

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL***

**PROPOSTA PARA A MINIMIZAÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA NO HORÁRIO  
DE PONTA POR SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO**

**Luiz Paulo Cardoso Florencio Gonçalves**

São Carlos  
2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL***

**PROPOSTA PARA A MINIMIZAÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA NO HORÁRIO  
DE PICO POR SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO**

**LUIZ PAULO CARDOSO FLORENCIO GONÇALVES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

**Área de Concentração:** Sistemas  
Construtivos

**Orientador:** Prof. Dr. Douglas Barreto

São Carlos  
2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Luiz Paulo Cardoso Florencio Gonçalves, realizada em 26/04/2018:

---

Prof. Dr. Douglas Barreto  
UFSCar

---

Prof. Dr. José Francisco Rodrigues  
UNICEP

---

Prof. Dr. Osvaldo Ogashawara  
UFSCar

**AOS MEUS PAIS,  
QUE TANTO ME APOIAM.**

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço primeiramente a deus por ter guiado os meus passos, iluminado meus pensamentos, trazido novas oportunidades e permitindo que eu cumprisse mais essa importante etapa em minha vida. Aos meus pais Nilson e Lilia, meus dois maiores apoios e exemplos.

Agradeço pela educação que me foi dada, por estarem sempre ao meu lado, incentivando minhas decisões, me fortalecendo e apoiando nos momentos difíceis e me corrigindo nos momentos em que estava errado. A todos os demais familiares que torceram por mim, obrigado pelo apoio.

Ao meu orientador Douglas Barreto, pelo respeito, pela dedicação e tremenda disponibilidade de me atender, pela amizade e por todos os conselhos recebidos durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço a Valesca Galdino que sempre me auxiliou e me apoiou durante todo esse tempo e me compreendeu sempre. Em especial, agradeço ao Andre Maebara, sempre solícito e disposto a me ajudar e me apoiar. Agradeço também ao amigo Christian Barboza outra pessoa solícita e que sempre me auxiliou. Agradeço ao Netto Rodrigues que sempre acompanhou meu desenvolvimento e me auxiliou.

À todas as amizades estabelecidas durante o programa, em especial ao Raimundo Fagner, Rosana Schmalz, Wallison Medeiros, Maiara Nicolau, Keyzo Totake. Aos amigos de Lins-SP, em especial ao amigo desde sempre Dimitri Costa pelo auxílio prestado e a Felipe Vilela.

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos (PPGECiv – UFSCAr) por todo o suporte durante o meu mestrado. A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram com a elaboração deste trabalho.

GONÇALVES, L. P. C. F.. **PROPOSTA PARA MINIMIZAÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA NO HORÁRIO DE PICO POR SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO**, 2018. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

A potencial escassez dos recursos naturais, o aumento da demanda por energia, e os impactos ambientais causados pelo uso de fontes de energia poluentes, têm gerado constantes discussões e incertezas acerca do futuro energético mundial, impulsionando assim a procura por novas alternativas energéticas, sendo a energia fotovoltaica uma das energias com maior potencial de crescimento no Brasil, porém um dos problemas é o fato do horário de ponta (horário de maior consumo de energia) se encontrar fora do período de geração dos sistemas fotovoltaicos (FV), os quais dependem da luz solar. Com isto foram levantadas as curvas de carga de cada consumidor, seus hábitos de consumo e as principais formas utilizadas por eles para aquecimento de água com predominância do chuveiro elétrico. Além dos tipos de sistema de geração fotovoltaicos e o panorama brasileiro quanto a utilização deste tipo de energia, com intuito de conjugar um sistema de geração fotovoltaica e um sistema elétrico de aquecimento de água por acumulação, deslocando assim a demanda do horário de ponta, além de suprir grande parte da demanda diária de energia deste consumidor. Com base em dados fornecidos pela concessionária de energia, foram definidos então as curvas reais de demanda de cada consumidor estudado, então foi realizado o dimensionamento de um sistema de geração FV e de um sistema de aquecimento de água por acumulação sendo feita a comparação entre a nova curva de demanda do consumidor (utilizando sistema conjugado FV e aquecimento de água por acumulação) com a curva real de demanda deste consumidor. Foi verificado então uma diminuição de até 66% na demanda de ponta e quando extrapolado para os consumidores residenciais da cidade na qual o estudo foi realizado, poderia ocasionar um deslocamento na ponta equivalente a 11% do total de energia consumido no município no ano de 2017.

Palavras-chave: Curvas de carga, Demanda de ponta, fotovoltaico, deslocamento da demanda no horário de ponta, aquecedor de água por acumulação.

## ABSTRACT

---

GONÇALVES, L. P. C. F.. **PROPOSAL FOR MINIMIZING THE PEAK DEMAND BY USING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**, 2018. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

The potential shortage of natural resources, the increased demand for energy and the environmental impacts caused by the use of polluting energy sources have generated constant discussions and uncertainties about the world's energy future, thus boosting the demand for new alternatives energy. The photovoltaic generated electric energy is one with the greatest growth potential in Brazil, but one of the problems is the fact that peak hours (hours of higher energy consumption) are outside the generation period of photovoltaic (PV) systems, which depends on sunlight. With this, the load curves of each consumer, their consumption habits and the main forms used by them for water heating. In addition the types of photovoltaic generation system and the Brazilian panorama regarding the use of this type of energy were revised with the intention to combine a photovoltaic generation system and an electric water heating system by accumulation, thus displacing peak hour demand, in addition to supplying much of the daily energy demand of this consumer. Based on data provided by the energy concessionaire, the actual demand curves of each consumer were defined, then a PV generation system was designed and so a water heating system by accumulation. Then the new consumer demand curve (using FV conjugated with a water heating by accumulation system) was compared to the actual demand curve of this consumer. This achieved a reduction of up to 66% in peak demand and when extrapolated to the residential consumers of the city in which the study was carried out, could cause a peak displacement equivalent to 11% of the total energy consumed in the municipality in the year 2017.

*Key-words: Peak Demand, photovoltaics, displacement of demand at peak hours, electric water heating system by accumulation.*

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

---

c.a. – corrente alternada

c.c. – corrente cont nua

$\eta_{Inv}$  – eficiência de convers o c.c./c.a.

$\eta_{SPMP}$  – eficiência de seguimento do ponto de máxima potência do inversor

EPE – empresa de pesquisa energética

FC – fator de capacidade

FDI – fator de dimensionamento do inversor

FP – fator de potência

FV – Fotovoltaico

$\gamma_{mp}$  – coeficiente de temperatura do ponto de máxima potência

HGh – irradiância no plano horizontal

HGk – irradiância no plano inclinado

HSP – horas de sol pleno

$H_{t,\beta}$  – irradiância incidente no plano do gerador

$I_{mp}$  – corrente de máxima potência

$I_{sc}$  – corrente de curto-circuito

$P_{FV}$  – potência ativa fornecida pelo SFCR

$P^0_{FV}$  – potência nominal do gerador fotovoltaico

$P^0_{Inv}$  – potência nominal do inversor em c.a.

$P_{mp}$  – máxima potência do gerador fotovoltaico

$P_{saída}$  – potência instantânea gerada pelo SFCR

SFCR – sistema fotovoltaico conectado   rede elétrica

SPMP – seguimento do ponto de máxima potência

STC – condi es padrão de teste (standard test conditions)

$T_a$  – temperatura ambiente ( C)

$T_c$  – temperatura equivalente de opera o da célula fotovoltaica

$V_{mp}$  – tensão de máxima potência

$V_{oc}$  – tensão de circuito aberto

Wp – watt-pico

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica.....	7
Figura 2 - Participação das fontes na expansão da capacidade instalada.....	8
Figura 3 - Curva de carga .....	9
Figura 4 - Curva de carga típica .....	10
Figura 5 - Energia consumida no Brasil por tipo de consumidor .....	10
Figura 6 - Curva de carga comercial típica.....	11
Figura 7 - Exemplos de curvas típicas industriais .....	12
Figura 8 - Evolução curva de carga real verão 2000-2014.....	13
Figura 9 - Evolução curva de carga real inverno 2000-2014.....	13
Figura 10 - Consumo de energia por região.....	14
Figura 11 - Consumo por classe - Região Sudeste.....	14
Figura 12 - Cargas residenciais típicas região Sudeste .....	15
Figura 13 - Fonte de energia para aquecimento de água para banho- panorama nacional.....	16
Figura 14 - Participação das fontes de energia no aquecimento de água.....	17
Figura 15 - Curva de carga típica - Região Sudeste .....	18
Figura 16 - Distribuição por faixa de consumo .....	21
Figura 17 - Tipo de domicílio por faixa de consumo.....	22
Figura 18 - Área construída dos domicílios na faixa 1 - consumo 0-200 kWh/mês...	22
Figura 19 - Média de moradores por faixa de consumo de energia .....	23
Figura 20 - Peso da conta de energia elétrica no orçamento .....	24
Figura 21 - Fluxograma energia solar .....	25
Figura 22 - Participação na potência instalada para geração fotovoltaica no mundo	28
Figura 23 - Irradiação Global Horizontal Brasil. Fonte.....	31
Figura 24 - Irradiação solar horizontal - Alemanha.....	31
Figura 25 - Eficiência anual do inversor em função do FDI.....	34
Figura 26 – Produtividade anual do SFCR em função do FDI para as condições de Belém-PA .....	35
Figura 27 – Produtividade anual do SFCR em função do FDI para as condições de Belém-PA considerando os módulos .....	35
Figura 28 - Paridade de custos de energia fornecida pela rede elétrica .....	37
Figura 29 - Curva média de demanda – consumidor 1 até 200 kWh/mês.....	46
Figura 30 - Curva média de demanda – consumidor 2 até 200 kWh/mês.....	47
Figura 31 - Curva média de demanda – consumidor 3 até 200 kWh/mês.....	47
Figura 32 – Curva média de demanda – consumidor 4 até 200 kWh/mês.....	47
Figura 33 – Curva média de demanda – consumidor 4 até 200 kWh/mês.....	48
Figura 34 – Curva média de demanda – consumidor 6 até 200 kWh/mês.....	48
Figura 35 – Curva média de demanda – Consumidor 7 até 200 kWh/mês .....	49
Figura 36 - Curva média de demanda – Consumidor 8 até 200 kWh/mês.....	49
Figura 37 - Curva média de demanda – Consumidor 9 até 200 kWh/mês.....	49
Figura 38 - Curva média de demanda – Consumidor 10 até 200 kWh/mês.....	50
Figura 39 – Curva média de demanda até 200 kWh/mês .....	50
figura 40 - Comparação horário de ponta - Consumidor 1 .....	52
figura 41 - Comparação horário de ponta - Consumidor 2 .....	52
figura 42 -Comparação horário de ponta - Consumidor 3 .....	53
figura 43 - Comparação horário de ponta - Consumidor 4 .....	53

figura 44 - Comparação horário de ponta - Consumidor 5 .....	53
figura 45 - Comparação horário de ponta - Consumidor 6 .....	54
figura 46 - Comparação horário de ponta - Consumidor 7 .....	54
figura 47 - Comparação horário de ponta - Consumidor 8 .....	55
figura 48 - Comparação horário de ponta - Consumidor 9 .....	55
figura 49 - Comparação horário de ponta - Consumidor 10 .....	55
figura 50 - Comparação horário de ponta - Média geral.....	56
Figura 51 - Arquivo de dados gerados pelo RADIASOL para a cidade de Lins-SP ..	61
Figura 52 - Eficiência média anual do inversor em função do FDI para as condições de Lins-SP.....	62
Figura 53 - Produtividade anula do sistema FV em função do FDI para as condições de Lins-SP.....	63
Figura 54 - Demanda diária média .....	65
figura 55 - Produção diário do sistema fotovoltaico.....	70
figura 56 - Gráfico Demanda diária x Produção diária.....	71
figura 57 – Gráfico demanda média x média alterada x geração FV.....	72
figura 58 - Consumo ponta por dia .....	73
figura 59 - Detalhe dos picos consumidor 6 .....	74
figura 60 - Demanda x Geração FV.....	75
figura 61 – Detalhe dos picos consumidor 7.....	77
figura 62 – Demanda x geração fotovoltaica consumidor 7.....	77
figura 63 – Detalhe dos picos consumidor 9.....	79
figura 64 - Demanda x Geração fotovoltaica consumidor 9.....	80

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 - Tarifas CPFL - Lins/SP.....	38
Tabela 2 - Etapas do método .....	40
Tabela 3 - Exemplo de dados fornecidos pela concessionária.....	46
Tabela 4 - Características módulo fotovoltaico.....	59
Tabela 5 - Características elétricas do inversor SF 1600 TL fornecidos pelo fabricante .....	60
Tabela 6 - Características do projeto .....	65
Tabela 7 - Características de demanda e irradiação do dia média do mês de abril de 2017 .....	66
Tabela 8 - Tabela de Resultados .....	69
Tabela 9 – Custos de instalação de sistema FV – Lins/SP .....	70
Tabela 10 - Resumo de resultados consumidor 6 .....	76
Tabela 11 - Resumo de resultados consumidor 7 .....	78
Tabela 12 - Resumo de resultados consumidor 9 .....	81

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>5</b>
1.1.1 Geral.....	5
1.1.2 Específicos .....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 Oferta de energia</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 Curvas de carga</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 Consumidores residenciais</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Tipos de cargas residenciais – região sudeste.....	15
2.3.2 Curvas de carga residenciais .....	17
2.3.3 Sistemas de aquecimento de água para banho .....	18
2.3.3.1 Sistemas instantâneos e de acumulação .....	18
2.3.3.2 Geração de água quente por meio de energia elétrica .....	20
2.3.4 Condições socioeconômicas dos consumidores residenciais .....	21
2.3.5 Consumo de energia elétrica na cidade de lins-sp .....	24
<b>2.4 ENERGIA SOLAR</b> .....	<b>25</b>
2.4.1 Energia solar fotovoltaica .....	26
2.4.1.1 Sistemas de micro-geração de energia fotovoltaica .....	26
2.4.1.2 A energia fotovoltaica no mundo .....	27
2.4.1.3 A energia fotovoltaica no brasil .....	29
2.4.1.4 Legislação brasileira sobre sistemas de geração fotovoltaica de energia elétrica .....	32
2.4.1.5 Condições técnicas para escolha de um sistema fv.....	34
2.4.1.6 Custo da energia fotovoltaica .....	36
2.4.1.7 Custo da geração fotovoltaica no brasil .....	38
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 Revisão bibliográfica</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2 Estudo das legislações e trabalhos</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3 Definição das condições</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4 Determinação dos parâmetros</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5 Análise das aplicações</b> .....	<b>44</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 Curvas de demanda</b> .....	<b>45</b>
4.1.1 Utilização de chuveiro elétrico dentre os consumidores analisados .....	51
4.1.2 Comparação de curvas de demanda média .....	51
<b>4.2 Definição do sistema elétrico de aquecimento de água por acumulação</b> <b>56</b>	
4.2.1 Cálculo do volume de água quente consumida e do volume do acumulador .....	57
4.2.2 Cálculo de demanda de energia útil .....	57
4.2.3 Estimativa de custo de um sistema de aquecimento por acumulação ....	58
<b>4.3 Definição do sistema fotovoltaico</b> .....	<b>58</b>
4.3.1 Módulo fotovoltaico selecionado – características.....	59
4.3.2 Inversor selecionado – características .....	60
4.3.3 Dados meteorológicos .....	61

4.3.4	Dimensionamento do sistema fotovoltaico .....	62
4.3.5	Custo de instalação de um sistema fotovoltaico.....	70
4.3.6	Análise da demanda e produção fotovoltaica.....	71
<b>4.4</b>	<b>Resumo dos resultados – situação crítica consumidor 6.....</b>	<b>82</b>
4.4.1	– Retorno de investimento.....	83
<b>5.</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>84</b>
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	86
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A potencial escassez dos recursos naturais, o aumento da demanda por energia, que entre os anos de 2000 e 2013 cresceu 38% (BRITISH PETROLEUM, 2015) e os impactos ambientais causados pelo uso de fontes de energia poluentes, têm gerado constantes discussões e incertezas acerca do futuro energético mundial, impulsionando assim a procura por novas alternativas energéticas. (INATOMI e UDAETA, 2005). Deste modo, a busca por novas tecnologias afim de viabilizar a adoção de fontes renováveis e menos impactantes ao meio ambiente tornou-se uma necessidade, propiciando desta maneira um ambiente favorável para mudanças no setor energético.

