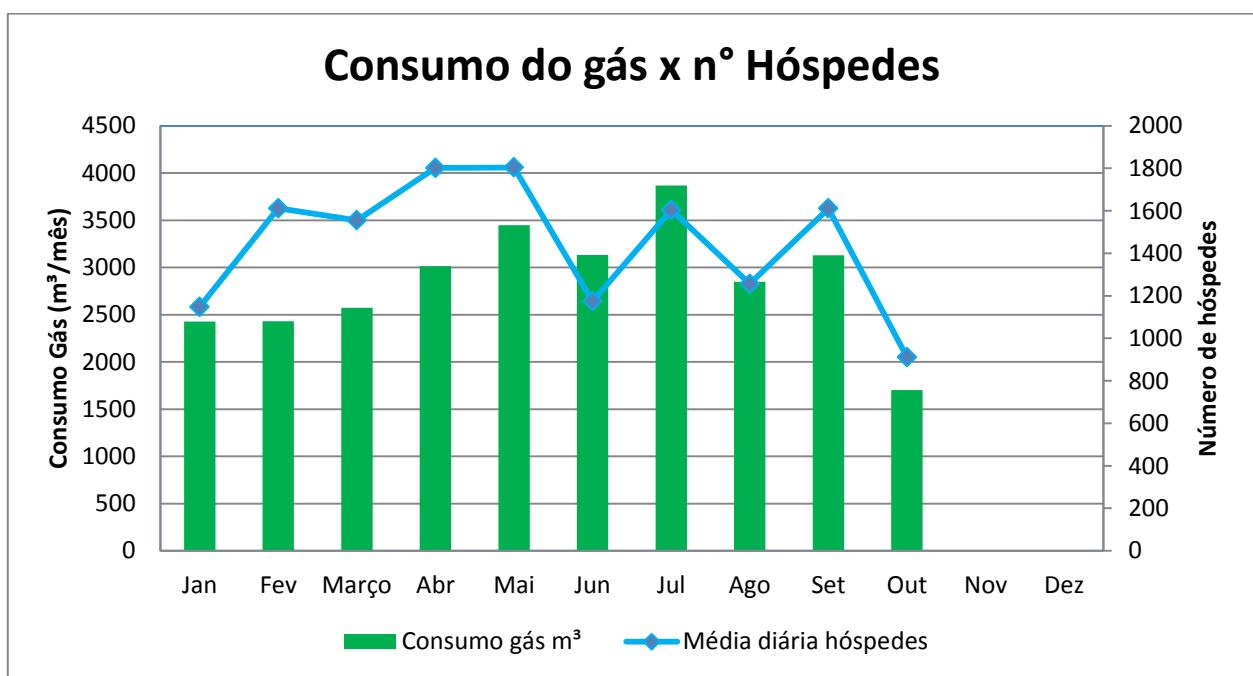


Figura 3.15. Consumo gás x Hóspedes mensal<sup>3</sup>  
Elaborado pelo autor

<sup>3</sup> Dados da demanda estavam incompletas até o fechamento do trabalho.

## Consumo de gás para cada local

Como não existe medição a gás separadamente entre: Cozinha, aquecimento para banho e spa, fez-se o dimensionamento através da demanda do local com a tabela 17 de referência para o consumo médio de água quente, fornecido pela ABRAVA.

Consumo médio de água quente sem desperdícios	
Pontos	Consumo diário (médio) *
Ducha	50 a 80 litros/pessoa
Lavatório	5 a 7 litros/pessoa
Cozinha	20 a 30 litros/pessoa
Lavanderia	20 a 30 litros/Kg de roupa seca
Banheira	100 a 200 litros/pessoa

\*Consumo diário médio: para efeito prévio de cálculo, devendo ser analisados as vazões corretas de cada ponto de consumo x tempo de utilização.

Tabela 3.4. Tabela de referência para consulta e dimensionamento.  
Fonte: ABRAVA, 2014

De maneira de que com os dados da tabela 12 fornecida pelo empreendimento: da rotatividade de hóspedes, de clientes que passaram pelo spa, do refeitório e ainda os lançamentos de alimentos e bebidas, juntando com a refeição dos colaboradores. E utilizando a tabela 17 de referência, se conseguiu o consumo em litros de água quente consumido por cada espaço.

TIPO	Litros (L)
SPA Nº DE CLIENTES	8510.526
HOSPEDAGEM	25488.49
CAFÉ	3184.194
REFEITORIO	3500
LANÇAMENTOS A&B	2432.763
<b>Total</b>	<b>43115.97</b>

Tabela 3.5. Volume de água quente consumido diariamente.  
Autor: Elaborado pelo autor, dados do Hotel utilizando a tabela 17 ABRAVA

Com os dados técnicos do aquecedor a gás, tabela 4 e o volume de água quente consumido pelo hotel temos:

Vazão de 34l/min ou 2040l/h consumindo 4,84m<sup>3</sup>/h. Fazendo uma regra de três encontramos o consumo de gás máximo para o volume total de água quente de 43.116 litros. Dando o consumo total por volta de 103m<sup>3</sup> de gás diário. Dessa forma mostrando que o cálculo se aproxima do medido pelo hotel

- ❖ Cozinha: A cozinha está contando, para aquecimento de água com temperatura de cerca de 70°C para máquinas de lavar louça, porém a água disponibilizada pelo sistema seria complementar elevando a temperatura até os 43°C e a máquina aqueceria a temperatura restante necessária, economizando energia:
  - Alimentos e bebidas em geral entregue nos quartos;
  - café da manhã, almoço e janta, no refeitório.
  - quatro pontos de pias aquecidas para limpeza de pratos, talheres, utensílios de cozinha e máquina de lavar louças.
- ❖ Banho: A partir da temperatura ambiente, o aquecimento para banho, considerando as perdas, é de até 43°C. Considerando que cada quarto é utilizado por uma pessoa ou no máximo de duas pessoas, e sabendo que a vazão é de 12 l/min por ducha e que cada banho dura em média 15 minutos temos o total 180 litros. Na especificação do aquecedor a gás encontramos dados como, potência de 53,7kW ou 46,143kcal/h para aquecimento, 4,84m³/h de consumo máximo de gás, dessa forma então temos:

$Pot = \frac{46,143}{60} = 0,76\text{kcal/min}$  ou  $Pot_{total} = 0,76 * 15 = 11,4\text{kcal} = 13,26W$  por quarto. Com tempo médio de 15 minutos de ducha, ou seja  $\frac{1}{4}$  de hora utiliza-se:

$$\frac{4,84}{4} = 1,21\text{m}^3 \text{ de gás por quarto.}$$

São no total 102 suítes, assim teríamos:

$$\text{Consumo} = 1,21 * 102 = 123\text{m}^3 \text{ utilizados no total para banho nas suítes.}$$

Lembrando que, embora o hotel disponha de 102 suítes dificilmente chega a lotação máxima e consequentemente ocorre a simultaneidade de uso. Outro porém, é que alguns hóspedes, aproveitam a utilização do spa para tomar banho diminuindo mais o consumo nas suítes de água quente.

- ❖ Spa: O spa dispõe para aquecimento de 8 chuveiros e uma pequena piscina terapêutica. Assim como no banho a temperatura necessária para banho e de aquecimento apartir da temperatura ambiente é de 43°C.

Juntando as informações sabemos que a maior parte utiliza fica por conta da hospedagem com 59%. Seguido da cozinha que devido ao aquecimento dos alimentos, de todas as refeições, incluso as refeições dos colaboradores do hotel e alimentos e bebidas em geral

com 53%. E por fim a demanda no spa de 20%. As saunas do hotel se utilizam de aquecimento elétrico por resistência, dessa forma não demandando aquecimento de água e nem por gás.

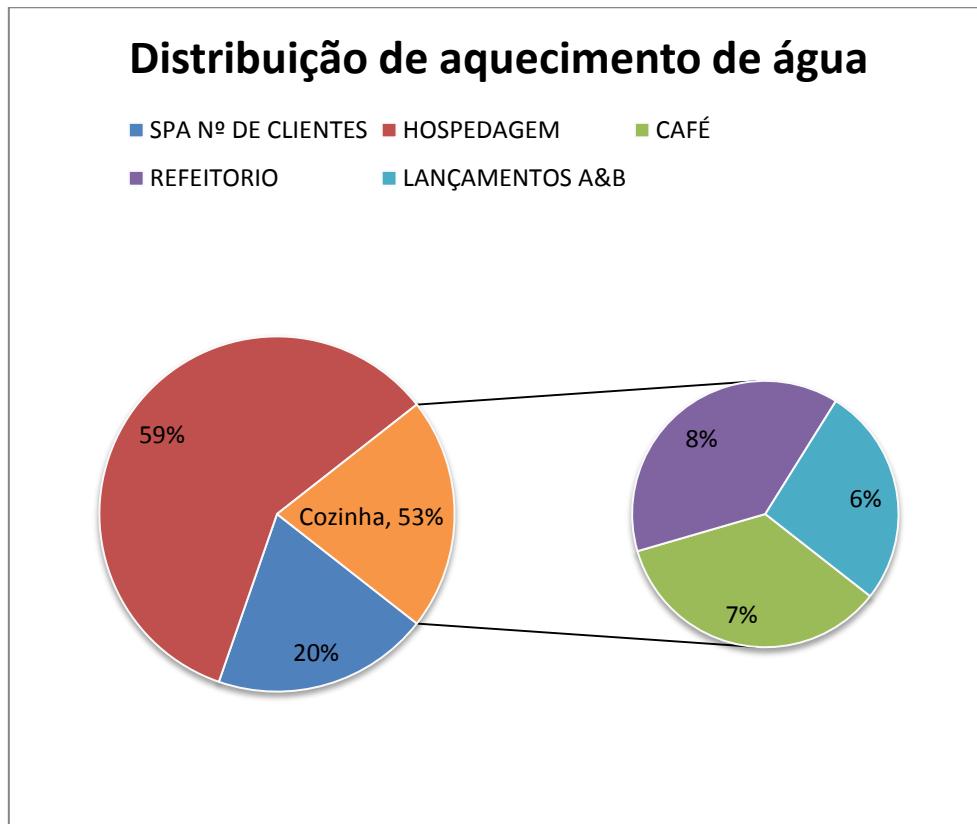


Figura 3.16. Distribuição da demanda de água quente  
Fonte: Elaborado pelo autor



### 3.2.3 Consumo de Água

A água junto com a energia elétrica é um dos maiores gastos de insumos do hotel. A água é essencial para limpezas, consumo, banhos e entre outros.

O consumo de água do hotel está entre:

- O uso nos banheiros como chuveiro, pias e descargas;
- Cozinha: Pias, higienização dos alimentos, limpeza;
- Spa: Chuveiros, piscina, ofuro, pias e saunas.
- Áreas comuns: irrigação da jardinagem, estacionamento e limpeza das áreas do lobby etc.