No período de 2000 a 2013, o crescimento do consumo de fontes fósseis cresceu apenas 3%, já as energias renováveis tiveram um crescimento de 81% neste mesmo período, com destaque a energia solar que teve um crescimento de 14000%. Isto se deve em grande parte às pesquisas de novos materiais e melhorias na produção, que permitem cada vez mais a energia fotovoltaica ser competitiva perante o uso de fontes não-renováveis. (BRITISH PETROLEUM, 2015)

O balanço energético atual do Brasil indica crescimento das energias renováveis, principalmente da eólica e hidráulica, onde no ano de 2015 teve um aumento significativo, porém a energia solar (fotovoltaica) ainda é pouco difundida e possui crescimento aquém das outras fontes de energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

No Brasil, a utilização de energia fotovoltaica é algo relativamente novo, apesar de possuir um potencial energético muito grande, isto devido à alta taxa de insolação onde o sol aparece em média 280 dias por ano e também por ser detentor de uma das maiores reservas de silício do mundo (material utilizado na fabricação de painéis solares). Além disso, o Brasil apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m<sup>2</sup>, ou seja, valor bem acima da área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m<sup>2</sup>. Ainda assim, o Brasil possui uma porcentagem desprezível

de sua matriz energética relacionada com fontes provindas de energia solar, enquanto na Alemanha a energia fotovoltaica é responsável por 5,3% do suprimento da demanda do país (CABRAL, CAZELGRANDI, SENNA, 2013).

No Brasil, segundo ZILLES et al, 2016, os custos de geração fotovoltaica estavam cerca de 0,35 R\$/ kWh, chegando a um valor atraente para diversos setores da economia, com a tendência a diminuir cada vez mais. Em uma versão mais atualizada conforme o instituto IDEAL, 2017, aponta que em 2014 o custo das instalações mais populares, ou seja, até 5 kWp, possuía um valor médio de R\$ 8,81/Wp, onde Watt pico (Wp) é a potência máxima gerada em condições ideais dos painéis solares (quando irradiado por uma luz que simula a luz solar com a potência de 1000 W/m<sup>2</sup>, à temperatura de 25 °C), com uma tendência desse preço ser cada vez menor conforme a potência do sistema é aumentada, sendo que mais especificamente na região sudeste do Brasil, o preço médio gira em torno de R\$ 9,00/Wp.

Além disso, com a regulamentação atual, a RN 482/12 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicada no ano de 2012, que permite a utilização de centrais geradoras por entidades privadas e obriga a rede a receber a energia gerada, transformando-a em créditos para o consumidor que a gerou, permitiu-se um avanço na área, porém um entrave é o fato de alguns empreendimentos ou residências terem seu pico de consumo após as 18 horas, neste horário inclusive dá-se início a iluminação pública e também o sistema do fotovoltaico deixa de gerar energia devido à ausência de luz solar. Desta maneira, a unidade geradora fotovoltaica integrada a rede pode não trazer tantas vantagens para o empreendimento. Segundo a ANEEL (2017), para um consumidor A4 (de baixo consumo: 2,3 a 25kV) a relação entre a energia gerada fora do horário de ponta e a consumida durante o horário de ponta é de 0,62, ou seja, cada kWh gerado fora do horário de ponta compensa apenas 0,62 kWh consumido durante o horário de ponta. Portanto se a maior parte do consumo do empreendimento se faz durante o horário de ponta, a geração de energia fora de ponta teria que ser 62% maior que o consumo para que este fosse compensado.

Assim, um sistema misto envolvendo armazenamento de energia para ser utilizada no horário de ponta e a integração à rede para o uso durante os horários convencionais pode se tornar mais vantajoso. Além disso, as concessionárias de

energia e o sistema elétrico como um todo também podem se beneficiar desta compensação do horário de ponta, pois o sistema elétrico é voltado para atender o pico, ou seja, o horário de maior consumo. Portanto, durante a maior parte do dia esse sistema é subutilizado e cada aumento no consumo durante esse período acarreta uma necessidade de investimento em geração e distribuição para que a concessionária possa atender a demanda (MASSERONI e OLIVEIRA, 2012). Desse modo, caso a curva de demanda seja deslocada para um perfil mais constante durante o dia todo, decorrerá em uma menor necessidade de investimento, tendo como consequência a queda no valor da energia. Para que seja possível compensar a energia do horário de ponta através de fotovoltaicos se faz necessário um estudo mais aprofundado.

Com base nisso, a utilização conjugada de outros sistemas com a geração fotovoltaica permitirá duas condições ideais: a diminuição do consumo de energia da rede elétrica (autogeração) e uma menor exigência da rede no horário de ponta, pois considerando-se o consumidor residencial, a demanda por água quente muitas vezes é suprida pelo uso do chuveiro elétrico, que é o item que mais causa impacto no consumo durante o horário de ponta (ELETROBRÁS, 2007).

Enquanto isso as empresas que fornecem e instalam sistemas fotovoltaicos residenciais dimensionam o sistema com base no consumo total da residência, ou seja, total gerado menos demanda total, ignorando os impactos do fotovoltaico no horário de ponta.

Porém, atualmente algumas concessionárias de energia elétrica como a CPFL, vêm adotando tarifas de energia diferenciadas, a chamada tarifa branca, na qual as tarifas de energia sofrem variação conforme o horário do dia: horários de menor demanda da rede resultam em tarifas menores e horários de maior demanda da rede (horário de ponta por exemplo) resultam em tarifas maiores (CPFL, 2018).

Assim, a utilização de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico conjugado com um sistema de boiler elétrico, pode possibilitar a diminuição da demanda energética de uma residência durante o horário de ponta, evitando a utilização do sistema de aquecimento de água instantâneo (chuveiro elétrico) que representa um dos maiores consumos de energia elétrica da faixa 1 (até 200kWh/mês) (ELETROBRÁS, 2007). Além disso a utilização conjunta evitaria a utilização do

sistema de aquecimento solar de água, o qual competiria em relação a área útil de telhado com o sistema de geração fotovoltaico.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 GERAL**

Assim, o trabalho tem como objetivo geral identificar a alternativa de utilização conjugada de um sistema de boiler elétrico e um sistema de geração fotovoltaica minimizando o consumo de energia e o impacto no horário de ponta.

### **1.1.2 ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Levantamento das curvas de demanda de energia horário de ponta;
- Determinar as curvas de geração de energia fotovoltaica;
- Levantamento das curvas de consumo do sistema de aquecimento de água por acumulação;
- Determinar a possibilidade do deslocamento do horário de ponta com a utilização de geração fotovoltaica em conjunto com o sistema de aquecimento de água por acumulação.
- Determinar os valores de consumo de ponta que podem ser deslocados;
- Quantificar o consumo do chuveiro elétrico para substituição por boiler de aquecimento elétrico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

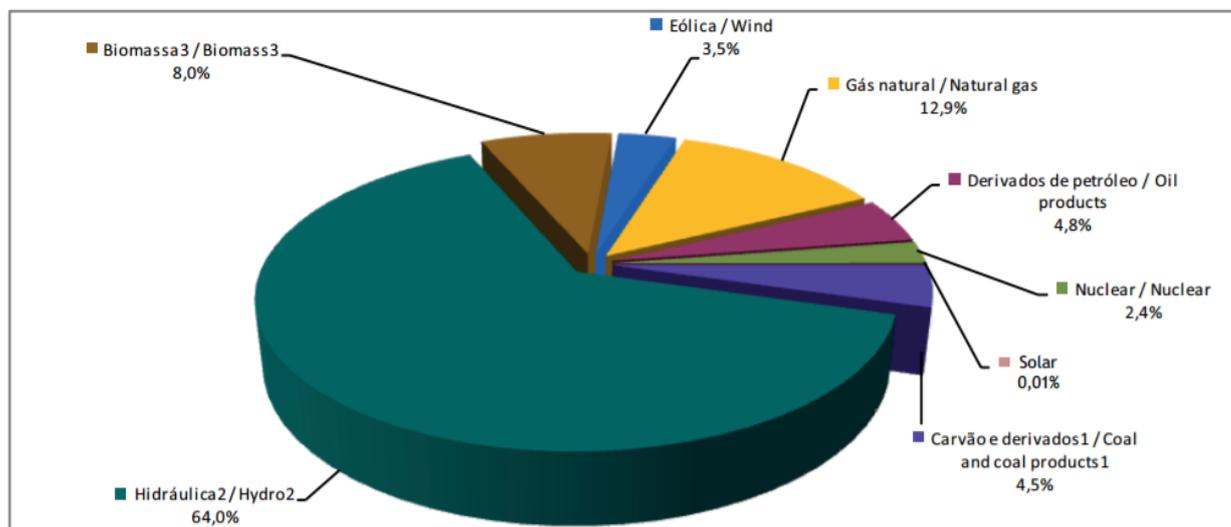
Neste Capítulo serão apresentados os principais conceitos relacionados a oferta de energia elétrica, curvas de carga e como se comportam os consumidores residenciais brasileiros, quais seus hábitos de consumo de energia elétrica, suas condições socioeconômicas, suas curvas de carga e quais os meios para obtenção de água quente que estes consumidores utilizam. Também serão abordadas as formas de geração de energia elétrica através de fotovoltaicos, os tipos de sistemas existentes, as condições técnicas para escolha de um sistema FV, sendo exposto a panorama da energia elétrica gerada através de fotovoltaicos no Brasil e os custos desta fonte de geração de energia elétrica.

### 2.1 OFERTA DE ENERGIA

Em 2015, houve uma redução da oferta interna de energia da ordem de 2,1% em relação ao ano anterior, a maior parte desta queda deve-se a retração de 7,2% na oferta interna de petróleo e derivados, já no caso da oferta de energia elétrica verificou-se um recuo na oferta interna e pelo quarto ano consecutivo, devido a condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução da energia hidráulica disponibilizada, mas mesmo com a menor oferta hídrica, ocorreu um avanço da participação de renováveis na matriz elétrica, que passou de 74,6% para 75,5%, explicado pela diminuição do uso da geração térmica a base de derivados de petróleo e ao incremento da geração a base de biomassa e eólica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2016) a energia fotovoltaica permanece com uma participação quase nula perante as outras fontes de energia renováveis conforme a figura 1.

**Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica**



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria

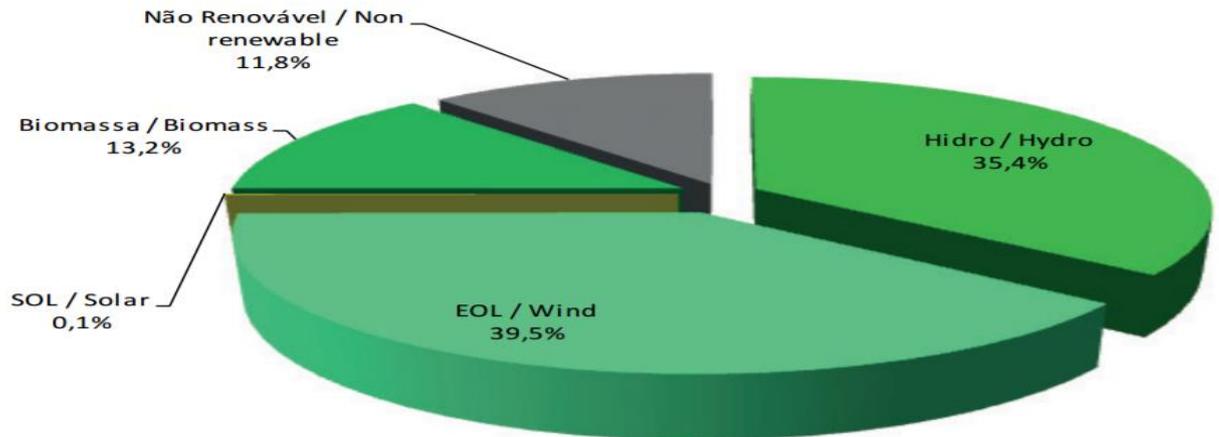
<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

FONTE: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

Haja vista, existe a necessidade de aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética nacional, visto que a utilização de combustíveis fósseis não é adequada ao meio ambiente devido a poluição causada e também a utilização de fontes hídricas vem se tornando cada vez mais escassa. Em 2015 houve uma forte expansão das fontes renováveis de energia e, porém, a expansão da utilização da energia solar foi ínfima em relação as outras, conforme a figura 2 percebe-se que ainda existe um caminho muito longo a ser percorrido no quesito de geração de energia elétrica por meio de fontes solares.

**Figura 2 - Participação das fontes na expansão da capacidade instalada**



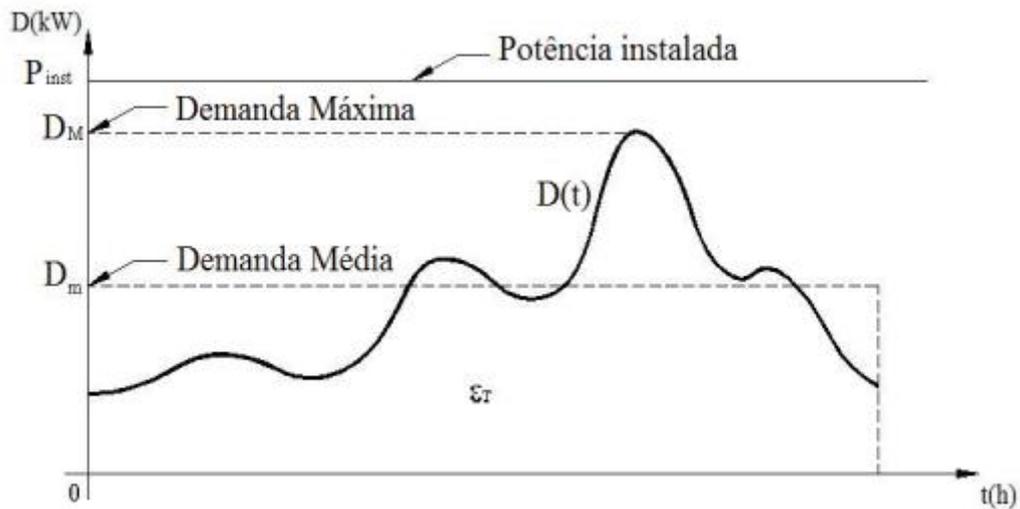
FONTE: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

## 2.2 CURVAS DE CARGA

Segundo COTRIM (2009) curvas de carga são definidas como a demanda em função do tempo  $D(t)$ , para um dado período de tempo  $T$ , onde na verdade a curva é constituída por patamares de demanda, porém o mais comum é que seja representada por uma curva a qual resulta da união de pontos médios das bases superiores do retângulos de largura  $\Delta t$ , em um período de  $T$  a ordenada máxima da curva determina a demanda máxima, sendo a demanda total de energia consumida no período determinada pela integral da área da curva conforme a figura 3 e dada pela equação abaixo.

$$\varepsilon_T = \int_0^T D(t). dt \quad (1)$$

Figura 3 - Curva de carga

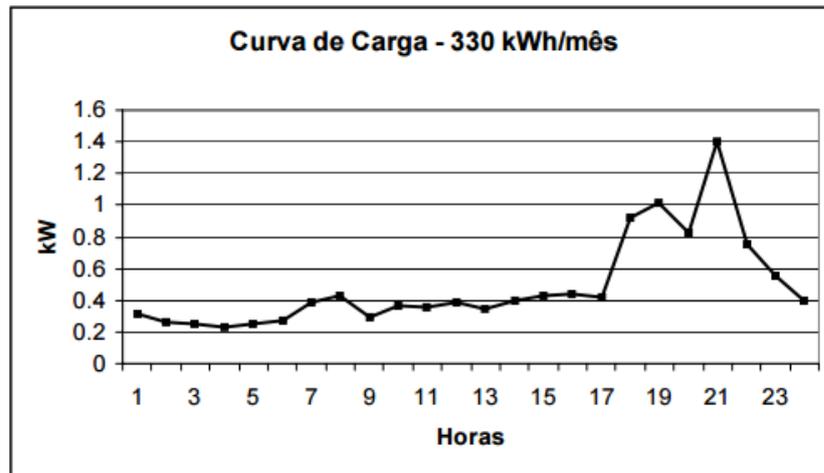


Fonte: COTRIM (2009)

Cada tipo de consumidor apresenta um tipo de curva de carga padrão, onde consumidores do mesmo tipo possuem curvas semelhantes, residências possuem curvas parecidas diferindo apenas devido a algumas particularidades, tais como quantidade de moradores, classe de renda, entre outros, assim como um prédio residencial possui uma curva diferente da de um prédio comercial e indústrias possuem curvas completamente diferentes (COTRIM, 2009).