Porém para se ter idéia da real utilização da água, pode-se comparar os gráficos de demanda de água e de gás nota-se que a demanda de água mensal acompanha o volume de gás utilizado. Dando indícios, assim que a maior parte do gás utilizado é para o aquecimento de água. Salvo algumas exceções onde no mês de Fevereiro houve um salto significativo do consumo de água, devido ao vazamento que ocorreu na prumada do spa e no mês de março a boia de comando do reservatório de água travou acarretando num maior consumo de água.

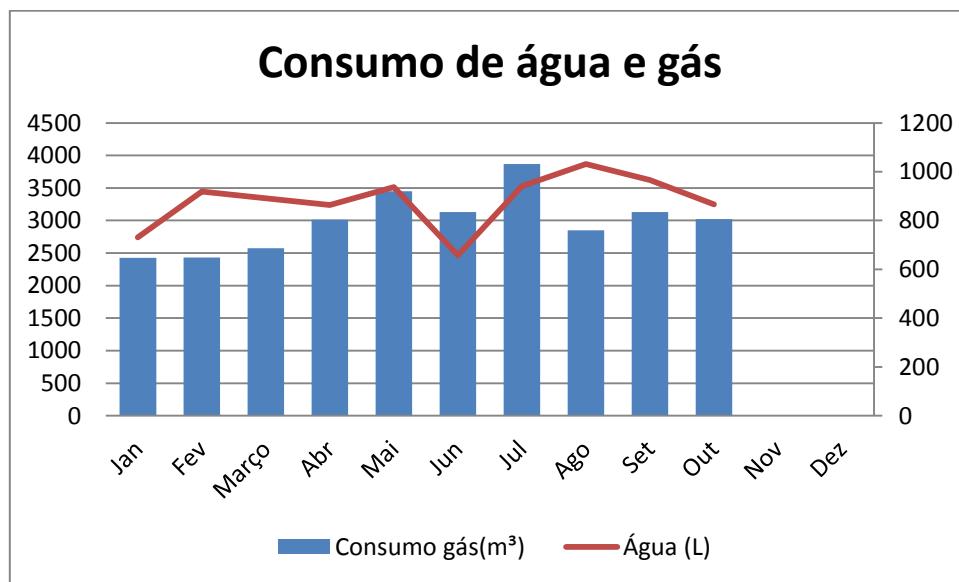


Figura 3.17. Comparativo de uso água e gás.  
Elaborado pelo autor, com dados do hotel

Segundo informações encontradas no site da SABESP(2017), o consumo mensal de cada pessoa é de 3,3mil litro de água, o que daria cerca de 110 litros de água por pessoa para higiene e consumo.

No Brasil o consumo o consumo chega a 200 litros diários. Com isso será dividido o consumo entre banheiros das suítes, cozinhas e spa, para que assim, se possa entender a demanda de água aquecida necessária.

BANHEIRO	Tempo de utilização (min)	Volume de Água (L)
<b>Banho de ducha</b>	15	135
<b>Banho de Chuveiro</b>	15	45
<b>Escovar os dentes</b>	5	12
<b>Lavar o Rosto</b>	1	2.5
<b>Barbear</b>	5	12
<b>Descarga</b>	0.1	6

Tabela 3.6. Demanda de água no Banheiro

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do site da SABESP

COZINHA	Tempo de utilização (min)	Volume de Água (L)
<b>Torneira</b>	15	117
<b>Lavadora (44 utensílios e 40 talheres)</b>	15	40
<b>Alimentos (Higienização por kg de alimento)</b>	5	12

Tabela 4. Demanda de água na cozinha

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do site da SABESP

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Área disposta do hotel

Existem diversas lajes impermeabilizadas no hotel, tanto no topo de cada lado da torre do empreendimento como no 2º pavimento que fica na fachada frontal do hotel. E outra no 3º pavimento na fachada traseira do hotel. Totalizando quatro setores pré-disponíveis para instalação de coletores solares. As áreas foram nomeadas como: Área 1 é do topo da torre da esquerda (olhando frontalmente), área 2 é do topo da torre direita, área 3 da laje frontal no segundo pavimento e área 4 da laje traseira do terceiro pavimento.



Figura 3.18. Imagem de satélite vista em 3D.  
Fonte: GOOGLEMAPS Satelite, 2017

O hotel está posicionado com a fachada lateral esquerda para o Norte Geográfico.

Com isso estão disponíveis para instalação de coletores térmicos solares o total de 464,2m<sup>2</sup> de área. Sendo composto de Área 1 com 119,80m<sup>2</sup>, área 2 com 132,3m<sup>2</sup>, área 3 com 121,18m<sup>2</sup> e área 4 com 90,88m<sup>2</sup>.

Faixada	Áreas pré-disponíveis (m <sup>2</sup> )
1 Frontal	119,798
2 Traseiro	132,335
3 Torre1	121,182
4 Torre 2	90,8865
<b>total</b>	<b>464,2015</b>

Tabela 3.8 Áreas disponibilizadas para disposição de coletores solares

### Características dos espaços disponíveis no hotel

Área um. É o local ideal do hotel para dispor os coletores solares pois existe um sistema hidráulico, calderaria, bombas, aquecedores a gás e reservatórios próximo no segundo subsolo do edifício. Permitindo menor custo de instalação e materiais e também devido ao fácil acesso para instalação dos coletores no local. Além de estar recebendo a maior parte solar. Mas embora a área possua quase 120m<sup>2</sup>, já existem nos cantos da laje condensadores dos ar-condicionados dispostos no local, diminuindo o local para 96m<sup>2</sup> de área útil para instalação dos coletores. Em conversa com os técnicos do empreendimento existe uma pré-disposição de alterar os condensadores de local caso seja necessário.



Figura 3.19. Ampliação da imagem da área 1

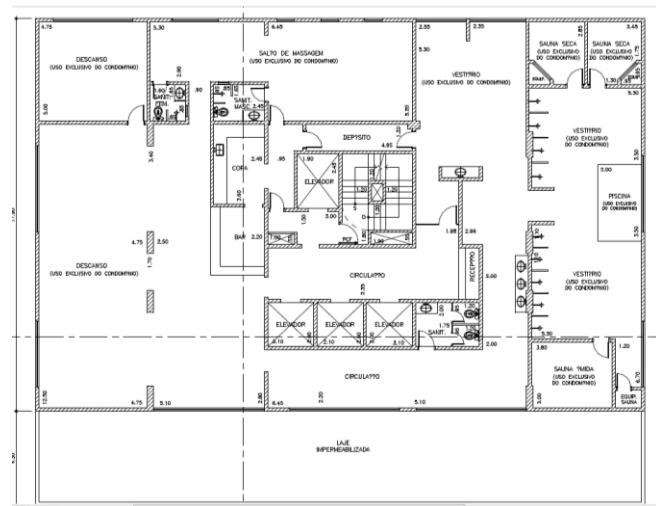


Figura 3.20. Planta do local para disponibilização dos coletores

Fonte: cedido pela administração do hotel



Figura 3.21. Imagem do local para disponibilização dos coletores

Fonte. Foto do hotel feito pelo autor

Área dois, possui o maior espaço do hotel, uma área de aproximadamente 132m<sup>2</sup>, e também possui a maior área útil disponível podendo utilizar quase que por inteiro, pois não existe condensadores ou outros dispositivos como na área um, o local é ideal para disposição dos coletores. Porém perde-se o Sol da manhã quase que por completo devido ao sombreamento feito pelo próprio hotel. Como visto na figura 14, que foi tirada por volta das 10 horas da manhã.

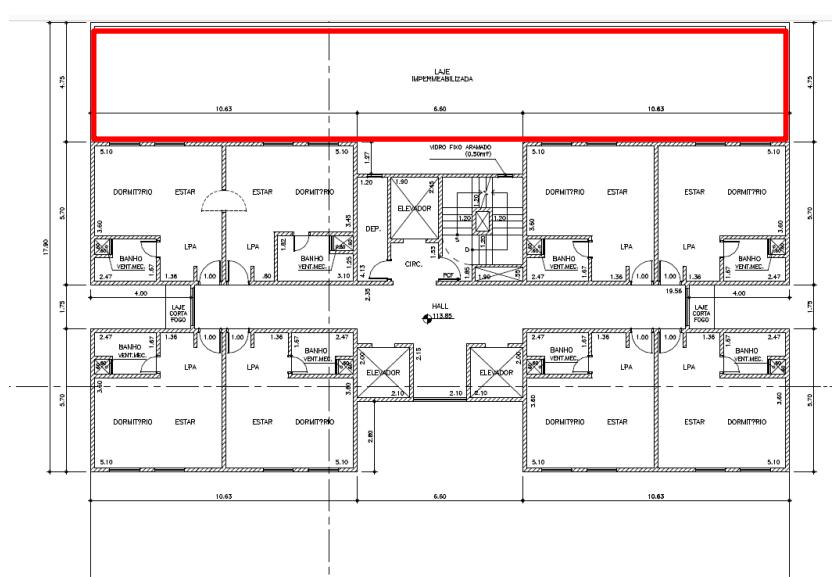


Figura 3.22. Planta do 3º Pavimento com área para disponibilizar os coletores

Fonte: cedido pela administração do hotel



Figura 3.23. Sombreamento na área 2, no 3º pavimento.

Fonte: Autor.

Já a área três possui 121m<sup>2</sup> de área. É um local também amplo, mas existe uma torre central que faz sombreamento em alguns momentos do dia e o acesso para instalação é restrita e com difícil acesso. Outra desvantagem é que o sistema de aquecimento a gás fica muito distante do topo do prédio não havendo conexões e tubos hidráulicos para a finalidade de aquecimento, segundo o chefe de manutenção do hotel, já houve outros momentos em que foram investidos outros tipos de sistemas no local, mas que se viu a necessidade de desativação, devido a inviabilidade dada pelo sistema hidráulico no topo e não permitir o prosseguimento do mesmo.

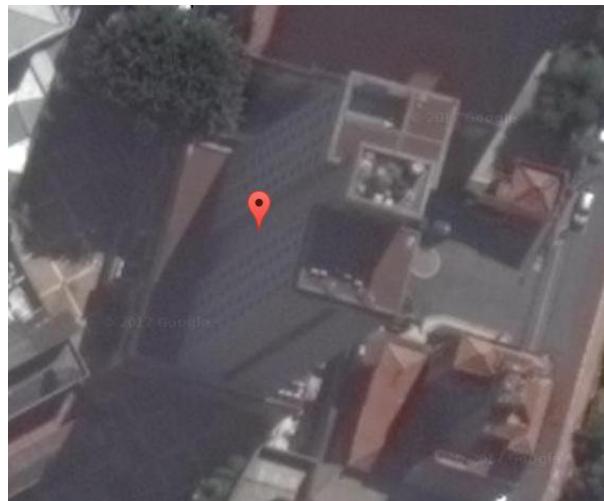


Figura 3.16. Vista superior do hotel, com detalhe do sombreamento da torre central  
Fonte: Googlecompass, 2017



Figura 3.25. Á rea três.  
Fonte: Autor

E a área quatro, embora seja simétrica a área três existe uma piscina aberta ao ar livre, disponibilizando por volta  $90\text{m}^2$ . Essa área possui as mesmas características da área três em questão de viabilidade. Foi pensando em utilizar a área para aquecimento da piscina aberta, porém não é de interesse do empreendimento para o mesmo.