As curvas de carga de um consumidor residencial são tipicamente caracterizadas por um consumo praticamente constante durante a maior parte do dia com um ligeiro pico ao amanhecer e um grande pico no fim de tarde e início de noite, provocado pelo uso de iluminação, televisão e principalmente o chuveiro elétrico, podendo ser verificada na figura 4 uma curva típica média de um consumidor de 330 kWh (FRANCISQUINI, 2006).

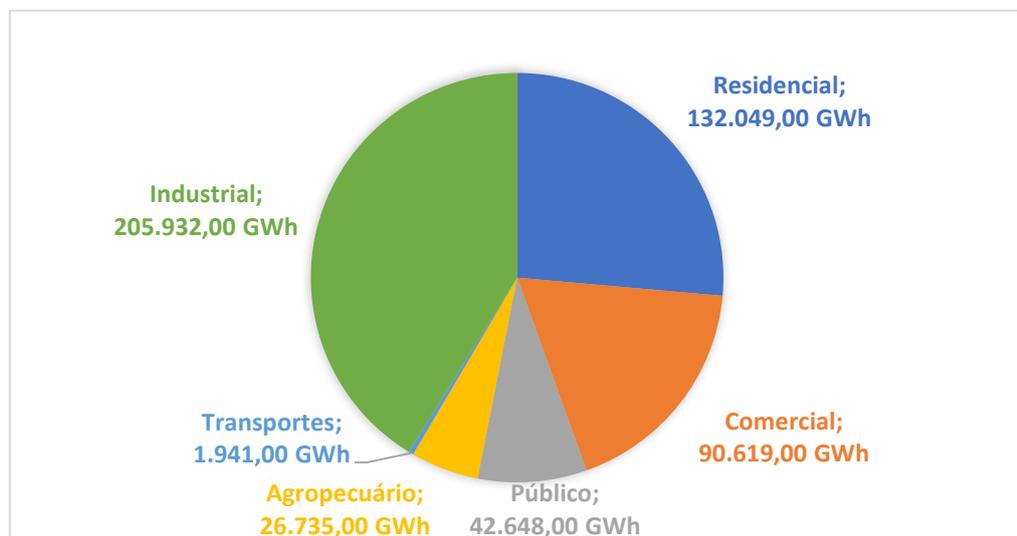
**Figura 4 - Curva de carga típica**



Fonte: Francisquini (2006)

Conforme a figura 5, os consumidores residenciais foram responsáveis por 26,41% da energia consumida no país no ano de 2014 correspondendo a um total de 132.049 GWh, um aumento de 5,73% em relação ao ano de 2013 que teve um consumo de 124.896 GWh (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA,2015).

**Figura 5 - Energia consumida no Brasil por tipo de consumidor**

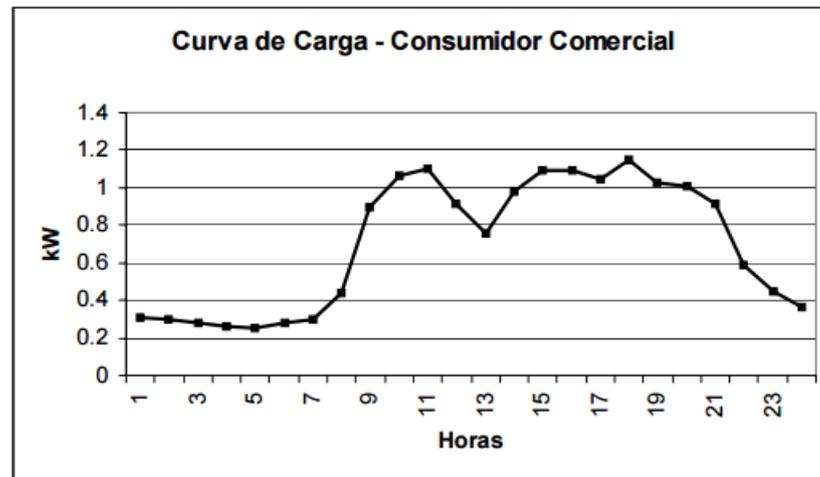


Fonte: Empresa de pesquisa energética (2015)

Já as curvas de carga média dos consumidores comerciais é tipicamente representada por uma demanda constante relativamente alta durante o horário

comercial, com uma leve queda durante o horário de almoço e uma baixa demanda fora do horário comercial, conforme figura 6 (FRANCISQUINI,2006).

**Figura 6 - Curva de carga comercial típica**



Fonte: Francisquini (2006)

Em todo Brasil cerca de 20% do consumo é atribuído aos aparelhos de ar condicionado e em grandes centros comerciais tais como shoppings, hotéis e edifícios comerciais, o condicionamento de ar pode ultrapassar os 50% do uso de energia (FRANCISQUINI,2006).

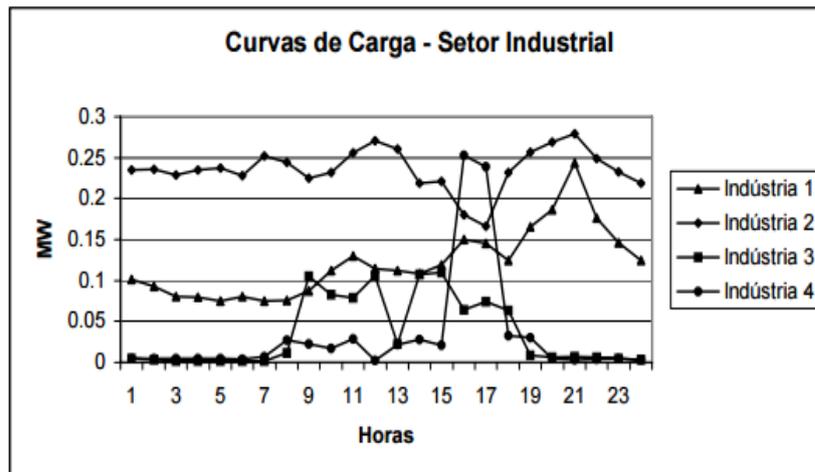
No ano de 2014, o consumo comercial correspondeu a 15,52% da energia consumida no Brasil, um aumento de 7,31% no consumo ante o ano de 2013, chegando a 89.819 GWh conforme o gráfico da figura 5 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

Os consumidores industriais respondem por 37,61% do consumo de energia elétrica no país, chegando em 2014 a 178.055 GWh, mostrando uma retração em comparação ao ano de 2013 de 3,72% ano em que o consumo foi de 184.685 GWh (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA,2015).

As curvas de carga dos consumidores industriais possuem características muito distintas entre si, onde segundo FRANCISQUINI (2006), pode-se exemplificar quatro curvas típicas do setor as quais são estimadas por ramos de atividades e por

localização, e elas diferem grandemente do setor residencial, pois muitas indústrias se utilizam da cogeração durante o horário de ponta e o valor da energia comercializada durante esse período possui um valor elevado. Tais discrepâncias de consumo levam as mais variadas curvas de demanda, verificadas na figura 7.

**Figura 7 - Exemplos de curvas típicas industriais**

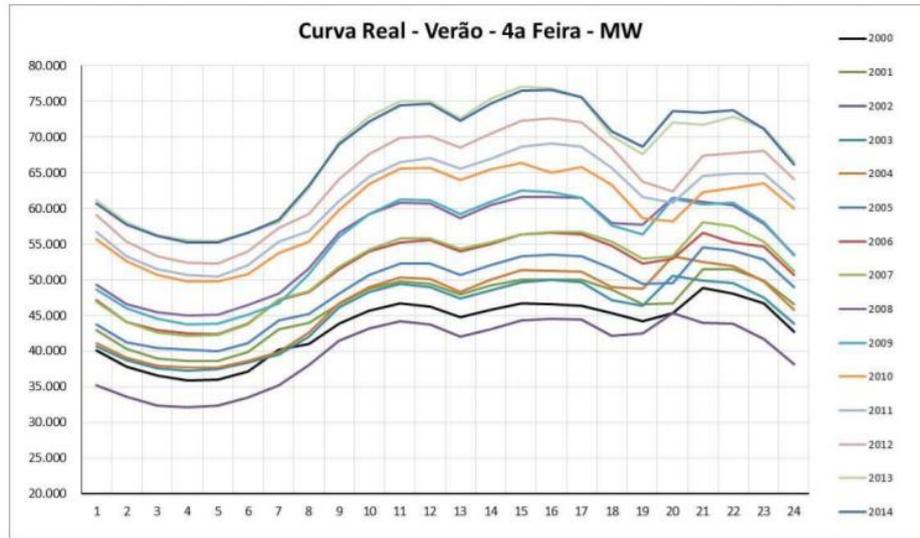


Fonte: Francisquini (2006)

As curvas médias gerais do Brasil, são demonstradas nas figuras 8 e 9, onde uma curva é a curva típica de verão e a outra a curva típica de inverno, ambas apresentam diferenças entre si (OPERADOR DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL, 2016).

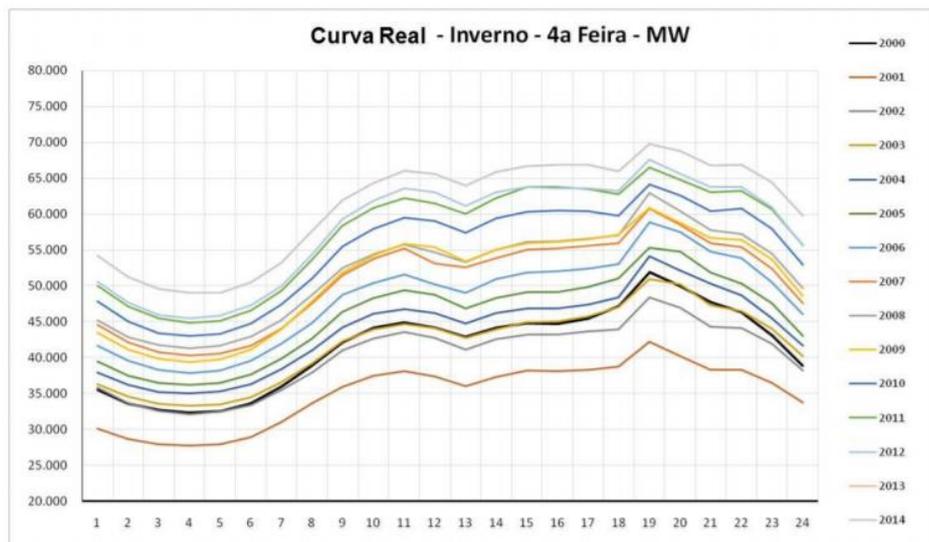
Na de verão a curva segue uma tendência de consumo significativamente alta durante todo o dia, principalmente devido ao uso de condicionadores de ar e durante o horário de ponta o consumo não aumenta bruscamente, devido ao uso menor do chuveiro elétrico. Já no inverno a curva típica possui um padrão mais comum, com um pico entre 18 e 21 horas, com o uso de chuveiros elétricos e menor uso de condicionamento de ar (OPERADOR DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL, 2016).

**Figura 8 - Evolução curva de carga real verão 2000-2014**



Fonte: Operador Do Sistema Elétrico Nacional (2016)

**Figura 9 - Evolução curva de carga real inverno 2000-2014**

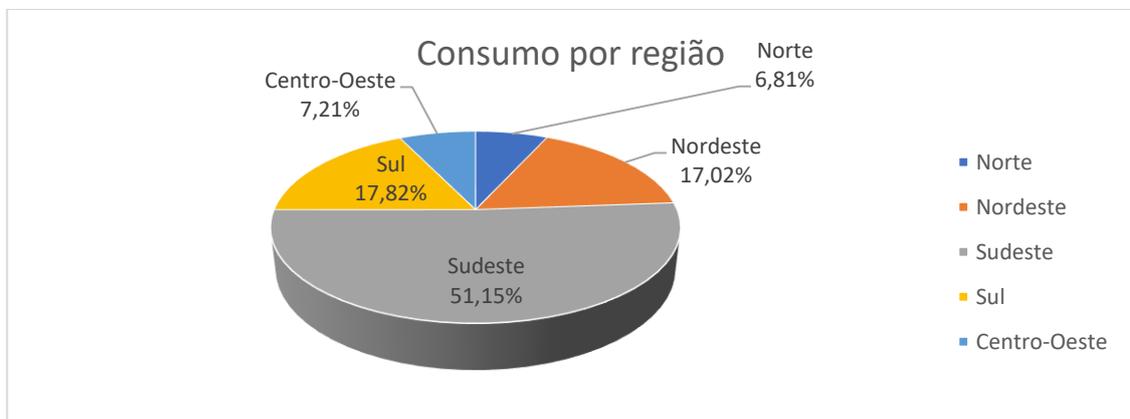


Fonte: Operador Do Sistema Elétrico Nacional (2016)

## 2.3 CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

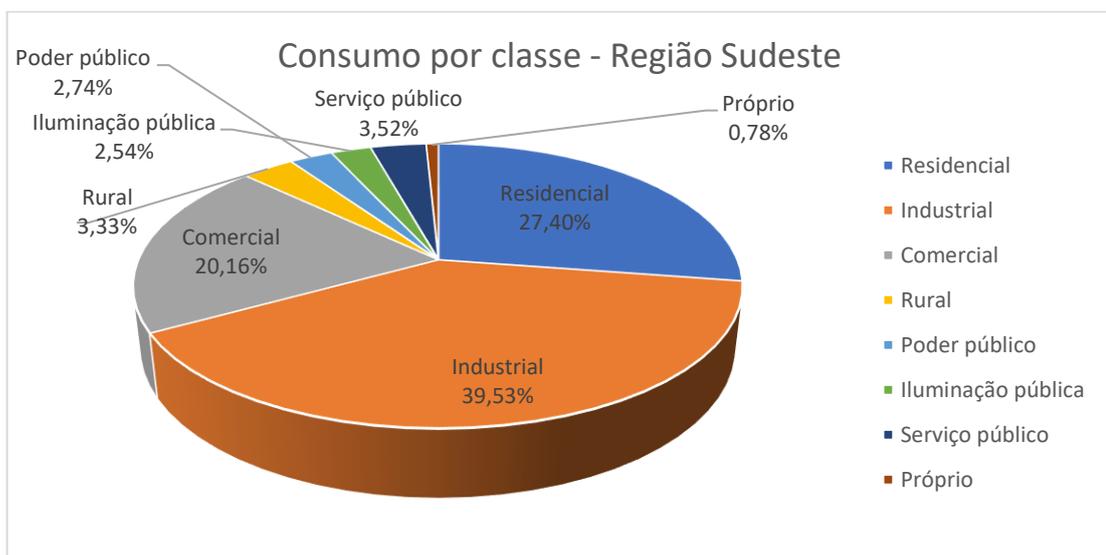
Segundo a EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2016), o maior consumo de energia elétrica do Brasil está localizado na região Sudeste do país e desse consumo os consumidores residenciais correspondiam em 2015 por 27,40% do consumo de energia na região, conforme as figuras 10 e 11. Resultados obtidos no balanço energético nacional realizado pela EPE, no ano de 2016, para as cargas residenciais da região sudeste responsáveis pelo consumo de energia elétrica.