Figura 3.26. Foto da área quatro, torre esquerda do hotel  
Fonte: Foto do local

O dimensionamento efetivo será demonstrado mais adiante porém com a área disposta podemos ter uma base de quantos coletores seriam necessários para utilização das áreas. Sabendo que cada coletor possui  $2,021\text{m}^2$  cada e calculando cerca de 10% de perda de espaço, com a existência de encanamentos e outras máquinas. Então temos aproximadamente  $417\text{m}^2$ , dividindo por  $2,021\text{m}^2$  de área de coletor, podemos disponibilizar de até 207 coletores na área solicitada.



### 3.3.2 Instalação dos coletores

#### Coletor solar adotado

Adotamos o modelo da Rinnai Titanium Plus (RSC-2000T) com área de 2,025m<sup>2</sup> dado pelo fornecedor pela facilidade, pelo custo, que possui 60,29% de eficiência e com 81,60kWh/mês.m<sup>2</sup> de produção média mensal com classificação A, INMETRO 2017. Segue as especificações técnicas do coletor.

ITEM	Características gerais		Especificações	
Coletor	Material absorvedor		Alumínio	
	Tratamento da superfície		Revestimento (Titanium Plus) Revestimento (Black Tech)	
	Tubo de alimentação		22 mm diâmetro	
	Tubo de passagem		3/8" diâmetro	
	Pressão Max. De trabalho		4 kgf/cm <sup>2</sup> .	
Cobertura (Vidro)	Espessura		3,2 mm.	
	Tipo		Temperado	
	Vedação		Silicone e perfil de alumínio.	
Isolamento (Titanium Plus)	Tipo		Lã Térmica Ecológica	
	Espessura		25 mm	
Exterior	Laterais		Perfil de alumínio.	
	Fundo		Chapa lisa	

Modelos	Dimensões do vidro (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Peso vazio (kg)	Volume (L)	Qtde de Aletas	Produção média mensal (KWh/mês)
RSC-1000T	995 x 995	1007	1007	948	60	15	1,21	8	82,5
						14,5	1,15	7	70,6
RSC-1400T	995 x 1395	1007	1407	1348	60	18,5	1,68	8	115,1
						18,0	1,60	7	98,6
RSC-2000T	995 x 1995	1007	2007	1948	60	28,5	2,38	8	164
						28,0	2,26	7	140,5

Tabela 3.9. Especificações Técnicas do coletor dado pelo próprio fabricante.

Fonte: Rinnai

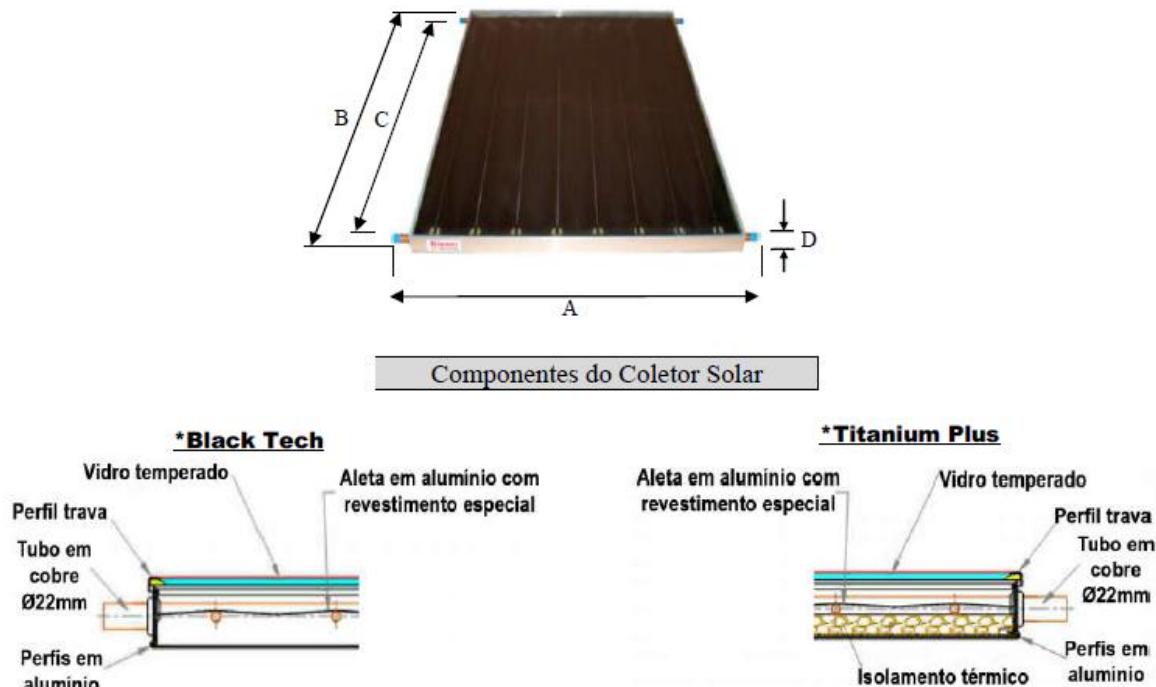
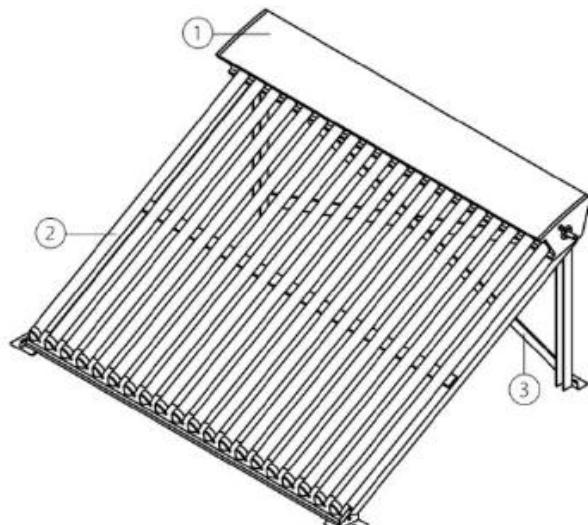


Figura 3.177. Coletor escolhido e seus componentes de construção  
Fonte: Manual de instalação Rinnai

Também foi levantado os coletores a vácuo AKC-25CP e AKC-30CP para verificar se há vantagem ou desvantagem em relação ao coletor solar plano especificamente para o local. Embora a eficiência solar térmica seja muito superior, 92%, é importante analisar para efeito comparativo de custo benefício, ganho e gasto, que pode-se obter. Lembrando que o coletor utilizado não é como o que foi mencionado no capítulo 2.2.1 de heat-pipes e sim apenas tubos à vácuo que já existem alguns produtos no Brasil porém para o estudo, conseguiu-se apenas tubos a vácuo sem hastes de aquecimento.

### Especificações Técnicas

Comp. Tubo (mm)	1800
Diâmetro Tubo ext. (mm)	58
Diâmetro Tubo int. (mm)	47
Espessura do tubo (mm)	1,6
Material tubo	Boro Silicato
Superfície do tubo	Al - N/Al
Expansão térmica	$3,3 \times 10^{-6}$
Efic. De absorção	>92%
Emitância	$\leq 8\%$
Vácuo	$P < 3 \times 10^{-3}$
Perda de calor	$< 0,7 \text{ W/m}^2\text{C}$
Força máxima	1 MPa
Temp. estagnação	270°C
Taxa de fluxo	71 kg/m <sup>2</sup> h
Conexões	22 mm NPT



Série AK  
Modelo esquematizado

1- Manípold

2- Tubos de vidro a vácuo

3- Suporte metálico

Produto	AK/C20S <sup>1</sup>	AK/C25S <sup>1</sup>
Dimensões (mm)	1488x2040	1930x2040
Número de tubos	20	25
Peso (kg - vazio)	60	75
Área de abertura (m <sup>2</sup> )	3,12	3,901622456
Capacidade do fluido (l)	1,5	1,8
Taxa de Fluxo Recomendada*	50-110 l/m <sup>2</sup> h	
Máx. quant. tubos em série**	200	
Inclinação (°)***	25 a 35	
Pressão de Operação Máx. (kPa)	600	

\* Vazão de água ou fluido térmico nos coletores e serpentinas dos reservatórios;

\*\* Para projetos com maior quantidade de coletores, recomenda-se uma análise específica, até 200 tubos em série;

\*\*\* De acordo com a latitude do local da instalação.

Figura 3.28. Especificação técnica Tubo à vácuo.

Fonte: Aquakent

### Inclinação dos coletores

A escolha da inclinação dos coletores foi baseada no maior mínimo mensal, serão de  $\beta=28^\circ$  em relação ao plano horizontal. A inclinação dos coletores é importante para que haja uma distribuição melhor da irradiação solar ao longo do ano e ter menos variações entre os meses, de forma que a geração de aquecimento para o hotel seja mais linear entre os meses do ano. Como se trata de uma laje e não de um telhado, a instalação com essa inclinação será mais simples que o usual, nos telhados.

### Cálculo no Plano Inclinado

Estação: São Paulo

Município: São Paulo, SP - BRA

Latitude: 23,5° S

Longitude: 46,637421° O

Distância do ponto de ref. (23,532652° S; 46,639596° O): 3,6 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	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N		4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
Ângulo igual a latitude	24° N		4,10	4,77	4,15	4,04	3,91	3,78	4,09	4,36	3,95	3,92	4,59	4,08	4,14	,98
Maior média anual	21° N		4,17	4,83	4,16	4,01	3,84	3,70	4,01	4,31	3,95	3,96	4,67	4,16	4,15	1,12
Maior mínimo mensal	28° N		3,99	4,67	4,11	4,06	3,98	3,87	4,18	4,42	3,94	3,86	4,47	3,96	4,13	,81

Irradiação Solar no Plano Inclinado -São Paulo-São Paulo, SP-BRA

23,5° S; 46,637421° O

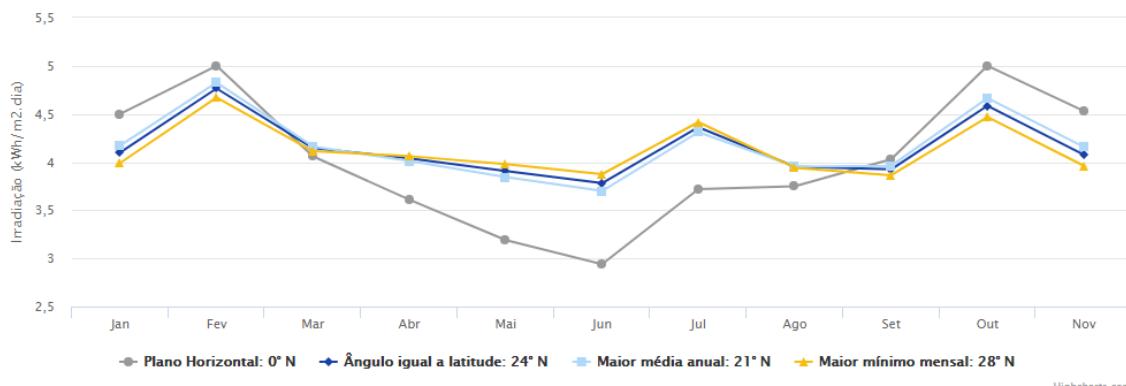


Tabela 3.10. Irradiação Solar para cidade de São Paulo

Fonte: CRESES, 2017

Já o fabricante recomenda um ângulo de inclinação de 10° da latitude local. Nesse caso, para o hotel seriam necessários 33,5°C de inclinação, já que a latitude é de 23,5°. Vejam a tabela a seguir:

Inclinação ideal para coletores solares voltados para o norte geográfico	
Cidades – ângulo de inclinação do coletor	
Macapá – 20°	Brasília – 25°
Fortaleza – 20°	Belo Horizonte – 30°
Natal – 20°	Rio de Janeiro – 30°
Maceió – 20°	São Paulo – 33°
Salvador – 25°	Curitiba – 35°
Florianópolis – 35°	Porto Alegre – 40°

Ângulo de inclinação dos coletores

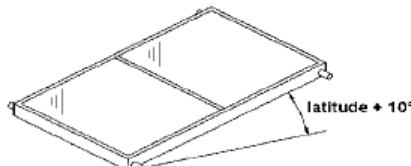


Tabela 3.11. Inclinação ideal para coletores  
Fonte: Rinnai

Caso os coletores ficassem dispostos no plano horizontal haveria cerca de 15% de perda de coleta da radiação solar conforme cálculo encontrado na Apostila 1 – Avaliação do Potencial de Energia Solar.

Então se opta pela inclinação do mesmo pelo menos entre 28 e 33° para que haja real melhora.

## Orientação Geográfica

Como mencionado anteriormente em 3.3.1, a faixada esquerda do hotel está direcionado para o Norte Geográfico. Com a ajuda de um aplicativo de celular apontou-se para a face esquerda do hotel e foi verificado que o Norte Magnético fica a 45° do local apontado.



Figura 3.29. Bússola indicando o Norte Magnético

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando aplicativo de celular Compass

O nordeste da bússola está apontada para o lado direito da figura, ou seja, a lateral esquerda do hotel. Sendo a parte de baixo da figura o hall de entrada do hotel.

Pelo manual de instalação da Rinnai, a fabricante recomenda que orientação geográfica deve ter no máximo 30° de defasagem, acarretando a queda drástica de rendimento caso haja maior defasagem. Se a correção dos 30° não seja possível recomenda-se a adição de 20% de área coletora para compensar.

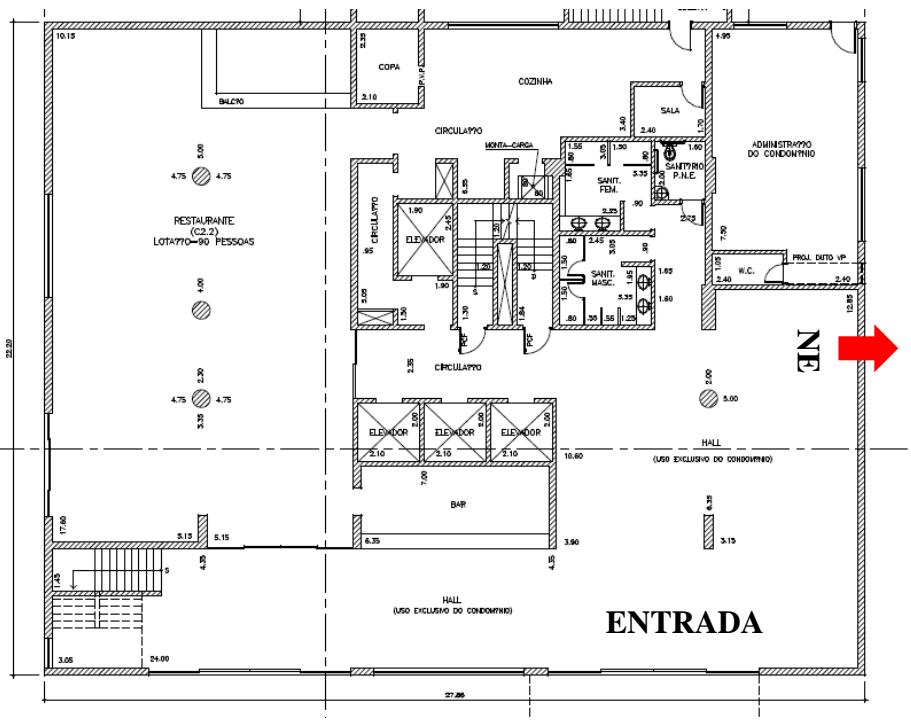


Figura 3.30. Imagem onde a bússola estava apontada. Lateral esquerda da torre 2.

### 3.4 Estimativa de cálculo inicial

Foram feitos algumas estimativas de dimensionamento de coletores. Onde a primeira utilizada foi com base na demanda do hotel e a outra na disponibilidade de espaço que o hotel oferece para depois fazer um comparativo quantitativo e qualitativo dos mesmos.

Primeiramente, o dimensionamento que o fabricante dos coletores indica é baseado em uma área pré-calculada, onde para 100 litros de água existe um valor médio de área, que varia de região para região por conta da incidência solar. Onde as regiões com maior incidência solar exige menor área de coletor para o aquecimento desses mesmos 100 litros. Então a dimensão dos coletores pode ser dada pela quantidade de água necessária para aquecimento.

Área (média) de coletores necessários para aquecer 100 litros de água	
Regiões do Brasil – Áreas de coletores	
Manaus – 0,9m <sup>2</sup>	Rio de Janeiro – 1,1m <sup>2</sup>
Natal – 0,8m <sup>2</sup>	São Paulo – 1,4m <sup>2</sup>
Goiânia – 1,0m <sup>2</sup>	Bauru – 1,2m <sup>2</sup>
Belo Horizonte – 1,0m <sup>2</sup>	Porto Alegre – 1,5m <sup>2</sup>

Tabela 3.12. Tabela para pré-dimensionamento de coletores por área

Fonte: ABRAVA, 2014

Dessa forma, utilizando os dados obtido pela compilação dos dados informados pela administração do hotel:

Que o total de água aquecida necessária para a demanda do hotel é de 43.115,97 litros.

Seguindo a tabela ABRAVA, a área média de coletores necessários para cada 100 litros para São Paulo é de 1,4m<sup>2</sup>. Então temos:

$$\text{Área de coletor} = \frac{43115,97 \text{ Litros}}{100 \text{ Litros}} * 1,4\text{m}^2 = 603,62\text{m}^2. \text{ Sabendo que cada coletor Rinnai possui}$$

2,021m<sup>2</sup>, então seriam necessários em média 298 coletores. Podemos notar então que não é possível atender a demanda total do hotel somente com os coletores solares, já que a área total disponível é de aproximadamente 464m<sup>2</sup> enquanto que com o cálculo acima seriam necessários pelo menos 603m<sup>2</sup>.

Com dados retirado do CRESESB e com dados do INMETRO chegamos que a irradiação solar média para o local em questão é em média de 4,13 kWh/m<sup>2</sup>.dia para o maior mínimo mensal com inclinação em relação a horizontal de 28° e a eficiência energética média de 60,29% e de PMME de 81,60kWh/mês.m<sup>2</sup>, o fabricante especifica 164kWh/mês no painel de 2m<sup>2</sup>.

Empresa	Marca	Modelo	Aplicação	Pressão de Funcionamento		Área Externa do Coletor	Produção Média mensal de Energia		Eficiência Energética Média(%)	Classificação	Material Superfície Absorvedora	Fr(t)n	FrUL
				(kPa)	(mca)		m <sup>2</sup>	Por Coletor (kWh/mês)	Por m <sup>2</sup> (Específica kWh/mês.m <sup>2</sup> )				
RINNAI BRASIL TECNOLOGIA DE AQUECIMENTO LTDA	RINNAI	RSC-1000T	Banho	392	40,00	1,01	82,4	81,60	60,29	A	Alumínio	0,700	3,905
RINNAI BRASIL TECNOLOGIA DE AQUECIMENTO LTDA	RINNAI	RSC-1400T	Banho	392	40,00	1,41	115,1	81,60	60,29	A	Alumínio	0,700	3,905
RINNAI BRASIL TECNOLOGIA DE AQUECIMENTO LTDA	RINNAI	RSC-2000T	Banho	392	40,00	2,01	164,0	81,60	60,29	A	Alumínio	0,700	3,905

Tabela 3.13. Especificação do coletor com Eficiência Energética média e o PMME

Fonte: INMETRO, 2017

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,10	4,77	4,15	4,04	3,91	3,78	4,09	4,36	3,95	3,92	4,59	4,08	4,14	,98
✓	Maior média anual	21° N	4,17	4,83	4,16	4,01	3,84	3,70	4,01	4,31	3,95	3,96	4,67	4,16	4,15	1,12
✓	Maior mínimo mensal	28° N	3,99	4,67	4,11	4,06	3,98	3,87	4,18	4,42	3,94	3,86	4,47	3,96	4,13	,81

Tabela 3.14. Irradiação solar diária média mensal no plano inclinado para o hotel.

Fonte: CRESESB, 2017

É possível entender que São Paulo é o que possui menor índice de Irradiação Solar no Plano Horizontal dentre as três comparadas. E na qual podemos acompanhar as estações do ano conforme a temperatura, destacando o mês de Junho o com menor irradiação, onde está o Inverno e nos meses de Dezembro e Janeiro, verão, com maior irradiação solar.

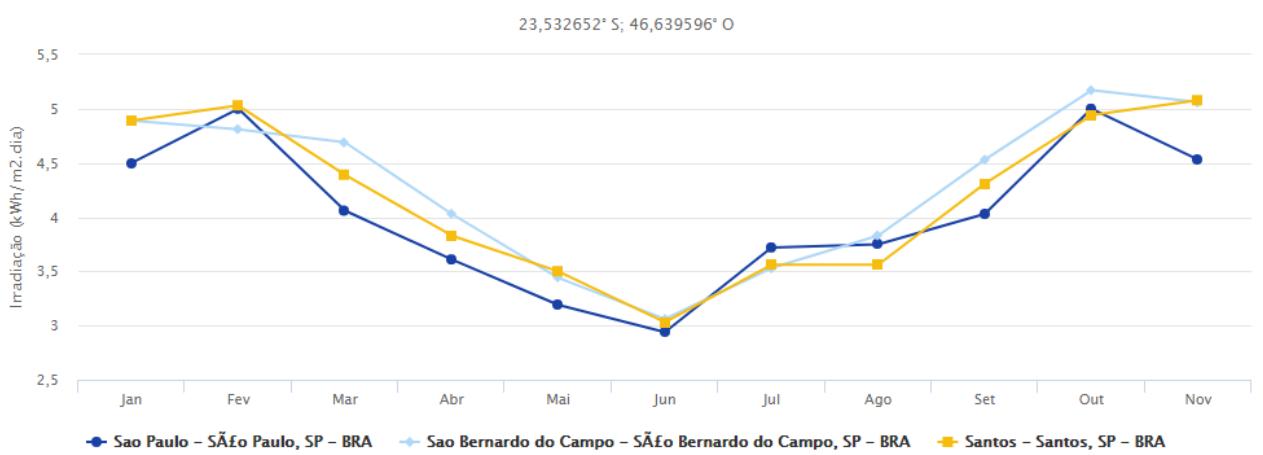


Figura 3.31. Irradiação Solar no Plano Inclinado próximas ao Hotel

Fonte: CRESESB, 2017

Embora exista uma variação para cima ou para baixo dos valores de poder calorífico inferior (PCI), adotaram-se dados do gás conforme o padrão dos dados da COMGÁ S de generalidades, 2014 em anexo.