**Figura 10 - Consumo de energia por região**



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

**Figura 11 - Consumo por classe - Região Sudeste**

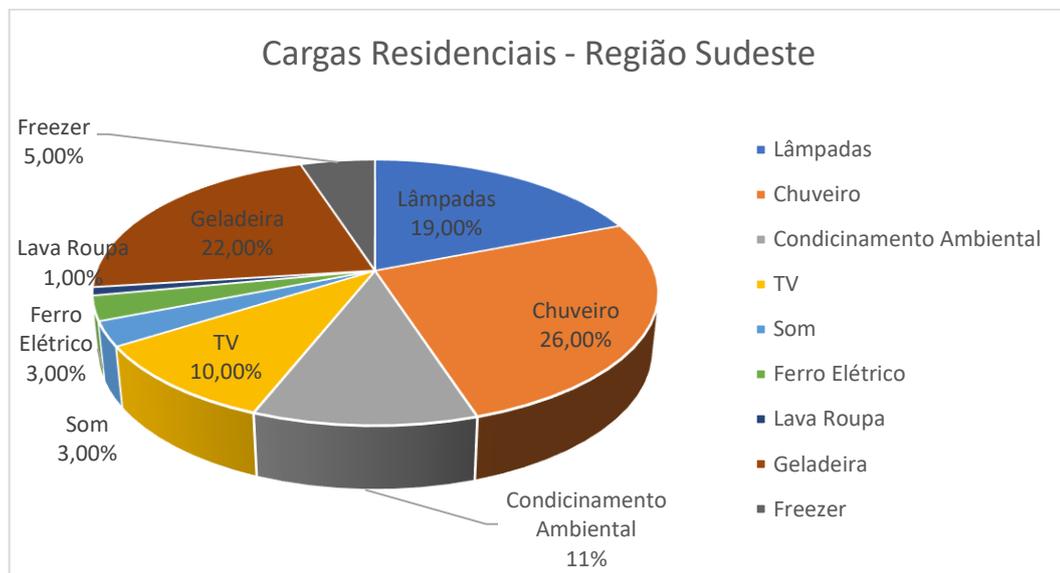


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

### 2.3.1 TIPOS DE CARGAS RESIDENCIAIS – REGIÃO SUDESTE

O consumo residencial típico na região Sudeste segundo a EPE (2016), relacionado ao chuveiro elétrico, geladeira e iluminação (lâmpadas) correspondem a 67% do consumo total, conforme se observa através da figura 13, do total de cargas relacionadas a uma residência, caso seja levado em conta os itens que no geral são mais utilizados durante o horário de ponta (horário este em que os trabalhadores retornam as suas residências próximo do anoitecer), chuveiro, lâmpadas (iluminação) e televisão excluindo-se a geladeira pois esta mantém um consumo constante durante todo o dia, chega-se a um total de 55% da carga utilizada em uma residência majoritariamente no horário de ponta e esta afirmação pode ser verificada na figura 12 na qual é demonstrada as cargas típicas residenciais da região Sudeste.

**Figura 12 - Cargas residenciais típicas região Sudeste**

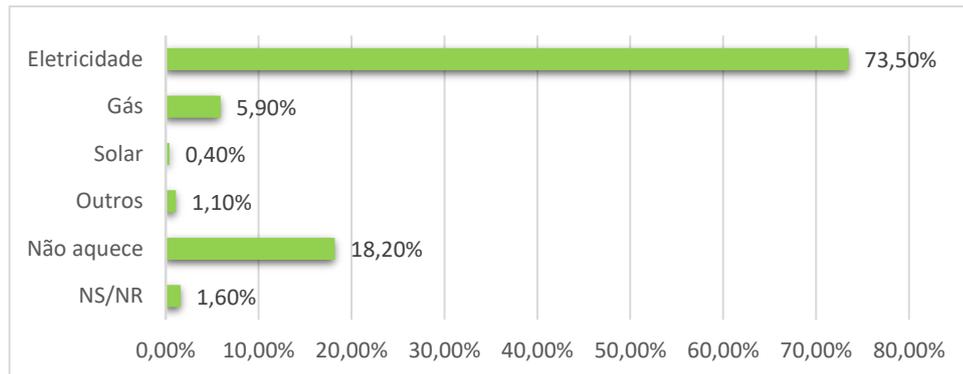


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

O chuveiro elétrico conseqüentemente possui um grande impacto no consumo residencial e em um panorama geral um grande impacto no cenário energético

nacional, pois conforme a ELETROBRÁS (2007), mais de 70% das residências brasileiras utilizam eletricidade como fonte primária para aquecimento de água, de acordo com a figura 14.

**Figura 13 - Fonte de energia para aquecimento de água para banho- panorama nacional**

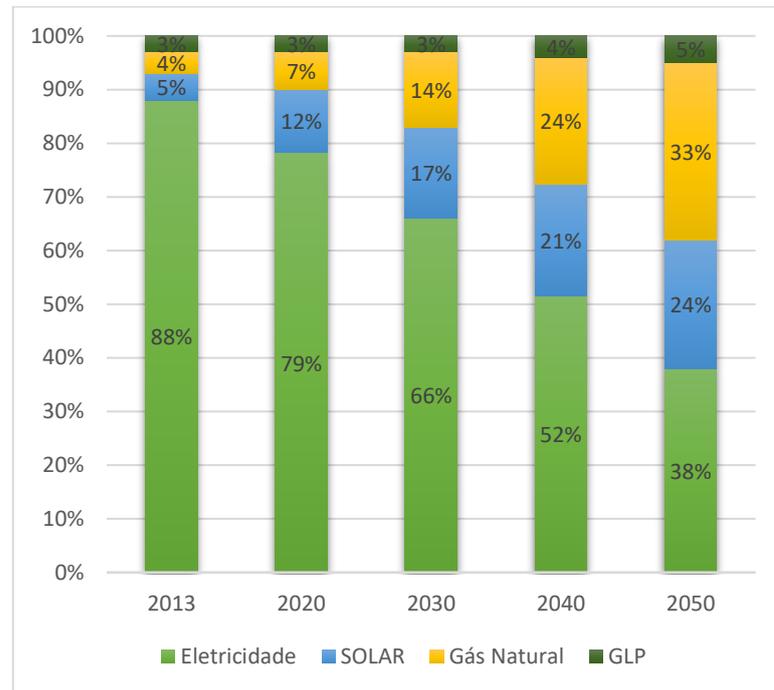


Eletrobrás (2007)

A maior parte das pessoas que dizem não aquecer a água são das regiões norte e nordeste. (ELETROBRÁS, 2007)

Segundo GHISI et al (2007), no estado de São Paulo aproximadamente 98% dos consumidores residenciais utilizam a energia elétrica como fonte de aquecimento de água para banhos, indicando que na região sudeste o impacto do chuveiro elétrico na demanda energética é muito grande.

Porém, este panorama deve ser alterado até 2050, pois segundo o PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050 (Empresa de Pesquisa Energética, 2016), é previsto que para os próximos anos haja um aumento da distribuição de gás natural e um crescimento da utilização de aquecimento solar, principalmente devido aos incentivos nos programas Minha Casa Minha Vida e conseqüentemente é esperado uma grande redução na utilização de chuveiros elétricos nos próximos anos, conforme a figura 14.

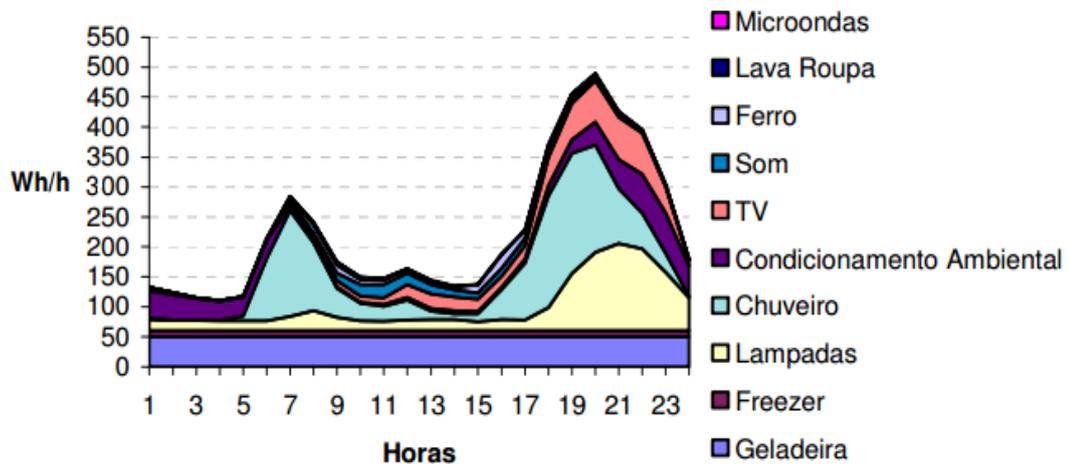
**Figura 14 - Participação das fontes de energia no aquecimento de água**

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014)

### 2.3.2 CURVAS DE CARGA RESIDENCIAIS

Em relação ao horário de ponta o chuveiro elétrico é o grande responsável pelo consumo neste horário. A figura 15, apresenta a curva de carga por aparelho, onde verifica-se que o grande pico é causado pelo chuveiro elétrico em 2 momentos diferentes durante o dia, das 5 às 8 horas da manhã (horário em que os trabalhadores estão saindo para o trabalho) com um menor pico e no horário das 18 às 21 horas (horário em que as pessoas retornam do trabalho). (ELETROBRÁS, 2007)

**Figura 15 - Curva de carga típica - Região Sudeste**



Fonte: ELETROBRÁS (2007)

### 2.3.3 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO

Segundo SANGOI (2015) em uma residência o sistema de aquecimento de água é composto por três componentes principais, que em geral, estão presentes em todas os sistemas: Sistema gerador de água quente, reserva e distribuição de água até os pontos de consumo. Cada parte possui uma importante atribuição no desempenho do sistema e na demanda energética. Nesta seção é abordado brevemente cada sistema existente com ênfase no sistema de acumulação elétrico.

#### 2.3.3.1 SISTEMAS INSTANTÂNEOS E DE ACUMULAÇÃO

Existem dois tipos de sistema de aquecimento de água, o instantâneo, ou de passagem, na qual a água aquecida vai direto da unidade aquecedora para o ponto de consumo, não possuindo reservatório. Assim Ibrahim et al (2014) discorre que o sistema sem reservatório possui uma série de vantagens tais como: sem reservatório de água quente, o que significa que a perda de calor no reservatório é eliminada, custo de operação mais baixo em comparação aos sistemas de acumulação, fornecimento de água quente ilimitado, devido a água ser aquecida enquanto passa pelo sistema,

ocupam pouco espaço, eficiência energética maior com desvantagem de necessitar de uma vazão mínima para funcionamento, demora da chegada da água quente no ponto de consumo, possibilidade de não atender vários pontos de consumo simultaneamente, além de nos sistemas elétricos, uma alta demanda energética instantânea ser requerida.

Já no sistema de acumulação, a água é aquecida e então armazenada aguardando uma posterior utilização. Segundo CHAGURI (2009), esse sistema pode ser composto por um reservatório com resistência elétrica ou queimador (sistema a gás) onde a troca de calor pode ser realizada através de trocadores de calor de contato direto ou indireto, ou ainda pode ser do tipo conjugado, quando existe um aquecedor instantâneo junto ao reservatório, nos sistemas de acumulação.

A água armazenada precisa se manter na temperatura desejada, sendo assim existe a necessidade de que a estrutura do reservatório possua a menor perda térmica possível, sendo necessário a utilização de isolantes térmicos no reservatório. Vários autores como Boait et al. (2012) e Vieira et al. (2014), indicam que as perdas térmicas são as principais desvantagens dos sistemas de acumulação, portanto, um sistema mal dimensionado pode resultar em um consumo excessivo de energia para que a água se mantenha aquecida, assim como um sistema que o volume de água aquecida utilizada seja muito aquém do volume armazenado ocasiona um sistema ocioso o que também consome energia desnecessariamente para manter o reservatório aquecido. Vieira et al. (2014), aponta em seu estudo que quanto maior o volume dos reservatórios, mais energia o sistema consome.

Porém uma das vantagens do sistema de acumulação, é a utilização da energia fora do horário de ponta, uma vantagem perante aos sistemas instantâneos que demandam a energia no momento em que a água quente é utilizada, além de poder também fornecer grandes vazões de água quente simultaneamente, desde que dimensionado para isso (WIEHAGEN e SIKORA, 2003).

### 2.3.3.2 GERAÇÃO DE ÁGUA QUENTE POR MEIO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como explicado na seção 2.3.2 diversas fontes são utilizadas no Brasil para aquecimento de água, porém a utilização energia elétrica para tal fim, no caso da região sudeste atinge quase 88% das residências brasileiras.

A eletricidade é utilizada principalmente em aquecedores individuais, tais como chuveiros e torneiras ou para aquecedores de acumulação.

Um chuveiro elétrico é um dispositivo que possui uma resistência elétrica em seu interior, que aquece a água conforme a passagem da mesma pelo chuveiro, além disso, o chuveiro também possui regulagens de temperatura, que tanto podem ser através da regulagem da vazão ou pela chave de ajuste de temperatura, que possui geralmente duas ou quatro posições ou mesmo controle eletrônico (NASPOLINI; RUTHER, 2010).

A praticidade e o baixo custo do chuveiro elétrico são os responsáveis pela grande maioria das residências do estado de São Paulo utilizarem-no para aquecimento da água para banho (ELETROBRÁS, 2007). Este equipamento possui um alto consumo energético e é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica do usuário. Desse modo outra característica é que por ser um sistema de aquecimento instantâneo (consumo de energia simultaneamente ao uso) sua utilização se dá grande parte durante o horário de ponta, pois neste horário que a maioria das pessoas faz o uso dos chuveiros, gerando problemas para o setor elétrico, pois aumenta a demanda da rede, que já é alta (ALTOÉ, 2012).

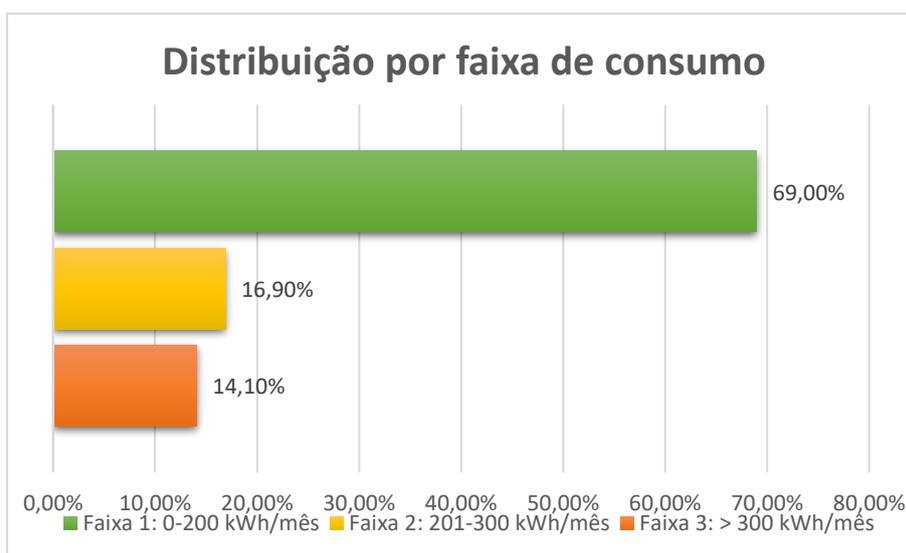
Já os aquecedores elétricos de acumulação consistem em reservatórios de água quente com uma resistência em seu interior. Segundo Ibrahim et al. (2014), os aquecedores elétricos possuem algumas vantagens em relação aos a gás: é mais seguro pois evita problemas relacionados a combustão, não realiza emissões de gases poluentes, apresenta uma capacidade melhor de isolamento, logo uma eficiência maior, pode ser instalado em qualquer lugar (não necessita de ventilação) além de possuir um custo de manutenção significativamente menor, apesar que caso seja levado em consideração a fonte de energia para geração da energia elétrica utilizada pelo sistema, pode-se considerar que o sistema polua indiretamente salvo quando esta energia elétrica provém de fontes renováveis ou limpas. Wiehagen e

Sikora (2003) compararam a eficiência de aquecedores elétricos instantâneos e de acumulação, resultando na conclusão que o sistema instantâneo é mais eficiente, pois as perdas térmicas são quase nulas, logo a água pode ser aquecida a uma temperatura menor. Em sistemas que o aquecimento ocorre no próprio consumo (chuveiros elétricos, por exemplo) a eficiência é superior a 95% (INMETRO, 2018). Já os aquecedores elétricos por acumulação, os chamados boilers elétricos, possuem eficiências que variam entre 68,7% e 81,9% (INMETRO, 2018).

#### 2.3.4 CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICAS DOS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

No ano de 2005 o PROCEL realizou uma pesquisa envolvendo 2100 domicílios na região Sudeste, utilizando tratamento estatístico, dividindo os resultados obtidos em três faixas de consumo: faixa 1 (0-200 kWh/mês); faixa 2 (201 – 300 kWh/mês) e faixa 3 (> 301 kWh/mês), chegando ao gráfico apresentado na figura 16.