#### Dados do Gás Natural

Poder calorífico superior	9430	Kcal/m <sup>3</sup>	a 20°C e 1atm
Poder calorífico inferior	8600	Kcal/m <sup>3</sup>	a 20°C e 1atm
Densidade Relativa	0.6	Kg/m <sup>3</sup>	a 20°C e 1atm

Tabela 5. Dados do gás. COMGÁ S 2014

Fonte: Elaborado pelo próprio autor. Informações COMGÁ S, 2014.

Também foram coletado informações do próprio equipamento para chegar ao consumo estimado.

#### Aquecedor a Gás Rinnai

Rendimento	0.84	%
Capacidade de vazão	34	l/min
Potência nominal	53.7	kW
Consumo máximo de gás	4.84	m <sup>3</sup> /h

Tabela 3.16. Dados técnicos dos aquecedores existentes

Elaborado pelo próprio autor. Informações do próprio equipamento.

Então com isso, calculou-se o PCI do aquecedor.

Assim temos:

$$PCI_{aquecedor} = 0,84 * 8600 = 7224 \text{ kcal/m}^3$$

Ou

$$PCI_{aquecedor} = 4,18 * 7224 = 30196,32 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \text{ ou } 30.196,32 \text{ MJ/m}^3.$$

Sabendo que a média de consumo mensal de gás natural utilizado pelo hotel é de 2967,25m<sup>3</sup> e com o  $PCI_{aquecedor}$  assim encontramos a energia necessária usado no consumo de gás:

$$Energia = 2967,25 * 30,19632 = 89611,35 \text{ MJ/mês} \quad \text{ou} \quad 2987.04 \text{ MJ/mês} \quad \text{ou} \quad \text{ainda} \\ 829,74 \text{ KWh/dia.}$$

A produção média mensal de energia do coletor é:

$$81,6 \frac{kWh}{m^2} \times \frac{3600}{1000} = 293,76 \frac{MJ}{m^2}$$

Então a área necessária para instalação utilizando o consumo médio de gás para aquecimento fica:

$$\text{Área}_{\text{necessária}} = \frac{89611,4 \frac{MJ}{m^2}}{293,76 \frac{MJ}{m^2}} \cong 305,05 m^2$$

Para o número de coletores basta dividir a área necessária pela área do coletor, assim teremos:

$$\text{Número de Coletores} = \frac{305,05}{2,021} = 150,93 \text{ coletores}$$

Dessa forma, adotaremos que serão necessários 151 coletores.

### 3.4.1 Refinamento com F-Chart

Porém por se tratar de uma demanda muito maior(hotel) e com necessidade de uma aferição mais concisa, para que não haja discrepância no resultado final, verificou-se a necessidade do cálculo pelo método de cálculo F-Chart encontrado no livro Duffie e Beckman, para se obter um resultado prévio mais preciso e por se tratar de um método bem rápido na hora de se obter informações. Conforme exemplo da tabela 3.17 encontrado em Duffie e Beckman.

Month	$\overline{H}_T$ , MJ/m <sup>2</sup>	$\overline{T}_a$	$L$ , GJ	$X$	$Y$	$f$	$fL$ , GJ
January	13.7	-8	36.0	1.56	0.41	0.28	10.1
February	18.8	-5	30.4	1.62	0.55	0.39	11.9
March	15.8	1	26.7	1.93	0.63	0.44	11.7
April	14.7	9	15.7	2.91	0.97	0.61	9.6
May	16.6	14	9.2	4.86	1.92	0.95	8.8
June	16.5	19	4.1	9.93	4.17	1.00 <sup>a</sup>	4.1
July	16.8	22	2.9	13.98	6.17	1.00 <sup>a</sup>	2.9
August	17.5	20	3.4	12.23	5.49	1.00 <sup>a</sup>	3.4
September	15.6	15	6.3	6.78	2.56	1.00	6.3
October	15.2	11	13.2	3.50	1.23	0.73	9.6
November	11.4	2	22.8	2.16	0.51	0.34	7.7
December	12.7	-5	<u>32.5</u>	1.68	0.42	0.28	<u>9.3</u>
Total			203.2				95.4

<sup>a</sup>These points have coordinates outside of the range of the  $f$ -chart correlation.

Tabela 3.17. Desempenho do sistema de aquecimento líquido mensal e anual em Madison  
Fonte: Duffie & Beckman

Então para cálculo:

$$X = \frac{A_c F'_R U_L (T_{ref} - \overline{T}_a) \Delta t}{L}$$

$$Y = \frac{A_c F'_R (\overline{\tau} \overline{\alpha}) \overline{H}_T N}{L}$$

Equação 3.6.1

Onde:

$A_c$  = área coletora (m<sup>2</sup>)

$F_r$  = Fator de troca de calor do coletor

$U_L$  = Coeficiente de perda do coletor (W/m<sup>2</sup> °C)

$T_a$  = Média de Temperatura ambiente mensal (°C)

$T_{ref}$  = temperatura de referência derivado empiricamente (100°C)

L= carga total de aquecimento mensal para aquecimento de espaços e água quente (J)

Ht = média mensal de incidência diária na superfície do coletor por unidade de área (J/m<sup>2</sup>)

N = dias no mês

( $\tau\alpha$ )= produto médio mensal de transmitância-absorção.

$\Delta ts$  = tempo em segundos no mês

Para detalhar um pouco mais, iniciamos o cálculo com um mês de referência, fizemos o cálculo para o mês de Agosto, com a área total pré-disponível de 464,2m<sup>2</sup>. A princípio para chegar ao fator f encontraremos X e Y com a equação 3.6.1. Utilizando dados do coletor escolhido, encontrados na tabela do INMETRO, temos  $Fr\tau\alpha= 0,7$  e  $FrUl=3,90$ . Temperatura de referência utilizaremos 100°C e a média de temperatura do mês de Agosto de 18°C, segundo a tabela 2.2, a incidência diária na superfície do coletor para o mês em estudo é de,  $Ht = 15912000J/m^2$ . Com a carga L de  $2,07*10^{11}$  para Agosto no hotel.

Assim:

$$X = \frac{464*3,90*(100-18)*31*24*3600}{9,74*10^{10}} = 4,08$$

$$Y = \frac{464*0,7*15912000*31}{9,74*10^{10}} = 1,64$$

O fator f pode ser encontrado através da figura 3.32 abaixo com X e Y, mas é possível calcular por extrapolação do gráfico ou pela equação 3.6.2.

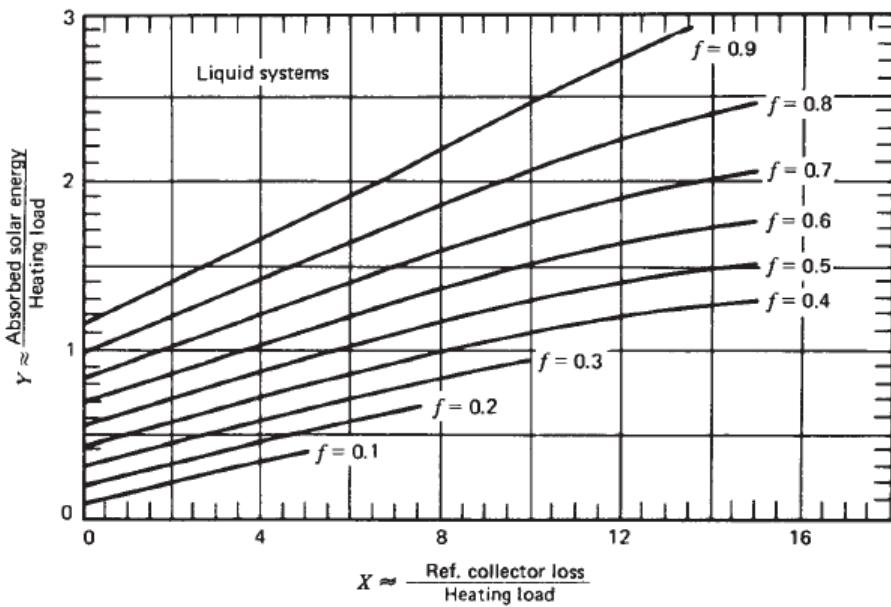


Figura 3.32. F-Chart

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y \quad \text{Equação 3.6.2}$$

Assim, temos que:

$$f = 1.029*1,64 - 0.065*4,08 - 0.245*1,64^2 + 0.0018*4,08^2 + 0.0215*1,64 = 0,83$$

A fração de carga mensal solar para aquecimento é de 83% da carga real calculada.

Dessa forma para Agosto, a carga solar térmica é  $fL = 0,83*9,74*10^{10} = 80,83\text{GJ}$ .

Para cálculo da fração de carga anual solar basta fazer a razão da somatória da fração mensal do ano pela somatória de carga no ano. Conforme a equação 3.6.3.

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

Equação 3.6.3

A fim de completar o estudo, também foram calculados os demais meses conforme a tabela a seguir em uma planilha para facilitar o cálculo. Porém como os meses de Novembro e Dezembro não haviam feito o fechamento, ficaram indisponíveis para cálculo, dessa forma, chegando ao resultado de F anual de 0,79.