Figura 16 - Distribuição por faixa de consumo

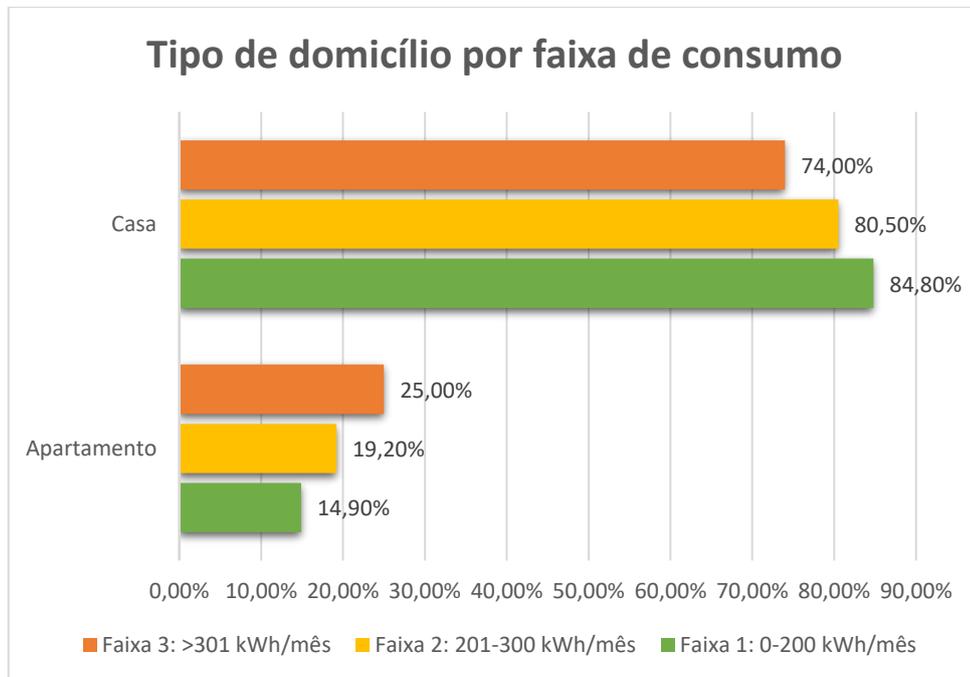


Fonte: Procel (2007)

A pesquisa também relacionou diversos dados do perfil de consumo de cada faixa, as figuras 17, 18 e 19 demonstram o tipo de domicílio por faixa de consumo, a

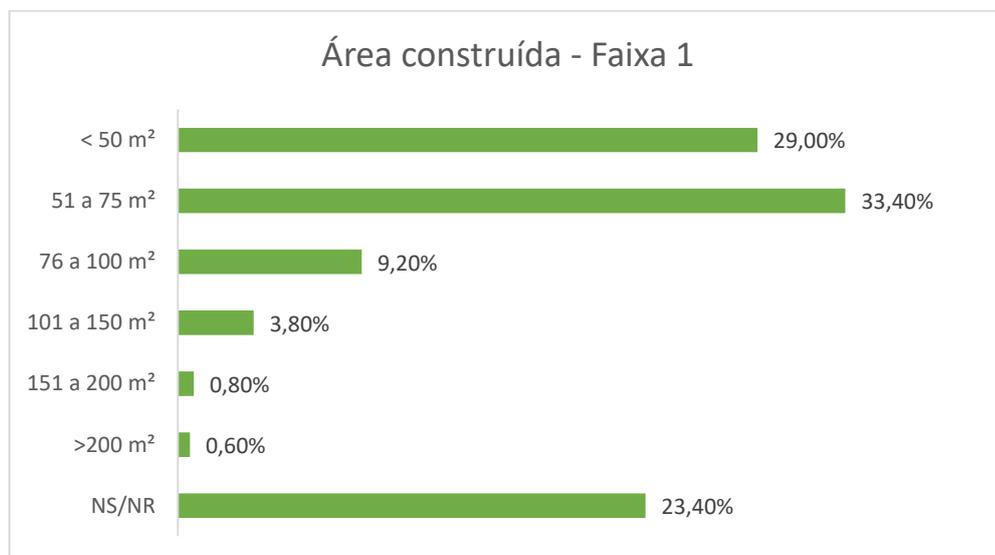
área construída por faixa de consumo, esta com enfoque na faixa 1 (consumo de 0-200 kWh/mês), e média de moradores nos domicílios por faixa de consumo.

**Figura 17 - Tipo de domicílio por faixa de consumo**

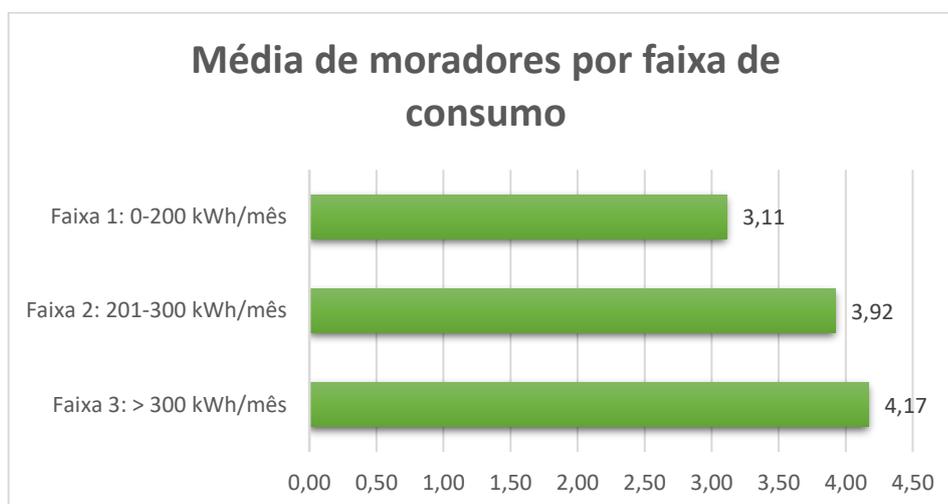


Fonte: Procel (2007)

**Figura 18 - Área construída dos domicílios na faixa 1 - consumo 0-200 kWh/mês**



Fonte: Procel (2007)

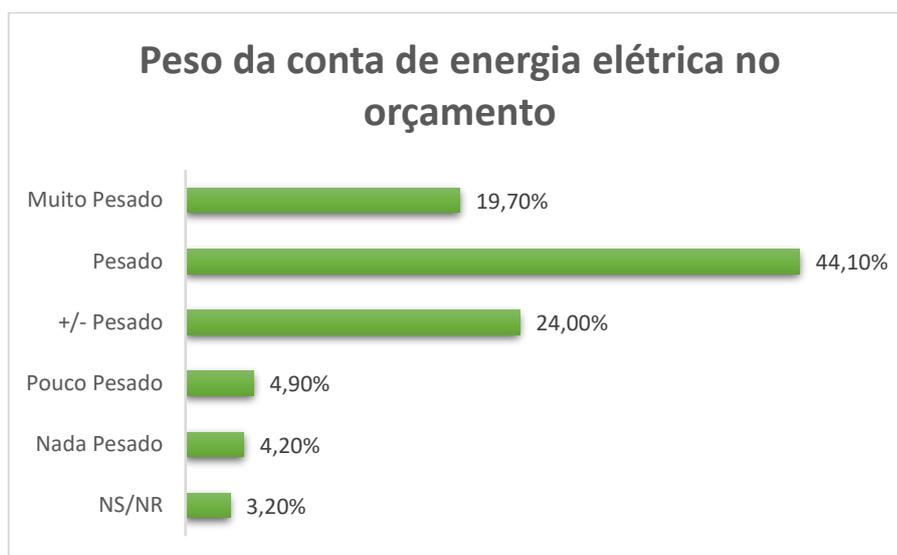
**Figura 19 - Média de moradores por faixa de consumo de energia**

Fonte: Procel (2007)

Como indicado nas figuras anteriores, fica claro quanto mais moradores e quanto maior a área construída maior o consumo de energia elétrica e ainda segundo o PROCEL em 2007 dos domicílios pesquisados em relação a renda familiar, foi constatado que:

- 18,00% dos entrevistados que não declararam a renda familiar mensal;
- 50,30% dos domicílios estão na faixa de renda familiar entre 1 e 5 salários mínimos;
- 3,30% dos domicílios possuem renda familiar mensal menor do que 1 salário mínimo;
- 0,10% dos entrevistados declararam renda superior a 40 salários mínimos.

Ainda em relação a renda familiar 63,80% dos consumidores consideram a conta de energia elétrica pesada e muito pesada, de acordo com a figura 20.

**Figura 20 - Peso da conta de energia elétrica no orçamento**

Fonte: Procel (2007)

E no geral a maioria das pessoas considera que a conta de energia possui um impacto significativo no orçamento familiar, onde apenas 9,1% afirmam que a conta de energia não possui impacto em seu orçamento.

### 2.3.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA CIDADE DE LINS-SP

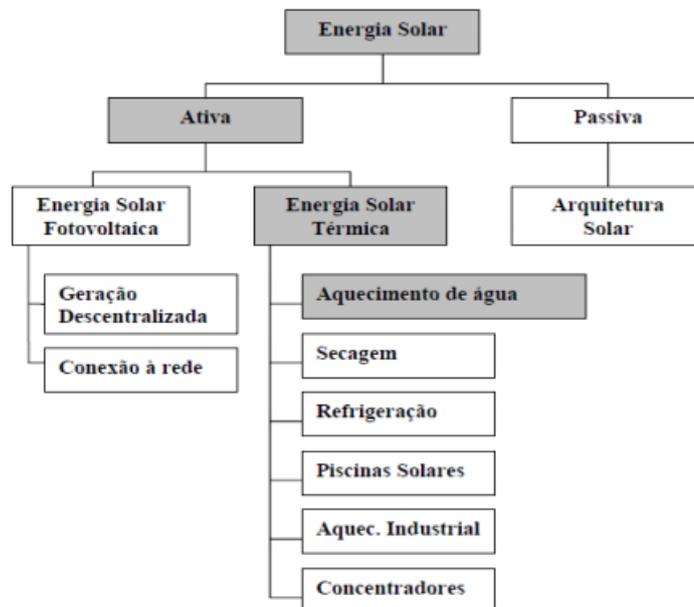
Em 2017 a cidade de Lins-SP consumiu um total de 156.254.153,00 kWh, deste valor 71.465.461,00 kWh (45,73%) correspondem ao consumo residencial, sendo um total de 30.626 unidades consumidoras (SÃO PAULO, 2017).

Seguindo as estatísticas estabelecidas pelo PROCEL (2007), 69% das unidades consumidoras correspondem a consumidores da faixa 1 (0 – 200 kWh/mês), ou seja, 21.131 unidades consumidoras, sendo as responsáveis pela maior parte do consumo residencial da cidade de Lins-SP.

## 2.4 ENERGIA SOLAR

A energia solar, que é obtida diretamente do sol, pode ser utilizada na forma passiva, uso mais comum na arquitetura bioclimática, e também na forma ativa, meio em que se utilizam dispositivos capazes de convertê-la diretamente em energia elétrica, a exemplo dos painéis fotovoltaicos, ou em energia térmica, através de coletores planos e concentradores, conforme fluxograma apresentado na figura 21, onde é possível observar os tipos de energia solar e seus usos (TOLMASQUIM, 2003).

**Figura 21 - Fluxograma energia solar**



Fonte: Tomalsquim (2003)

Onde dos itens apresentados no fluxograma a energia solar fotovoltaica é a que mais apresenta possibilidades de utilização, pois a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos abre inúmeras possibilidades para a sua utilização.

## **2.4.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

A energia solar fotovoltaica, por definição, é a energia produzida através da luz solar, podendo ser produzida mesmo em dias nublados ou chuvosos e quanto maior a radiação solar maior será a quantidade de energia produzida, utilizando células fotovoltaicas fabricadas em material semicondutor, sendo geralmente de silício (PORTALSOLAR, 2017).

### **2.4.1.1 SISTEMAS DE MICRO-GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Com o sistema de “smart grid” cada vez mais difundido (redes elétricas inteligentes, que permitem melhor controle, automação, monitoramento, comunicação e armazenamento da energia elétrica, permitindo assim melhor utilização dos recursos existentes) permite-se a interligação de pequenas fontes geradoras de energia elétrica ao sistema, onde tradicionalmente, a geração de energia elétrica é realizada em empreendimentos de grande escala, afastados dos polos de consumo e com riscos ambientais mais elevados (CABELLO e POMPERMAYER, 2013).

O sistema smart grid não possui ainda uma definição muito clara, porém isso não impede que características comuns sejam listadas. Segundo Cabello e Pompemayer (2013 apud Potter Archambault e Westrick, 2009), a maior parte das definições inclui a utilização de medidores eletrônicos e de transmissão de dados para uma maior utilização das informações sobre a rede, possibilitando assim a tomada de decisões operacionais mais corretas. É mencionado ainda uma maior automação e utilização de protocolos de operação mais dinâmicos, que possibilitam uma resposta imediata perante a informação recebida do consumidor, essas características permitiriam uma melhor alocação de recursos que reduziriam a demanda de ponta, detecção mais rápida e remota de problemas, além disso, possibilitariam uma diminuição nas fraudes, diminuindo a necessidade de investimentos para aumento da capacidade de geração, transmissão e distribuição.

Porém a grande vantagem seria a possibilidade da utilização cada vez maior de fontes de alternativas de geração de energia de dimensões menores, de forma acessível e nítida, como um sistema “plug and play” (Falcão, 2009).

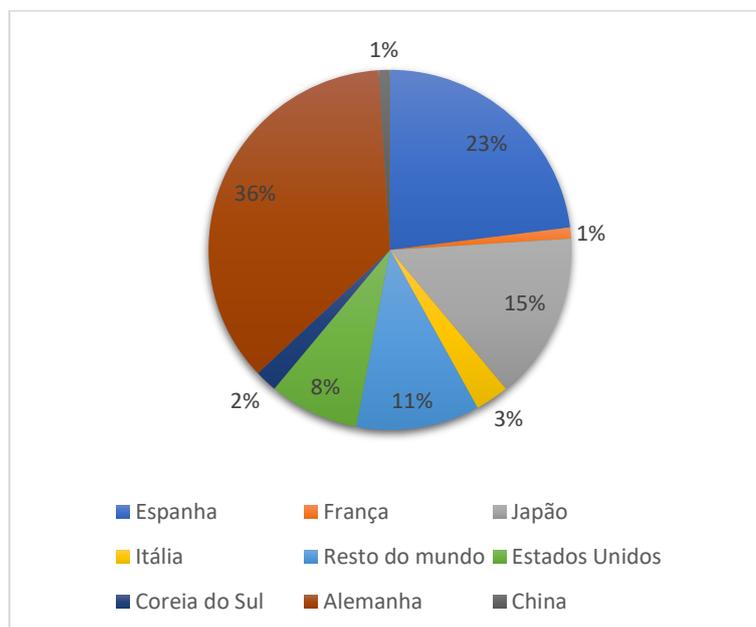
Segundo Cabello e Pompermayer (2013) uma das alternativas de micro-geração elétrica distribuída são os sistemas de micro-geração elétrica fotovoltaica, com mais facilidade de instalação e custos cada vez menores, sendo assim uma tecnologia que tende a ser cada vez mais usada nos próximos anos, que conjugada com as smart grids permitem que a energia excedente gerada durante o dia seja disponibilizada para a rede e a noite o consumo é feito com base na energia advinda da concessionária.

A tecnologia fotovoltaica é antiga, tendo sido criada por Alexandre Edmond em 1839, porém devido ao alto custo era pouco utilizada, entretanto com a diminuição de custos, os painéis fotovoltaicos estão cada vez mais difundidos (Braun-Grabolle, 2010) permitem assim sua utilização em áreas urbanas, o que diminui os gastos com transmissão e geralmente possui pouca necessidade estrutural com relação a instalação. Inclusive Jannuzzi, Gomes e Varella (2009) indicam que as novas tecnologias podem trazer inclusive benefícios estéticos as edificações.

#### **2.4.1.2 A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO**

Muitos países vêm expandindo significativamente a capacidade instalada de painéis fotovoltaicos e a Alemanha é hoje líder mundial em capacidade instalada, com destaque também para os Estados Unidos, Japão e Espanha. Estima-se que a capacidade total instalada seja em torno de 14.500 MW. (Cabello e Pompermayer, 2013), a figura 22 mostra a participação de potência instalada para geração fotovoltaica no mundo.