Mês (2017)	PME (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	Demanda(m <sup>3</sup> )	L(J)	Ht(J/m <sup>2</sup> )	Ta (°C)	N	t(s)	X	Y	f	fL (GJ)
Janeiro	3.99	2148	6.49E+10	14364000	23	31	2678400	5.76	2.23	0.81	52.51
Fevereiro	4.67	2712	8.19E+10	16812000	23.5	28	2419200	4.09	1.87	0.87	71.35
Março	4.11	2190	6.61E+10	14796000	22.5	31	2678400	5.69	2.25	0.81	53.68
Abri	4.06	2559	7.73E+10	14616000	20.5	30	2592000	4.83	1.84	0.83	64.28
Maio	3.98	3162	9.55E+10	14328000	18.5	31	2678400	4.14	1.51	0.79	75.39
Junho	3.87	3123	9.43E+10	13932000	17	30	2592000	4.13	1.44	0.77	72.29
Julho	4.18	3181	9.61E+10	15048000	17	31	2678400	4.19	1.58	0.81	77.47
Agosto	4.42	3227	9.74E+10	15912000	18	31	2678400	4.08	1.64	0.83	80.83
Setembro	3.94	4213	1.27E+11	14184000	19	30	2592000	2.99	1.09	0.67	85.72
Outubro	3.86	2946	8.90E+10	13896000	20	31	2678400	4.36	1.57	0.80	70.88
Novembro	4.47	ND	ND	16092000	21.5	30	2592000				
Dezembro	3.96	ND	ND	14256000	22	31	2678400				
			8.90E+11								704.40

**Parâmetros**

A(m <sup>2</sup> )	464
FrTA	0.7
FrU (W/m <sup>2</sup> °C)	3.905
Tref (°C)	100
F (anual)	0.792

## 4 CUSTOS E RETORNO DO INVESTIMENTO

### 4.1 Custos de implantação

Dessa forma com informações retiradas da gestão do hotel, a tarifa que se utiliza no hotel varia por volta de R\$ 3,15/m<sup>3</sup> com consumo mensal de gás de 2967m<sup>3</sup> ficou em R\$ 9346,05.

Com a utilização do sistema solar para aquecimento, utilizando de 151 coletores solares em um espaço de 305m<sup>2</sup> com potencial de geração solar de 4535,48MJ/dia e eficiência do coletor em 60,29% temos por dia gerados 2734,44MJ/dia. Sendo que a utilização do hotel fica em torno de 2987,05MJ/dia. Trazendo a economia mensal de gás na ordem de R\$ 8555,69. Saindo R\$ 102.668,31 anuais de economia de gás.

Foram feito o levantamento de custos de implantação tanto com coletores solares fechados e também com tubos a vácuo com diversos fornecedores, na qual se chegou ao seguinte orçamento, sem perda de qualidade o com o menor custo.

O valor de investimento entre coletores solares, instalação, kit hidráulicos e etc. Ficou em R\$ 197.454,06.

Descrição	Quantidade	Custo Unidade	Custo total
<b>Coletores solares RINNAI 2m<sup>2</sup></b>	151	R\$ 875.00	R\$ 132,072.42
<b>Gerenciador Controlador</b>	5	R\$ 300.00	R\$ 1,617
<b>Kit Hidráulico (tubulação+conexões)</b>	5	R\$ 3,600.00	R\$ 19,407
<b>Kit de bombeamento (Bomba 100w + controlador eletronico+sensores e conexoes)</b>	5	R\$ 660.00	R\$ 3,558
<b>Instalação</b>	<b>mão de obra</b>	R\$ 8,160.00	R\$ 40,800.00
<b>Total investimento</b>			<b>R\$ 197,454.06</b>

Tabela 4.1. Orçamento levantado para coletores fechados  
Fonte: Elaborado pelo autor, com dados fornecedor.

Já com tubos à vácuo<sup>4</sup>, se mostraram muito mais interessantes em questão de economia. Embora o investimento seja maior em termos de economia o retorno é maior, pois a energia gerada com os tubos fica em R\$ 13.055,63 mensais. Mais do que o próprio consumo utilizado pelo hotel, nas mesmas condições ficando superdimensionado. Dessa forma a economia anual fica em R\$ 156.667,52. Porém ainda é necessário uma análise de viabilidade financeira e retorno do mesmo.

Descrição	Quantidade	Custo Unidade	Custo total
<b>Tubo a vácuo AKC 25 CP</b>	72	R\$ 2,700.00	R\$ 194,400.00
<b>Tubo a vácuo AKC 30 CP</b>	3	R\$ 2,000.00	R\$ 6,000.00
<b>Gerenciador Controlador</b>	5	R\$ 300.00	R\$ 1,500.00
<b>Kit Hidráulico (tubulação+conexões)</b>	5	R\$ 3,600.00	R\$ 18,000.00
<b>Kit de bombeamento (Bomba 100w + controlador eletronico+sensores e conexoes)</b>	5	R\$ 660.00	R\$ 3,300.00
<b>Instalação</b>	<b>mão de obra</b>	R\$ 8,160.00	R\$ 40,800.00
<b>Total investimento</b>		<b>R\$ 264,000.00</b>	

Tabela 4.2. Orçamento levantado para tubo à vácuo

Fonte: Elaborado pelo autor, dados Aquakent.

<sup>4</sup> Dimensionamento feito pelo fornecedor. A fabricante do produto de tubo a vácuo não consta na tabela INMETRO, dessa forma o dimensionamento será baseado nas informações dos fornecedores.

## 4.2 VIABILIDADE FINANCEIRA

A durabilidade média dos painéis, desde que sejam bem cuidados com manutenção periódica, pode chegar a 25 anos. Também é importante considerar que os meses de Abril até Setembro é de menor incidência solar devido ao inverno e de maior utilização de demanda.

Dessa maneira contando ainda com degradação, falta de manutenção, poluição, sombreamento e entre outros fatores que podem afetar o dimensionamento. Fez-se três cenários diferentes para se ter uma idéia de retorno financeiro.

Dessa forma foi traçado os seguintes cenários.

O primeiro cenário, onde o painel está com o máximo aproveitamento, ou seja, coletores novos logo após ter sido instalado, sem poluição ou partículas, sem perda de rendimento ou perdas térmicas, sejam elas devido a avarias ou sujeira e com a irradiação solar média diária de 4,13 kWh/m<sup>2</sup> assim com 100%.

Segundo cenário com 70% do rendimento dos coletores, onde os coletores perderam um pouco do seu rendimento devido à sujeira e pó devido a poluição bastando uma manutenção periódica para resolver o problema, considerando um cenário razoável.

E o terceiro e último cenário que seria o pior cenário, onde está ocorrendo perdas térmicas nos coletores ou em algum outro componente do sistema, necessitando de limpeza, cuidados e manutenção ou até avarias e sombreamentos.

Para o retorno financeiro foram analisados:

- 1 O payback simples, onde não há desvalorização e o fluxo de caixa se mantém constante;
  - 2 O payback descontado, com desvalorização do retorno ano a ano onde o fluxo de caixa varia ao longo do tempo;
  - 3 Valor presente líquido (VPL)
  - 4 Taxa interna de retorno (TIR):
- ❖ Se a TIR > TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

O empreendimento estaria obtendo uma taxa de retorno maior que a taxa de retorno mínima exigida. Aprovaria o projeto;

- ❖ Se a TIR = TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

O empreendimento estaria obtendo uma taxa de retorno exatamente igual à taxa de retorno mínima exigida. Seria indiferente em relação ao projeto, pode-se aplicar ou não;

❖ Se a TIR < TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

O empreendimento estaria obtendo uma taxa de retorno menor que a taxa de retorno mínima exigida. Reprovaria o projeto.

Assim temos que:

### **Cenário 1 – Com 100% de aproveitamento dos coletores solares.**

Com os 100% de aproveitamento dos coletores e com a incidência do Sol em São Paulo o Payback simples está em torno de um ano e dez meses e dois anos e 4 meses para o coletor solar fechado. E mais interessante é o tubo a vácuo que embora seja mais custoso o retorno é trazido de forma mais rápida. Também é importante destacar o VPL que fica cerca de 164% melhor no tubo a vácuo do que no coletor solar.

Todos os cálculos foram feito com base em SIM0 ES,2016

	<b>Coletor solar</b>	<b>Tubo a vácuo</b>
<b>Vida Útil</b>	25 anos	25 anos
<b>Período</b>	10 anos	10 anos
<b>TMA / ano</b>	23%	23%
<b>Taxa de desconto</b>	12%	12%
<b>VPL</b>	R\$ 382,644.81	R\$ 621,206.43
<b>TIR</b>	51%	59%
<b>PAYBACK SIMPLES</b>	1.92	1.69
<b>PAYBACK DESCONTADO</b>	2.33	1.99

Tabela 4.3. Comparativo Financeiro da energia térmica 100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Descontado</b>		<b>Payback Descontado</b>
		<b>Coletor</b>	<b>Descontado</b>	
<b>0</b>	-R\$ 197,454.06	-R\$ 197,454.06	-R\$ 197,454.06	
<b>1</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 91,668.14	-R\$ 105,785.92	
<b>2</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 81,846.55	-R\$ 23,939.37	
<b>3</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 73,077.28	R\$ 49,137.91	
<b>4</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 65,247.57	R\$ 114,385.48	
<b>5</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 58,256.76	R\$ 172,642.24	
<b>6</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 52,014.96	R\$ 224,657.20	
<b>7</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 46,441.93	R\$ 271,099.13	
<b>8</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 41,466.01	R\$ 312,565.14	
<b>9</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 37,023.22	R\$ 349,588.36	
<b>10</b>	R\$ 102,668.31	R\$ 33,056.45	R\$ 382,644.81	

Tabela 6. Fluxo de caixa coletor fechado 100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado Tubo Vácuo	Payback Descontado
0	-R\$ 264,000.00	-R\$ 264,000.00	-R\$ 264,000.00
1	R\$ 156,667.52	R\$ 139,881.71	-R\$ 124,118.29
2	R\$ 156,667.52	R\$ 124,894.39	R\$ 776.10
3	R\$ 156,667.52	R\$ 111,512.85	R\$ 112,288.95
4	R\$ 156,667.52	R\$ 99,565.04	R\$ 211,853.99
5	R\$ 156,667.52	R\$ 88,897.36	R\$ 300,751.35
6	R\$ 156,667.52	R\$ 79,372.64	R\$ 380,123.99
7	R\$ 156,667.52	R\$ 70,868.43	R\$ 450,992.42
8	R\$ 156,667.52	R\$ 63,275.38	R\$ 514,267.80
9	R\$ 156,667.52	R\$ 56,495.88	R\$ 570,763.68
10	R\$ 156,667.52	R\$ 50,442.75	R\$ 621,206.43

Tabela 4.5. Fluxo de caixa Tubo à Vácuo 100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro cenário é possível confirmar que embora tenha se investido um valor