**Figura 22 - Participação na potência instalada para geração fotovoltaica no mundo**



Fonte: IEA (2010)

O que difere esses países do restante do mundo é a forte presença no mercado de geração distribuída e incentivos governamentais, que possibilitaram esse desenvolvimento. Alemanha e Espanha se desenvolveram por meio de um sistema de preços, enquanto nos Estados Unidos e Japão, os objetivos foram alcançados devido a subsídios governamentais, facilidades na aquisição de equipamentos, isenções de impostos, viabilizando assim o investimento, cabendo ressaltar que diferentes políticas governamentais desde que bem implementadas levam ao desenvolvimento do mesmo modo (Jannuzzi, Gomes e Varella, 2009).

Segundo estudo de Cabello e Pompermayer (2013) em diversos países foram adotadas diferentes políticas, dentre as quais cabe ressaltar a política alemã que devido a necessidade de reduzir o uso de combustíveis fósseis e nuclear, as questões de custos, segurança e meio-ambiente, incentivou-se o consumidor que adotasse a geração fotovoltaica através de um sistema de tarifa prêmio, que pagava por toda a energia que este fornecesse a rede um valor superior ao da tarifa convencional praticada pela concessionária. Isto incentivou além da utilização dos fotovoltaicos, os produtores de componentes. No Japão os subsídios governamentais cobriam metade dos custos de instalação, porém esses subsídios eram decrescentes ano a ano para que esta fonte de energia se adaptasse ao mercado de forma estável. Enquanto o

governo praticou a política de subsídios, o crescimento no setor foi da ordem de 40% ao ano, porém com o fim do programa em 2007, houve uma queda sensível no número de novas instalações, demonstrando claramente a importância de subsídios governamentais. Nos Estados Unidos os incentivos são caracterizados por serem locais e graduais, com os principais programas se concentrando nos estados da Califórnia e Nova Jersey. Dentre os benefícios estão descontos nas contas de energia, procurando assim aumentar a participação na matriz energética deste tipo de energia. Por fim na Espanha foi adotado como na Alemanha uma tarifa prêmio que viabilizava o investimento, que devido à proximidade com Alemanha o mercado espanhol foi bastante beneficiado pelo desenvolvimento alemão no período, em 2007, o crescimento espanhol no mercado fotovoltaico, foi da ordem de 450%. Todos esses incentivos tiveram um impacto muito grande nos insumos relacionados a geração fotovoltaica, na Europa, por exemplo, nos anos 2000 o preço dos painéis fotovoltaicos era cerca de 4 Euros por watt de potência, enquanto no ano de 2010 o valor do painel já estava aproximadamente 1,7 Euros por watt de potência.

#### **2.4.1.3 A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

No Brasil a energia fotovoltaica é atualmente mais difundida em sistemas de eletrificação rural ou sistemas isolados da rede em localizações remotas (sistema FV descentralizado), muitas vezes para cercas eletrificadas, refrigeração de vacinas e medicamentos em postos de saúde ou fazendas, entre outros usos como aponta CABRAL e VIEIRA (2012).

Ainda segundo o estudo realizado por Cabello e Pompermayer (2013) esse panorama se deve devido a alguns fatores, países como Alemanha, Espanha e Japão no geral utilizam de tecnologias para geração de energia poluidoras ou que possuem riscos, tais como termoelétricas ou usinas nucleares, desse modo a motivação ambiental exerce um incentivo importante para a utilização de geração fotovoltaica. No Brasil, país tradicionalmente utilizador de hidrelétricas, que apesar do impacto ambiental inicial de sua implantação, são fontes de energia limpa e com poucos riscos. Além disso existem outras tecnologias à disposição para geração de energia tais como

a eólica e a biomassa, que possuem custos inferiores à produzida pela tecnologia fotovoltaica.

Conforme Cabello e Pompermaer (2013) os incentivos atuais para um maior investimento em eficiência energética, estão relacionados às perdas devido a fraudes e ao pico de consumo de energia elétrica, este que ocorre durante o horário de ponta, entre as 19h00 e 21h00. Esta última motivação dificilmente seria atendida com a utilização de painéis fotovoltaicos, devido a esse sistema gerar energia somente enquanto há luz solar, sem um método de armazenamento de energia, podendo inclusive agravar o problema, tornando o sistema mais ocioso durante o dia pois o sistema deve ser dimensionado para o pico. Já com relação aos consumidores comerciais, o maior consumo se dá durante o dia, portanto esse tipo de investimento se tornaria mais viável em estabelecimentos comerciais.

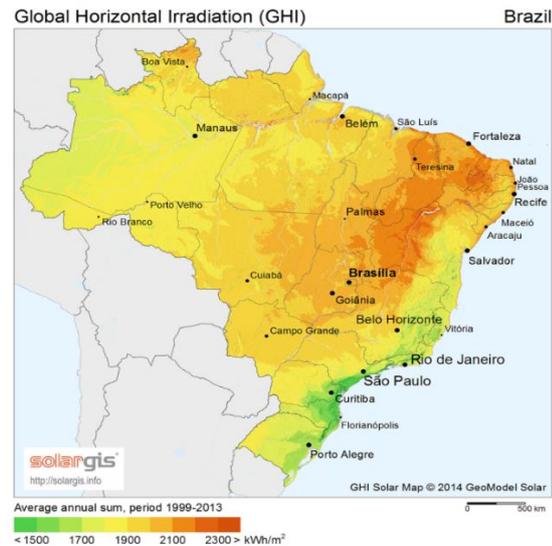
Esse panorama começa a ser alterado atualmente, devido a uma maior utilização de termoelétricas para geração de energia, a inserção de usinas hidrelétricas a fio d'água, além, dos polos geradores estarem cada vez mais distantes, o que necessita um investimento maior em transmissão segundo Cabello e Pompermayer (2013) e a resolução da ANEEL 432/12 que deixa claro tanto para o consumidor quanto para a concessionária como cada um deve se portar perante a utilização de geração distribuída através de painéis fotovoltaicos, onde, o excedente de energia gerado é transformado em créditos para o consumidor para ser utilizado durante os períodos subsequentes em que o seu montante gerado é menor do que o consumido.

Além disso outros fatores significativos também podem favorecer a expansão dos fotovoltaicos no Brasil pois possui grandes reservas de quartzo e silício (CGEE, 2008), os quais são matérias-primas para a produção de painéis fotovoltaicos, além de possuir um potencial solar muito favorável a geração fotovoltaica, possuindo em média níveis de insolação que variam de 4,25 a 5,50 kWh/m<sup>2</sup>/dia, além de receber sol em média 280 dias por ano. Em comparativo Alemanha e Espanha, ambas na vanguarda de geração fotovoltaica de energia, possuem respectivamente, entre 2,5 e 3,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia e entre 3,3 a 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia, (Pereira et al, 2006; EPE, 2012b).

Nas figuras 23 e 24, fica demonstrada a diferença entre o potencial energético brasileiro e o alemão com relação a energia fotovoltaica, onde na Alemanha pouquíssimas áreas possuem potencial energético superior a 1200 kWh/m<sup>2</sup> e no Brasil

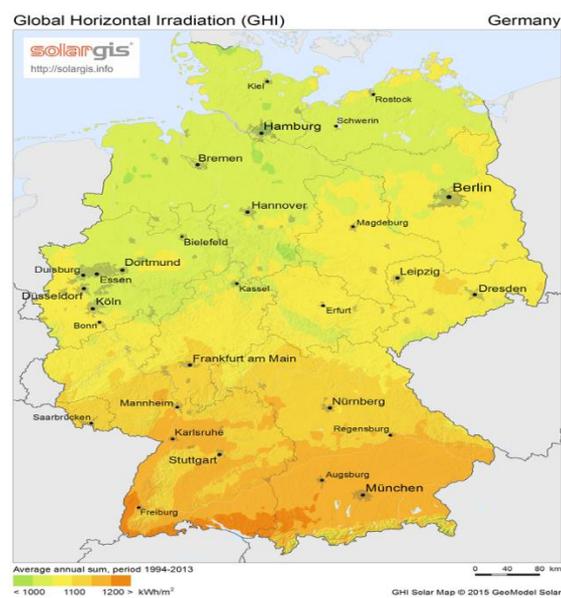
o menor valor da escala já é superior a 1500 kWh/m<sup>2</sup>. Desse modo verifica-se que a menor irradiação média encontrada no Brasil é 25% maior do que a maior irradiação média verificada na Alemanha, portanto o Brasil possui um elevado potencial de geração fotovoltaica (Solargis, 2017).

**Figura 23 - Irradiação Global Horizontal Brasil. Fonte**



Fonte: Solargis (2017)

**Figura 24 - Irradiação solar horizontal - Alemanha**



Fonte: Solargis (2017)

Porém, alguns obstáculos não podem ser ignorados, a produção nacional de materiais é muito baixa e não existe infraestrutura adequada para produção em escala necessária, devido ao alto custo e à falta de uma cadeia produtiva consolidada, ainda que nos últimos anos a tecnologia de geração fotovoltaica vem se tornando mais acessível (BRASIL, 2009).

#### **2.4.1.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA**

Segundo a resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015) 687/15 que complementa a resolução anterior 482/12 a partir 1 de março de 2016, permite o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se micro-geração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e mini-geração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades geradoras. Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”. Outra inovação da resolução diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou mini-geração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os

consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet.

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses (ANEEL, 2015).

Um exemplo é o da micro-geração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora (ANEEL, 2015).

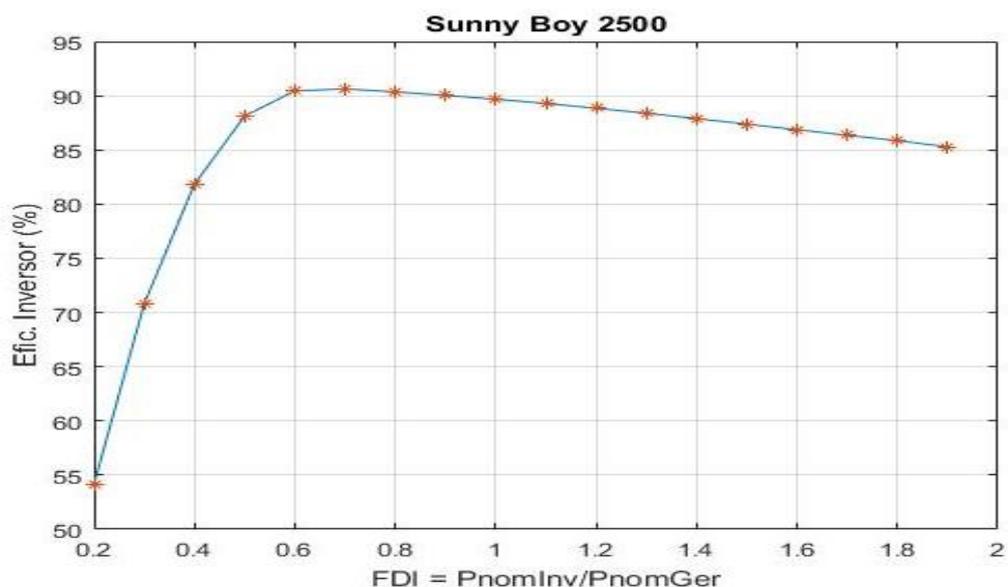
Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou mini-geração distribuída – a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2015).

Por fim, é importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente (ANEEL, 2015).

### 2.4.1.5 CONDIÇÕES TÉCNICAS PARA ESCOLHA DE UM SISTEMA FV

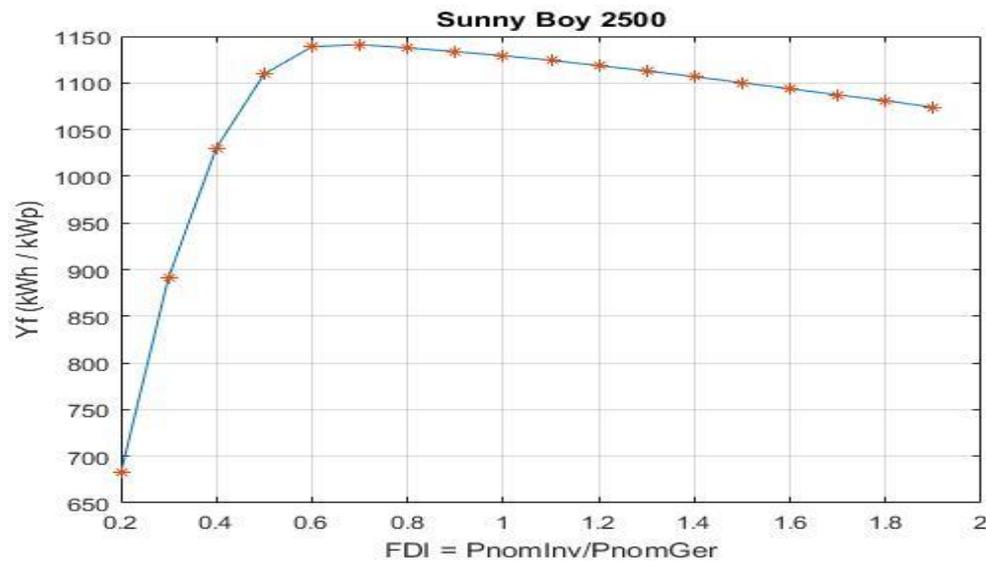
Deve-se levar em consideração inicialmente o valor de geração necessário, após estabelecido a quantidade de kW que o sistema gerará, são definidos o módulo fotovoltaico e o inversor necessário, os geradores FV são definidos pela unidade de Wp ou seja Watts gerados no pico (condições ideais de geração, 1000 W/m<sup>2</sup> de insolação, 25° C) um módulo com 230 Wp significa que em condições ideais ele gerará 230 Watts de potência, ao definir o módulo que será utilizado, são necessários: verificar os parâmetros elétricos (condições padrão de teste); e os parâmetros térmicos. Com base nesses dados passa-se para a escolha de um inversor que se adeque. Escolhido o inversor, é necessário verificar os parâmetros do inversor, pois estes estabelecem como é montado o sistema FV, para que este não atinja a voltagem e nem a corrente máxima suportada pelo inversor. Após isso, é necessário verificar os dados meteorológicos do local em que será instalado estabelecendo assim a melhor inclinação e posição dos módulos. As curvas representadas nas figuras 25, 26 e 27 demonstram como exemplo o inversor Sunnyboy 2500 com um módulo com potência Wp 240 (Zilles et al, 2016).

**Figura 25 - Eficiência anual do inversor em função do FDI**



Fonte: Zilles et al (2016)

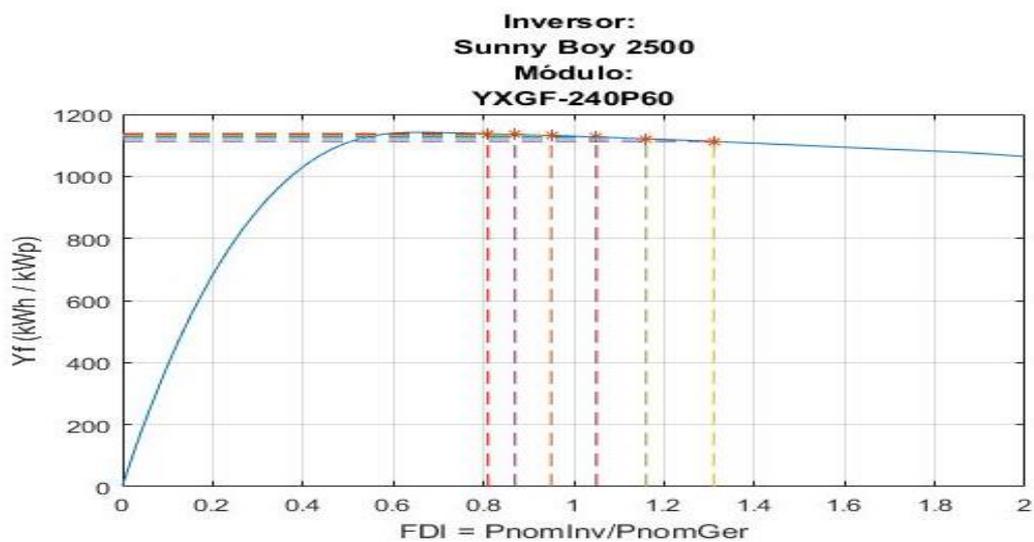
**Figura 26 – Produtividade anual do SFCR em função do FDI para as condições de Belém-PA**



Fonte: Zilles et al (2016)

Na figura 27, as linhas significam diferentes valores de FDI, sendo os mais usuais (Zilles et al, 2016)

**Figura 27 – Produtividade anual do SFCR em função do FDI para as condições de Belém-PA considerando os módulos**



Fonte: Zilles et al (2016)

Através da análise das curvas é possível verificar se os parâmetros necessários são atendidos e se o inversor escolhido atende os mesmos.