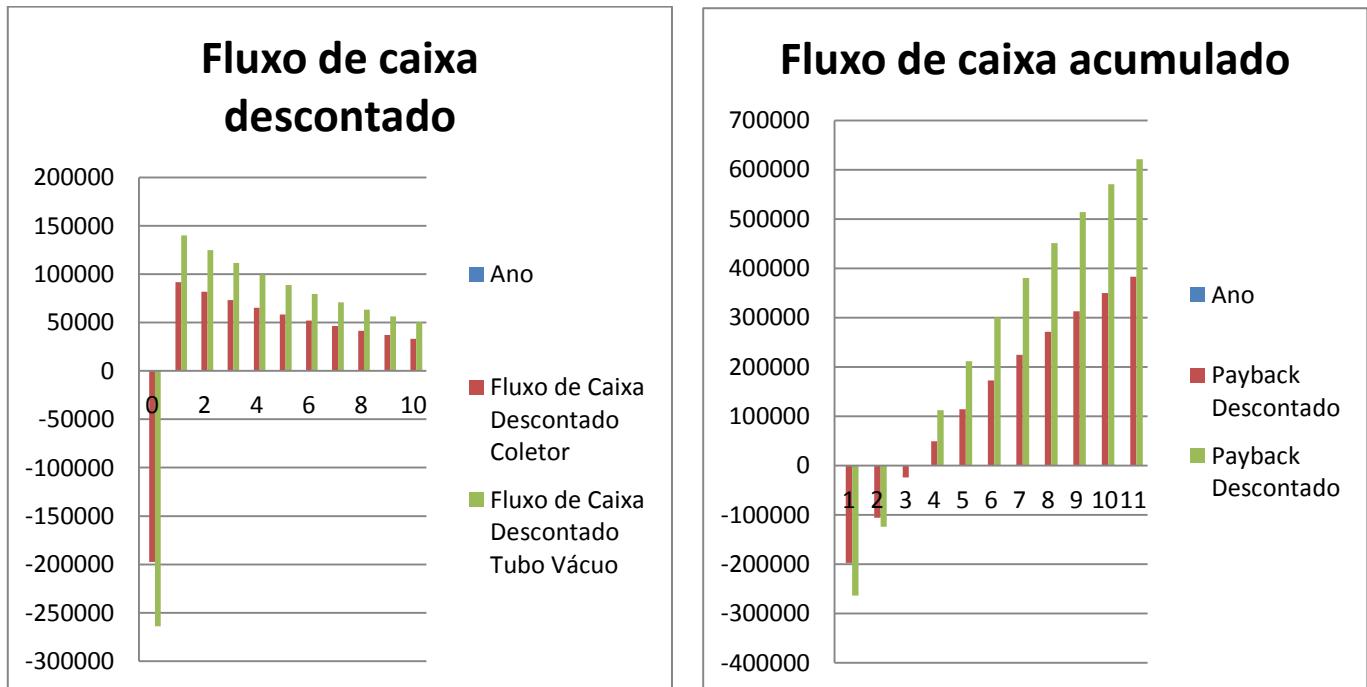


Figura 4.1. Fluxo de caixa descontado

Figura 4.2 Fluxo de caixa acumulado

### Cenário 2 – Com 70% de aproveitamento dos coletores solares.

Em uma situação mais usual. Ainda assim, fica bastante interessante para o hotel, considerando o retorno em 3 anos e 6 meses, a implementação do sistema de aquecimento solar. A diferença entre o coletor solar plano e o de tubo a vácuo já não é tão grande em vista do cenário 1.

	<b>Coletor solar</b>	<b>Tubo a vácuo</b>
<b>Vida Útil</b>	25 anos	25 anos
<b>Período</b>	10 anos	10 anos
<b>TMA / ano</b>	23%	23%
<b>Taxa de desconto</b>	12%	12%
<b>VPL</b>	R\$ 208,615.15	R\$ 355,644.50
<b>TIR</b>	35%	40%
<b>PAYBACK SIMPLES</b>	2.75	2.41
<b>PAYBACK DESCONTADO</b>	3.54	3.01

Tabela 4.6. Comparativo Financeiro da energia térmica 70%

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Fluxo de caixa descontado**

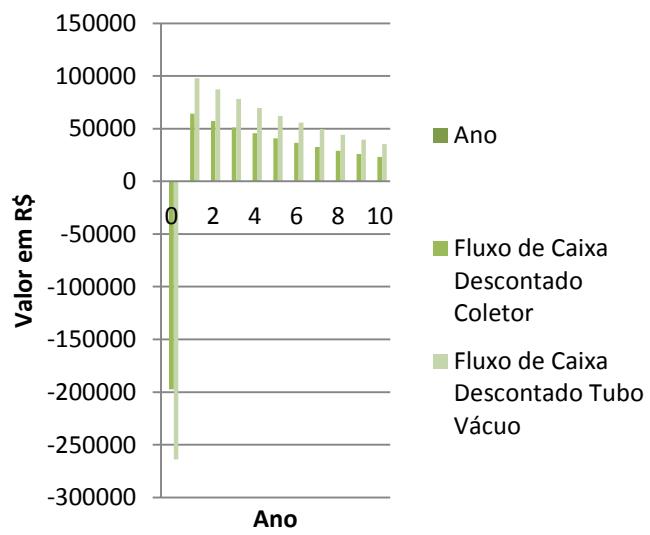


Figura 4.3. Fluxo de caixa descontado com cenário 2

**Fluxo de caixa acumulado**

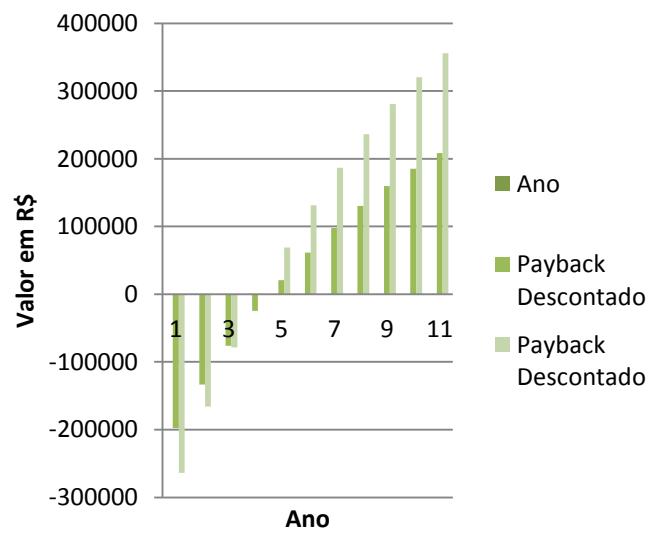


Figura 4.4. Fluxo de caixa acumulado com cenário 2

### Cenário 3 – Com 50% de aproveitamento dos coletores solares.

No último caso, o pior caso dentre as três, porém é o que mais se aproxima do tempo de retorno dado pelo fornecedor no tubo á vácuo de 36 meses e do coletor solar em torno de 50 meses. Porém o cálculo dado pelo fabricante foi somente com base em informações como quantidade de suítes, chuveiros disponíveis, pontos de aquecimento e hóspedes. Mas seria mais aproximado com a visita no local pegando todas as informações pertinentes e relevantes, de forma mais detalhada para se chegar à um cenário mais correto. Que ainda assim, no pior dos cenários se mostrou ainda favorável. Destacando que no coletor solar fechado o TIR bateu exatamente com o TMA, embora viável, dando a abertura aos empreendedores do hotel se mostrarem desinteressados pelo projeto.

	<b>Coletor solar</b>	<b>Tubo a vácuo</b>
<b>Vida Útil</b>	25 anos	25 anos
<b>Período</b>	10 anos	10 anos
<b>TMA / ano</b>	23%	23%
<b>Taxa de desconto</b>	12%	12%
<b>VPL</b>	R\$ 92,595.38	R\$ 178,603.22
<b>TIR</b>	23%	27%
<b>PAYBACK SIMPLES</b>	3.85	3.37
<b>PAYBACK DESCONTADO</b>	5.27	4.52

Tabela 7. Comparativo Financeiro da energia térmica 50%

Fonte: Elaborado pelo autor.