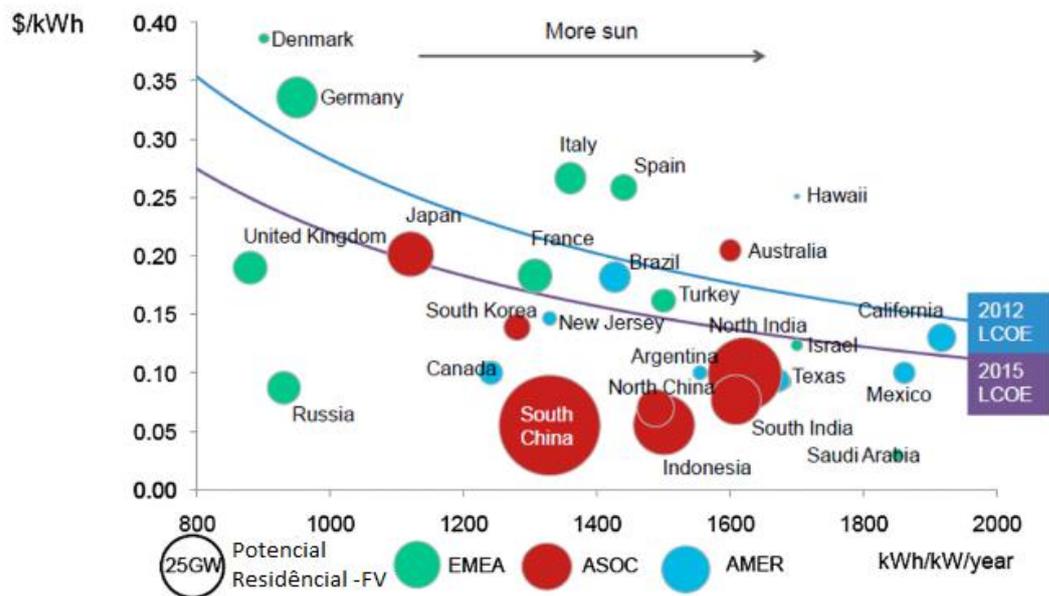
#### **2.4.1.6 CUSTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Segundo Bazilian et al (2013) os custos dos módulos de energia fotovoltaico vem diminuindo ano a ano, a uma taxa que varia de 15% a 24% por ano, considerando que em 2003 o custo por Watt pico girava em torno de \$3,00/Wp, em 2012 os custos já estavam próximos de \$0,85/W para módulos fabricados na China de silício multicristalino e aproximadamente \$1,01/W para módulos de silício mono cristalino não fabricados na China, e esses preços poderiam estar ainda menores, caso em 2008 devido a uma falta de matéria prima os módulos saltaram até o preço de \$3,88/Wp, decaindo rapidamente no ano de 2009 para \$2,00/Wp. Já no Brasil em 2016 o preço médio por Watt pico instalado foi de R\$7,51 ou \$2,26, vale dizer que este valor corresponde ao custo por capacidade instalada e não o custo final por kWh gerado, o que ainda apresenta um custo elevado, mas a tendência anual continua sendo a queda dos custos (AMÉRICA DO SOL, 2017).

Os módulos fotovoltaicos historicamente correspondem a cerca de 60% dos custos envolvidos em um sistema fotovoltaico de geração de energia, portanto a redução dos custos dos módulos causa uma grande diminuição dos custos do sistema inteiro. A figura 28, demonstra a perspectiva de países que já atingiram ou irão atingir a paridade de custos de energia fotovoltaica com a fornecida pela rede elétrica, onde

EMEA (Europa, África e Oriente Médio), ASOC (Oceania e Ásia) e AMER (Continento Americano), sendo cada país também representa o possível mercado para a utilização de fotovoltaico, chegando numa potência de 25 GWatts para fotovoltaicos residenciais. (Bazilian et al, 2013)

**Figura 28 - Paridade de custos de energia fornecida pela rede elétrica**



Fonte: Adaptado de Bazilian et al (2013)

Em 2012 alguns países como Dinamarca, Alemanha, Itália, Espanha e partes da Austrália já haviam ultrapassado a LCOE (Paridade de custos com a rede medido em \$/kWh), chegando ao ponto em que o imóvel é capaz de receber um retorno de 5% ou mais do valor investido no sistema fotovoltaico apenas com a energia gerada pelo mesmo (Bazilian et al, 2013).

Isto demonstra que a energia Fotovoltaica está se tornando cada vez mais viável e se em países como a Alemanha que possui índice de irradiância solar

sensivelmente menor que o Brasil isto já é realidade, a tendência é que o Brasil logo atinja a paridade de custos com a rede (Bazilian et al, 2013).

### 2.4.1.7 CUSTO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Segundo Cabelo e Pompermayer (2013) chegou-se a um valor de R\$ 0,622/kWh ou R\$ 622,00/MWh para um sistema de fotovoltaico conectado à rede para atendimento de um consumidor de baixa renda com consumo de até 81 kWh/mês e um custo de R\$ 1,478/kWh para um sistema fotovoltaico com baterias para armazenamento da energia gerada, porém sem levar em conta a vida útil menor das baterias em relação ao sistema como um todo.

No noroeste do estado de São Paulo, mais especificamente na cidade de Lins, é possível verificar os custos de energia elétrica para os consumidores residenciais, conforme indica a tabela 1.

**Tabela 1 - Tarifas CPFL - Lins/SP**

Tarifas Grupo B	Valor (R\$/MWh)	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha
0 – 30 kWh	43,84	88,37	95,37	98,87
31 – 100 kWh	75,16	151,49	163,49	169,49
101 – 220 kWh	112,74	227,24	245,24	254,24
> 220 kWh	125,27	252,49	272,49	282,49

Fonte: Adaptado de CPFL (2017)

As bandeiras indicam um acréscimo no valor dependendo da utilização de termoelétricas para geração de energia.

- Bandeira Verde: Hidrelétricas operam normalmente (geração térmica até R\$ 211,28/MWh – Não há alteração no valor da energia;
- Bandeira Amarela – Usinas térmicas ativadas (geração térmica de R\$ 422,56/MWh a R\$ 610,00 /MWh – Acréscimo de R\$ 1,50 a cada 100 kWh consumido;
- Bandeira Vermelha patamar 1 - Usinas térmicas ativadas (geração térmica de R\$ 211,28/MWh a R\$ 422,56 /MWh – Acréscimo de R\$ 3,00 a cada 100 kWh consumido;
- Bandeira Vermelha patamar 1 - Usinas térmicas ativadas (geração térmica maior ou igual a R\$ 620,00 /MWh – Acréscimo de R\$ 4,50 a cada 100 kWh consumido.

Além disso nesses valores não estão inclusos os impostos federais (PIS/PASEP e COFINS).

Conforme a tabela da CPFL e segundo Cabelo e Pompermayer (2013), os valores da energia fotovoltaica ainda estão em um patamar acima dos fornecidos pela rede, porém o Brasil vem caminhando para a paridade de custos com a rede.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia, bem como os dados e detalhes pertinentes que serão utilizados para a concretização deste trabalho, dividindo-se nas seguintes etapas conforme a tabela 2.

**Tabela 2 - Etapas do método**

1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Busca sistemática na legislação vigente</li> <li>• Revisão sobre sistemas fotovoltaicos</li> <li>• Revisão sobre sistemas de aquecimento de água elétricos por acumulação</li> </ul>
2	ESTUDO DAS LEGISLAÇÕES E TRABALHOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento dos parâmetros de geração fotovoltaica</li> <li>• Levantamento dos parâmetros de aquecimento de água</li> <li>• Levantamento dos parâmetros de demanda de energia elétrica</li> <li>• Levantamento da demanda correspondente a aquecedores de passagem</li> </ul>
3	DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local (índice de insolação a ser considerado)</li> <li>• Faixa de consumo</li> <li>• Tipo de dispositivo de geração fotovoltaica</li> <li>• Tipo de dispositivo de aquecimento de água elétrico por acumulação</li> </ul>
4	PESQUISA DE CAMPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de sistemas de aquecimento de água de passagem na cidade de Lins-SP</li> </ul>

CONTINUA

**Tabela 2 – Etapas do método (continuação)**

5	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamento de sistema de geração fotovoltaico conjugado com sistema de aquecimento de água elétrico por acumulação e comparação com a demanda de energia horária</li> <li>• Determinação dos impactos causados pelo sistema de aquecimento de água instantâneo nas curvas de demanda dos consumidores estudados</li> </ul>
6	ANÁLISE DAS APLICAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos envolvidos</li> <li>• Eficiência do sistema</li> <li>• Deslocamento do horário de ponta</li> </ul>

Fonte: próprio autor

### 3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa deste trabalho foi o levantamento bibliográfico das legislações, trabalhos acadêmicos e normas relacionadas a geração de energia fotovoltaica, dispositivos de aquecimento de água elétricos e curvas de consumo de energia elétrica.

### 3.2 ESTUDO DAS LEGISLAÇÕES E TRABALHOS

Nos estudos das legislações e trabalhos foram lidos e levantados os pontos importantes relacionadas as faixas de consumo, a geração de energia elétrica através de fotovoltaicos e aos dispositivos de aquecimento de água por acumulação. Também foram verificados os impactos dos aquecedores de passagem na demanda de energia do consumidor até 200 kWh/mês e durante o horário de ponta.

### **3.3 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES**

Para definição das condições de aplicação dos parâmetros foram determinados os seguintes pontos:

- Local: Cidade de Lins, interior do Estado de São Paulo região noroeste, o local escolhido foi baseado nas medições fornecidas pela concessionária de energia;
- Faixa de consumo: Foi escolhida a faixa 1 de consumo de até 200 kWh/mês;
- Tipo de dispositivo de geração fotovoltaico: Foi dimensionado um dispositivo de geração fotovoltaico conforme os parâmetros necessários sendo eles o consumo de energia elétrica da residência e área disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos;
- Tipo de dispositivo de aquecimento de água: Foi definido um dispositivo de aquecimento por acumulação com capacidade de até 50 litros de água quente, com base nas normas para residências de baixa renda em que o consumo de água quente é considerado 36 litros por pessoa.

### **3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS**

Para aplicação dos parâmetros do item 3.3 foi definido a realização de um estudo de caso.

Os estudos foram baseados nos dados fornecidos pela concessionária de energia. Os dados consistiam em potência instantânea (demanda consumida), tensão e corrente elétrica além das datas e horas das medições, as quais foram realizadas a cada cinco minutos por um período de duas semanas no mês de abril de 2017.

Com base nestes dados e por meio de tratamentos estatísticos e matemáticos, definiu-se:

- Curva de demanda média diária de cada consumidor;
- Curva de demanda média diária da amostra;
- Demanda média diária de cada consumidor;
- Demanda média diária da amostra;
- Demanda média horária (Demanda antes, durante e depois do horário de ponta).

Além disso, ao verificar-se as demandas foi possível identificar os picos de consumo; tais picos geralmente tinham duração entre cinco a quinze minutos e potências bastante superiores à média de demanda anterior e posterior a eles. Estes picos ocorriam sempre pela manhã próximo às 6:00 horas, próximo ao meio dia ou de maneira mais significativa entre as 18:00 horas e 21:00 horas, o que conforme a bibliografia estudada condiz com a utilização de aquecedores de passagem (chuveiro elétrico). Foi também realizada uma pesquisa com fornecedores afim de identificar as potências de chuveiros elétricos mais comumente encontrados à venda na região estudada. Sendo que em alguns casos a potência identificada estava relacionada com a posição “verão” dos aquecedores (posição em que a resistência não é completamente utilizada, diminuindo assim o poder de aquecimento do chuveiro e por consequência a potência do mesmo).

Após a identificação dos picos, foram contabilizados apenas os que ocorreram durante o horário de ponta (das 18:00 às 21:00 horas) e conseqüentemente identificou-se a demanda em kWh correspondente aos aquecedores de passagem. A partir disto gerou-se duas curvas médias de demanda: uma considerando as demandas normais e outra em que os picos foram substituídos pela média de consumo anterior e posterior ao mesmo.

Após isto, foi identificado que a média tinha pouca representação devido à grande dispersão dos valores apurados, foi então realizado um novo estudo para identificar o consumidor responsável pela demanda em que o aquecedor de passagem possuísse a maior influência durante o horário de ponta, ou seja, o consumidor em que os picos possuíssem maior incidência. A partir disto foi realizada

uma simulação na qual o aquecedor de passagem foi substituído por um aquecedor elétrico por acumulação (boiler elétrica) alterando a demanda do consumidor.

A partir desta nova demanda, foi incluído o gerador fotovoltaico, sendo verificada a possibilidade de atendimento do sistema de aquecimento de água e da demanda do consumidor pelo sistema fotovoltaico conectado à rede.

Deste modo verificou-se então a produção de energia gerada pelo fotovoltaico que foi repassada à rede, a demanda durante o período de geração, a demanda após o período de geração e o efeito causado no horário de ponta pela substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor de acumulação.

### **3.5 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES**

Após a verificação, realizou-se uma pesquisa de custos para instalação e utilização dos sistemas estudados (aquecedor por acumulação e gerador fotovoltaico).

Também foi verificada a relevância disto para o horário de ponta e quais as consequências para a rede elétrica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão divididos em quatro itens:

- Definição das curvas de demanda, demanda média diária e levantamento da parcela da demanda de ponta correspondente a aquecedores de passagem;
- Dimensionamento e definição de sistema de aquecimento de água elétrico por acumulação;
- Dimensionamento e definição de sistema de geração fotovoltaico conectado à rede;
- Resumo de resultados e comparações entre os sistemas dimensionados.

### 4.1 CURVAS DE DEMANDA

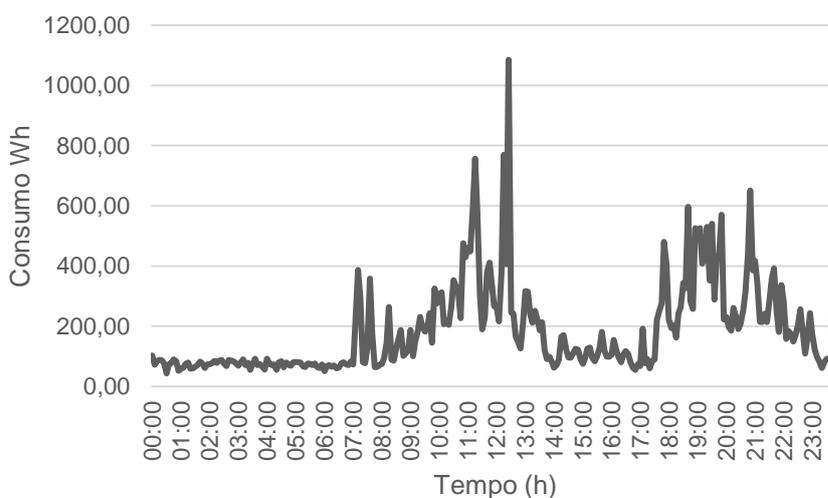
A cada ano a ANEEL exige que as concessionárias realizem uma campanha de medição na qual um certo número de clientes de cada faixa tem o consumo medido a cada intervalo de 5 minutos para que o perfil de cada faixa de consumo seja atualizado, fornecendo dados a ANEEL para melhor atender os clientes, esses dados são fornecidos em tabelas conforme exemplo demonstrado na tabela 3, a qual fornece a data, horário em que foram realizadas as medições de potência, tensão e corrente elétrica.