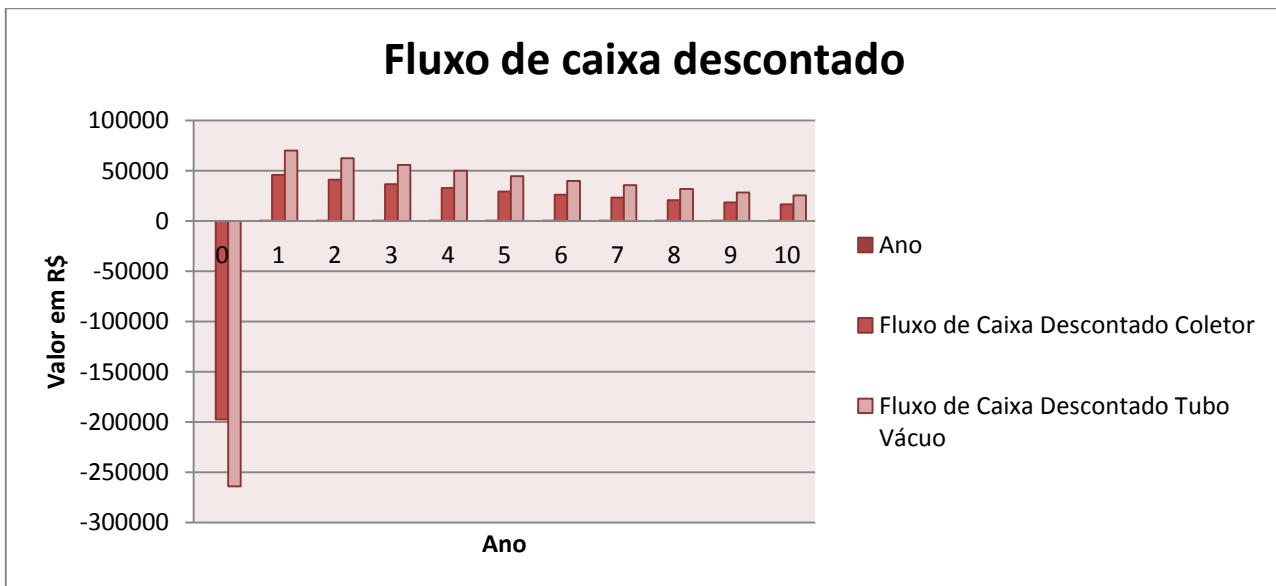


Figura 4.5. Fluxo de caixa descontado cenário 3

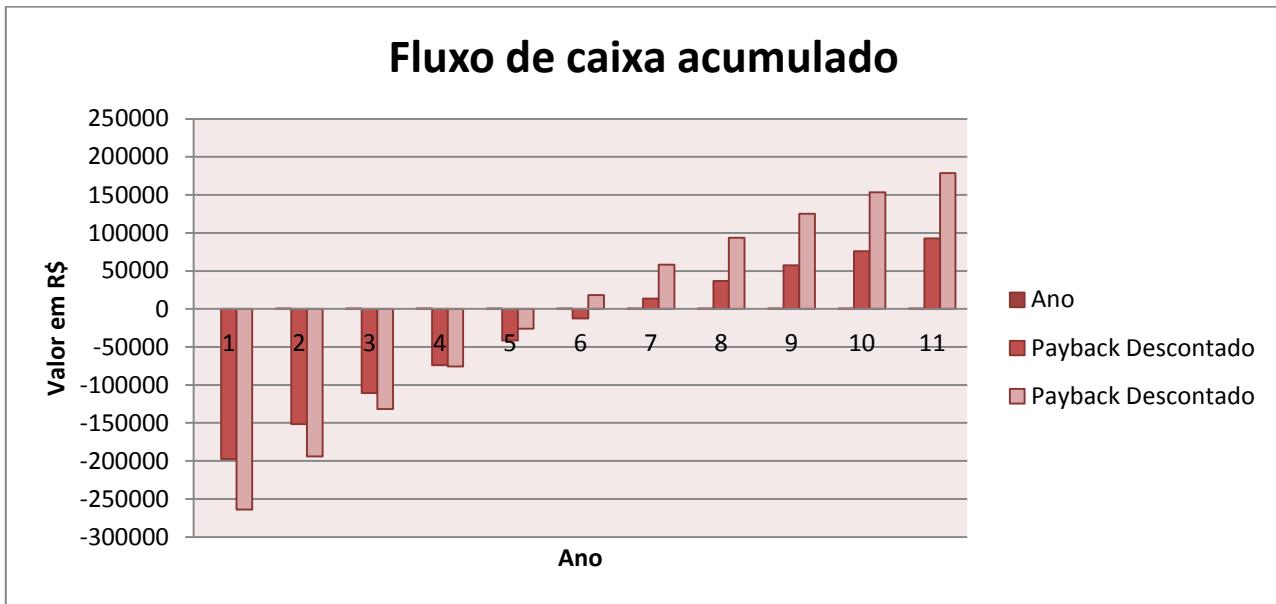


Figura 4.6. Fluxo de caixa acumulado cenário 3



## 5. CONCLUSÃO

Com a avaliação de forma ampla podemos entender que embora investidores de redes hoteleiras em São Paulo ainda não tenham plena confiança ou intenções de investimento em aquecimento térmico solar, devido a menor taxa em relação a investimentos do mercado financeiro ou por pouco conhecimento na área térmica solar, a presente avaliação se mostra muito interessante economicamente para se investir em coletores solares térmicos, ainda mais em coletores à vácuo, apesar da região de São Paulo possuir menor incidência solar se comparado às regiões Centro-Oeste e Nordeste. Outra questão que se levanta, é que geralmente em edifícios muito altos se encontra dificuldade em implementar os sistemas solares térmicos em função do pouco espaço e área disponível e a grande demanda simultânea devido a verticalização, esse foi um dos problemas encontrados no presente estudo. Ainda, São Paulo é uma metrópole onde os prédios tendem a serem cada vez mais altos, o que pode impedir muitas vezes o aproveitamento solar em sua plenitude, o que impede o máximo rendimento dos coletores, para o caso do hotel Luz plaza a altura do próprio hotel faz sombreamento em duas áreas com uma grande disposição de espaço. Por outro lado cada vez mais, se descobrem novas tecnologias que suprem a pouca incidência solar, justamente pelo desenvolvimento e eficiência de novos equipamentos, como pudemos notar com os tubos a vácuo que são mais recentes no mercado brasileiro mas já se mostram mais viáveis do que os coletores como visto anteriormente na viabilidade financeira. O mercado nacional de coletores solares ainda é pequeno se comparado a de alguns países europeus e da Ásia e mostra ainda muita área para desbravar e grande potencial para atingir novos mercados e expandir os mercados já existentes conforme pudemos verificar nas estatísticas da DASOL, 2014. O presente trabalho demonstra que apesar desses impasses da cidade metropolitana, ainda é bastante viável implementar o sistema em hotéis, condomínios e edifícios multi-familiares, com um bom retorno de investimento a curto prazo, o suprimento da energia pode ser total ou parcial, mas mais comumente como um sistema complementar diminuindo os custos de insumos como gás e energia elétrica. Embora exista alguns espaços disponíveis no hotel o sistema térmico solar ainda se mostrou restritivo em algumas áreas dispostas, demandando reconstrução de tubulações e exigindo mais kits hidráulicos fazendo com que o custo de implantação seja oneroso. Mas se tratando de um empreendimento relativamente novo o problema de reconstrução de hidráulica não existe pois nos dias de hoje é obrigado por lei que as instalações prediais já devam dispor a instalação de aquecimento de água através do Sol em São Paulo, como dito no capítulo 2.7. Como sugestão para o presente estudo de caso, existe ainda a possibilidade de fazer aplicação solar de forma inversa,

para resfriamento do hotel e não só apenas de aquecimento, já que o hotel demanda de muita energia elétrica para os sistemas de ar-condicionado ou ainda, o funcionamento do solar térmico a ar que pode ser utilizado para aquecimento de algumas áreas como por exemplo o spa. Também fazer análise financeira de heat-pipes e aplicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, DEREK .**Proceedings of the IEEE** | Vol. 98, No. 1, Janeiro 2010.

AQUECEDOR SOLAR A VÁCUO: SIMPLES E COM A MÁXIMA EFICIÊNCIA. Minas Gerais , 2017. Disponível em: <<http://blog.brassolar.com.br/aquecedor-solar-a-vacuo-maxima-eficiencia/>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2017.

AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA: ENTENDA VARIAÇÕES E FUNCIONALIDADES DOS TIPOS DE SISTEMA. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3510-sistema-solar-fotovoltaico-aquecimento-agua-banho-poupanca-energetica-como-funciona-isolante-gas-eletrico-componentes-diferencas-coletores-fechados-abertos-tubulares-vacuo-instalacao-consumo-meio-ambiente-impactos-ambientais-emissoes.html>> acessado 13/10/2017

ATLAS SOLAR “LEVANTAMENTO DO POTENCIAL” ESTÁ DISPONÍVEL PARA CONSULTA PELA INTERNET, 2013. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br/2013/04/atlas-solar-levantamento-do-potencial-esta-disponivel-para-consulta-pela-internet/>>

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR - 2ª Edição, INPE. São José dos Campos. 88p. Disponível em: <[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)> Acessado em 03/11/2017

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017: ANO BASE 2016 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2017.

CLIMATOLOGIA, São Paulo,2017. Disponível em:<<https://www.climatempo.com.br/climatologia/558/saopaulo-sp>>. Acesso em 19 de Outubro de 2017

CRESCIMENTO MUNDIAL RECORDE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM 2015. 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/crescimento-mundial-recorde-das-energias-renovaveis-2015/>> acessado 10/10/2017

DADOS ENERGÉTICOS. Secretaria de Energia e Mineração Disponível em: <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/Municipios/index.html>> acessado 13/10/2017

DAVID DARLING. Disponível em [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE\\_solar\\_collector.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_solar_collector.html) acessado 21/12/2017

DESCUBRA QUAIS OS PAINEIS SOLARES FOTOVOLTAICOS MAIS EFICIENTES.2015  
Disponível em:

<<https://www.portal-energia.com/descubra-quais-os-paineis-solares-fotovoltaicos-mais-eficientes/>>  
acessado 12/10/2017

Dicas e testes (Utilização da água). SABESP. São Paulo. [201-?].Disponível em  
<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=184>> Acesso em: 01 de Novembro de 2017.

DUFFIE,J. A; BECKMAN W. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 4<sup>a</sup> edição. Wiley, 910 (F-Chart)

ENERGIA HELIOTÉRMICA - COMO FUNCIONA. Disponível em:  
<<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>> acessado 12/10/2017

ENERGIA HELIOTÉRMICA - O SOL FONTE DE ENERGIA. Disponível em:  
<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-sol-fonte-de-energia> acessado 12/10/2017

Generalidades. COMGÁ S. São Paulo. 2014. Disponível em <[https://www.comgas.com.br/wp-content/uploads/2017/05/RIP-2014\\_2-Generalidades-versao-marco-2014.pdf](https://www.comgas.com.br/wp-content/uploads/2017/05/RIP-2014_2-Generalidades-versao-marco-2014.pdf)> Acesso em 02 de Novembro de 2017.

GUIA DA ENERGIA SOLAR. Disponível em  
<<http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf>> acessado 13/10/2017

GREENSPEC. Disponível em <<http://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-collectors/>>  
acessado 20 de Dezembro de 2017.

IRENA, 2017. Disponível em:<<http://www.irena.org/home/index.aspx?PriMenuID=12&mnu=Pri>>  
acessado 10/10/2017

KINGSPAN.

KOMEKO. Disponível em: <<http://www.komeko.com.br/blog/consumidor/coletor-solar-tubo-a-vacuo-para-atingir-altas-temperaturas.html>>

Legislação Municipal, PREFEITURA DE SÃO PAULO. Disponível em:  
<[http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios\\_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=04072007L%20144590000](http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=04072007L%20144590000)> Acesso em: 05/11/2017

Manual do Usuário e Instalação. KOMEKO. 2017. Disponível em:  
<[http://www.komeko.com.br/fmanager/komeko2017/manuais\\_produtos/arquivo45\\_1.pdf](http://www.komeko.com.br/fmanager/komeko2017/manuais_produtos/arquivo45_1.pdf)>  
Acessado em 16/10/2017

Mapa de produção solar. Subsecretaria de Energia de São Paulo, Governo de São Paulo, 2013.

MAUTHNER,F; WEISS,W; SPORK-DUR,M. **Solar Heat WorldWide**. Austria, p. 1-76, 2016.

O SOL NASCEU PRA TODOS. Greenpeace. Disponível em:

<[http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/energia-solar/?gclid=CjwKCAjwgvfOBRB7EiwAeP7ehviXkIhx5uuOpH2UPvkdGVGx8gf6U9Nh4e-K6zCbXsMUNGKId4AChxoCpAAQAvD\\_BwE](http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/energia-solar/?gclid=CjwKCAjwgvfOBRB7EiwAeP7ehviXkIhx5uuOpH2UPvkdGVGx8gf6U9Nh4e-K6zCbXsMUNGKId4AChxoCpAAQAvD_BwE)>> acessado 12/10/2017

Produção de Coletores Solares para Aquecimento de Água e Reservatórios Térmicos no Brasil. DASOL. ABRAVA.2014

REVOLUÇÃO ENERGÉTICA. 2013. Disponível em: <[http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/revolucao-energetica/?gclid=CjwKCAjw3\\_HOBRBaEiwAvLBboiKFOSqLL8jM3WDQSP\\_HNj4MBVMeBt4n3NuctHaQk\\_MsiDaTJtBh4hoCE4cQAvD\\_BwE](http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/revolucao-energetica/?gclid=CjwKCAjw3_HOBRBaEiwAvLBboiKFOSqLL8jM3WDQSP_HNj4MBVMeBt4n3NuctHaQk_MsiDaTJtBh4hoCE4cQAvD_BwE)>> acessado 10/10/2017

SIMÓES, J. R. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. 1 Edição. São Paulo: LTC, 393p.

Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água coletores solares, INMETRO. Edição 06/2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-piscina.pdf>> Acesso em: 18 de Outubro de 2017.

Solar Roof. 2017.TESLA, Acessado em <<https://www.tesla.com/solarroof>> Acesso em 04 de Novembro de 2017

Telha Solar da Tesla traz inovação ao mercado fotovoltaico. São Paulo, 2016 . Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/telha-solar-desenvolvida-pela-tesla/>> Acesso em 04 de Novembro de 2017

**Temperatura ideal para piscinas.**2016. ANAPP<<http://www.anapp.org.br/blog/temperatura-ideal-para-piscinas/>>

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações. 2ª Edição. São Paulo: Saraiva, 224p.



**APÊNDICE A – Cálculos de dimensionamento**