**Tabela 3 - Exemplo de dados fornecidos pela concessionária**

NSDataLogger	20001022	Data	24/04/2017	Hora	13:45
Data	Hora	Ativa	Reativa	Capacitiva	TensaoA
09/04/2017	09:20	0	0	0	225,9
09/04/2017	09:25	22	13	0	226,6
09/04/2017	09:30	95	136	0	226,6
09/04/2017	09:35	910	343	0	220,5
09/04/2017	09:40	779	337	0	222,7
09/04/2017	09:45	187	236	0	224,2
09/04/2017	09:50	139	233	0	224,6

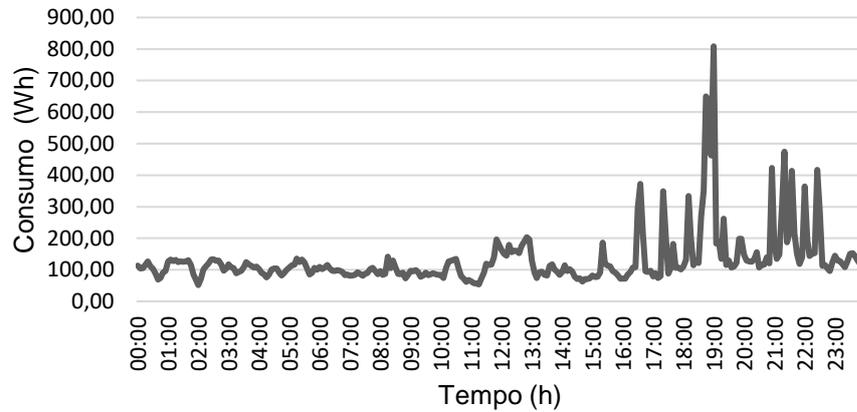
Fonte: CPFL (2017)

A concessionária forneceu tabelas contendo os dados de consumo de 10 consumidores residenciais de até 200 kWh/mês, todas as medições foram realizadas durante o mês de abril de 2017 por um período médio de 15 dias consecutivos, através dos dados foram geradas as curvas de demanda de energia média de cada consumidor, tomando-se o cuidado de excluir o primeiro e o último dia, por não conterem 24 horas completas de medição. Através dos dados fornecidos foram geradas as curvas médias de cada consumidor, demonstradas abaixo conforme as figuras de 29 a 38.

**Figura 29 - Curva média de demanda – consumidor 1 até 200 kWh/mês**

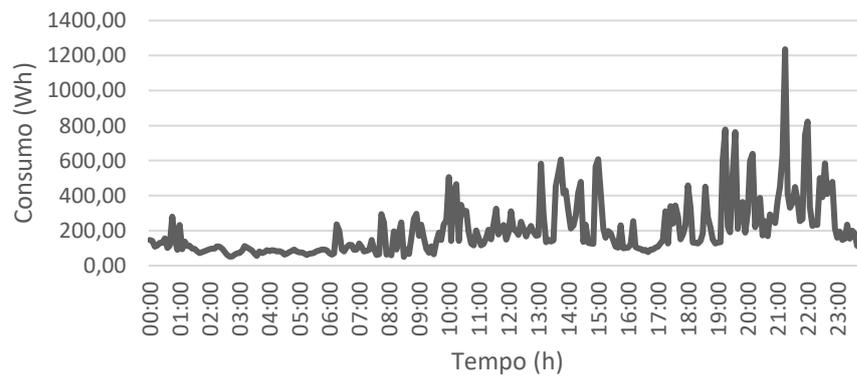
Fonte: próprio autor

**Figura 30 - Curva média de demanda – consumidor 2 até 200 kWh/mês**



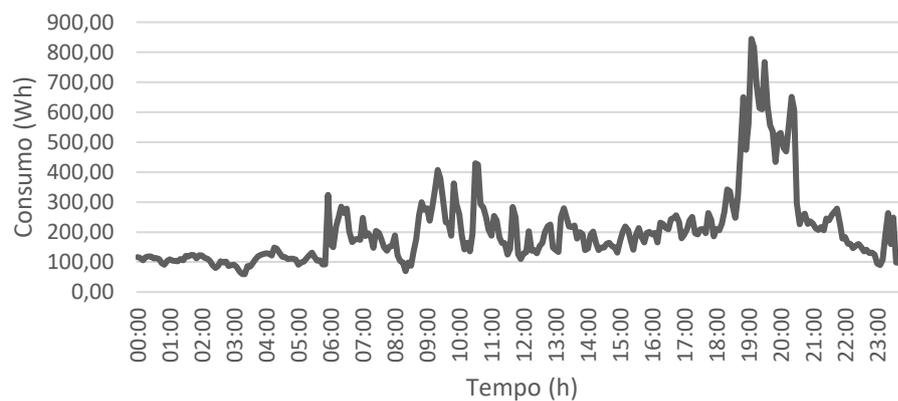
Fonte: próprio autor

**Figura 31 - Curva média de demanda – consumidor 3 até 200 kWh/mês**



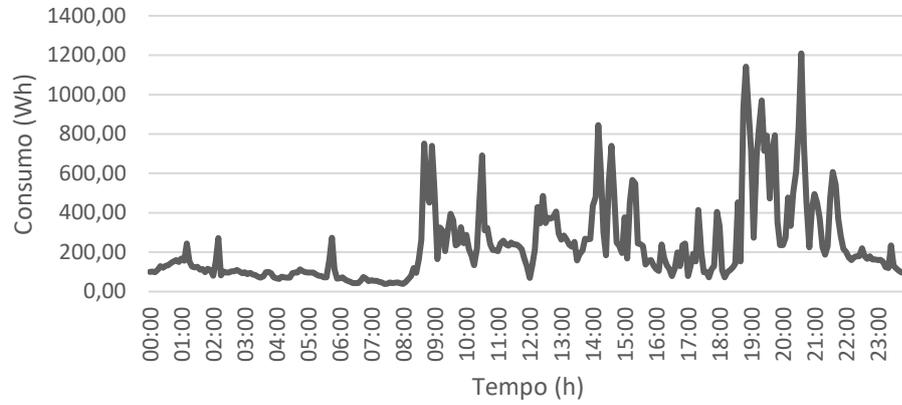
Fonte: próprio autor

**Figura 32 – Curva média de demanda – consumidor 4 até 200 kWh/mês**



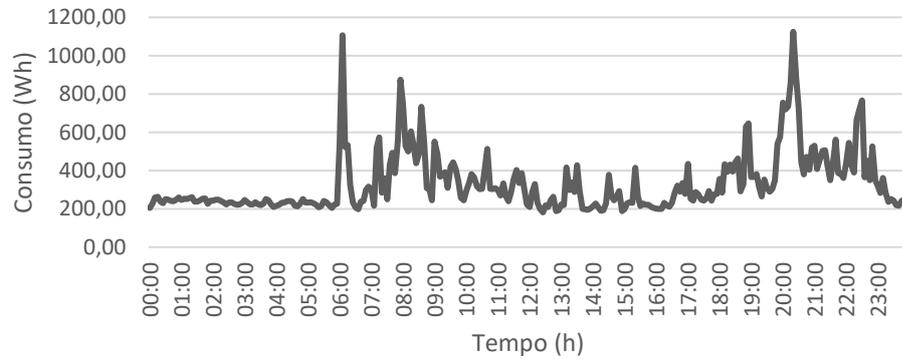
Fonte: próprio autor

**Figura 33 – Curva média de demanda – consumidor 5 até 200 kWh/mês**



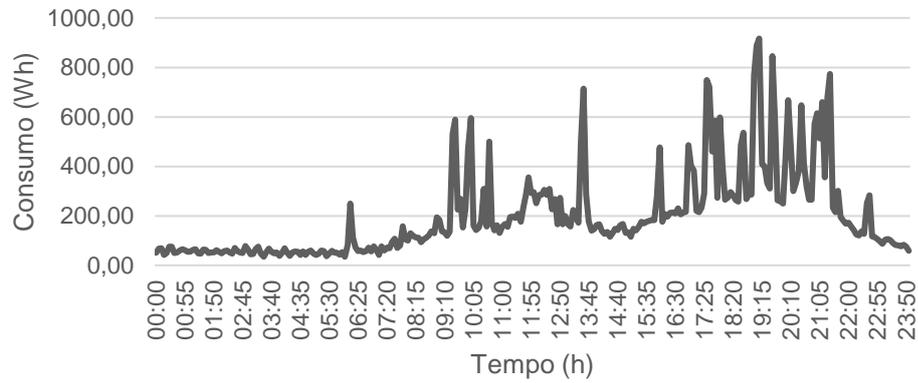
Fonte: próprio autor

**Figura 34 – Curva média de demanda – consumidor 6 até 200 kWh/mês**



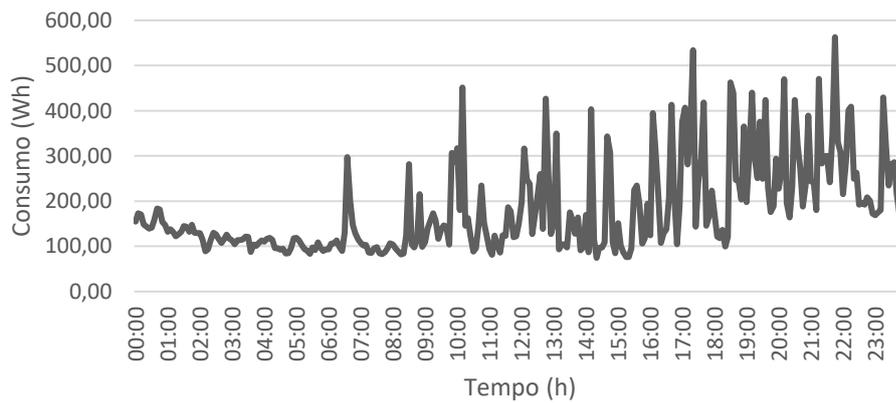
Fonte: próprio autor

**Figura 35 – Curva média de demanda – Consumidor 7 até 200 kWh/mês**



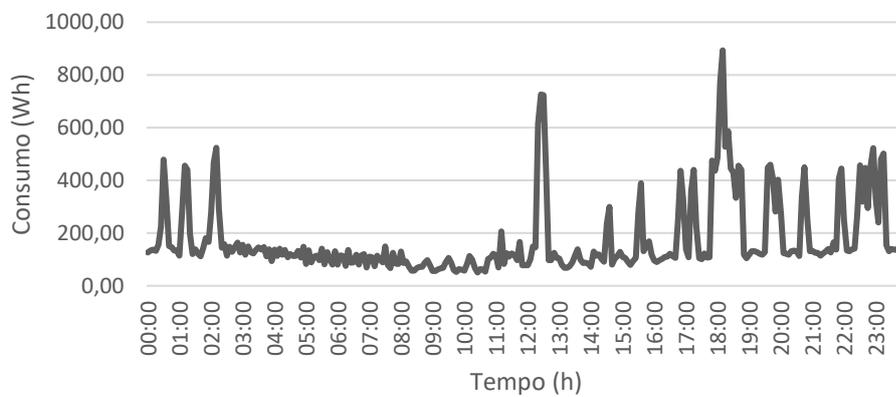
Fonte: próprio autor

**Figura 36 - Curva média de demanda – Consumidor 8 até 200 kWh/mês**



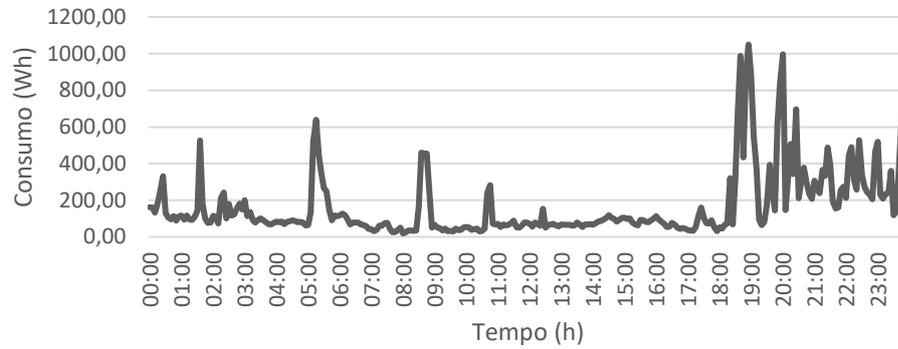
Fonte: próprio autor

**Figura 37 - Curva média de demanda – Consumidor 9 até 200 kWh/mês**



Fonte: próprio autor

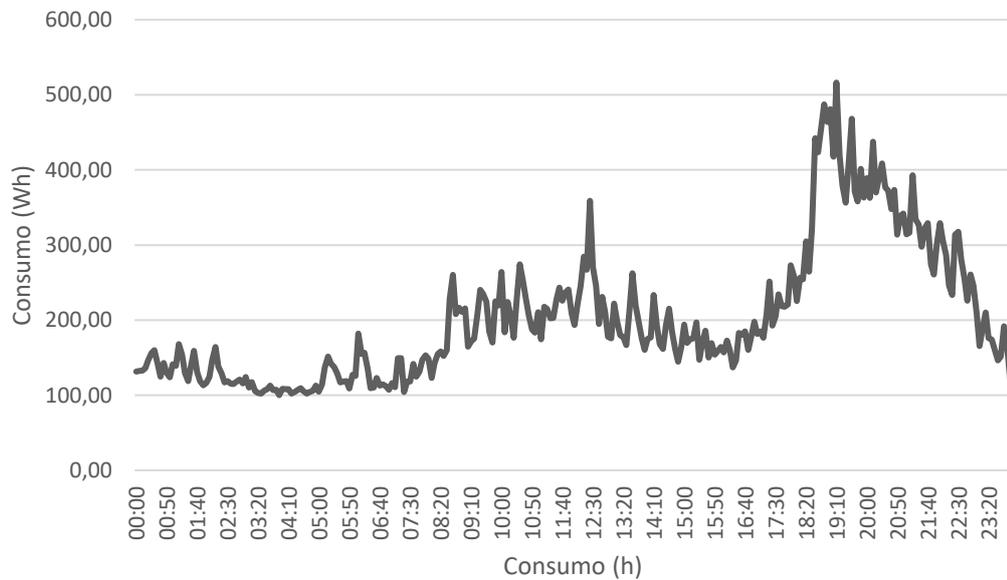
**Figura 38 - Curva média de demanda – Consumidor 10 até 200 kWh/mês**



Fonte: próprio autor

Com as curvas médias geradas de cada consumidor foi possível traçar a curva média geral da demanda de energia elétrica conforme o período do dia dos consumidores residenciais até 200 kWh/mês conforme a figura 39.

**Figura 39 – Curva média de demanda até 200 kWh/mês**



Fonte: próprio autor

Apesar das curvas de alguns consumidores estarem fora do padrão esperado, na curva média de consumo verifica-se o que já era esperado para uma curva residencial, um ligeiro aumento na demanda no horário próximo ao meio dia devido o horário de almoço e um grande aumento na demanda no horário de ponta, a partir das 18 horas até as 21 horas.

#### **4.1.1 UTILIZAÇÃO DE CHUVEIRO ELÉTRICO DENTRE OS CONSUMIDORES ANALISADOS**

Dentre as curvas analisadas realizou-se um estudo para definir os momentos em que o chuveiro elétrico foi utilizado, para isto foi analisado os picos de demanda instantânea e subtraído os valores médios de consumo anteriores aos picos, no geral os picos correspondiam a intervalos de 5 a 10 minutos de duração com alguns casos chegando até a 20 minutos. Os picos estavam entre 1800 Watts a 4200 Watts as quais variam conforme o tipo de chuveiro e posição de utilização, onde segundo os fabricantes nas posições mais quentes o consumo é entre 40 e 60% maior do que nas posições intermediárias (Lorenzetii, 2018). Tendo sido realizado uma pesquisa nas lojas que fornecem chuveiro elétricos na cidade de Lins-SP, constatou-se que as potências de pico observadas condizem com os chuveiros encontrados comumente no comércio.

As potências de pico encontradas correspondem em sua maioria a potência de posições intermediárias das resistências dos chuveiros, o que é razoável pois a temperatura média da cidade de Lins no mês de abril é por volta de 21,8 °C, onde segundo ACCUWEATHER (2018) Lins-SP teve durante o mês de abril de 2017 temperaturas máximas acima da média histórica e 90% dos dias chegando a máximas de até 33 °C.

#### **4.1.2 COMPARAÇÃO DE CURVAS DE DEMANDA MÉDIA**

Ao realizar a análise das curvas, foi possível identificar e isolar os consumos correspondentes aos chuveiros elétricos durante o horário de ponta de cada

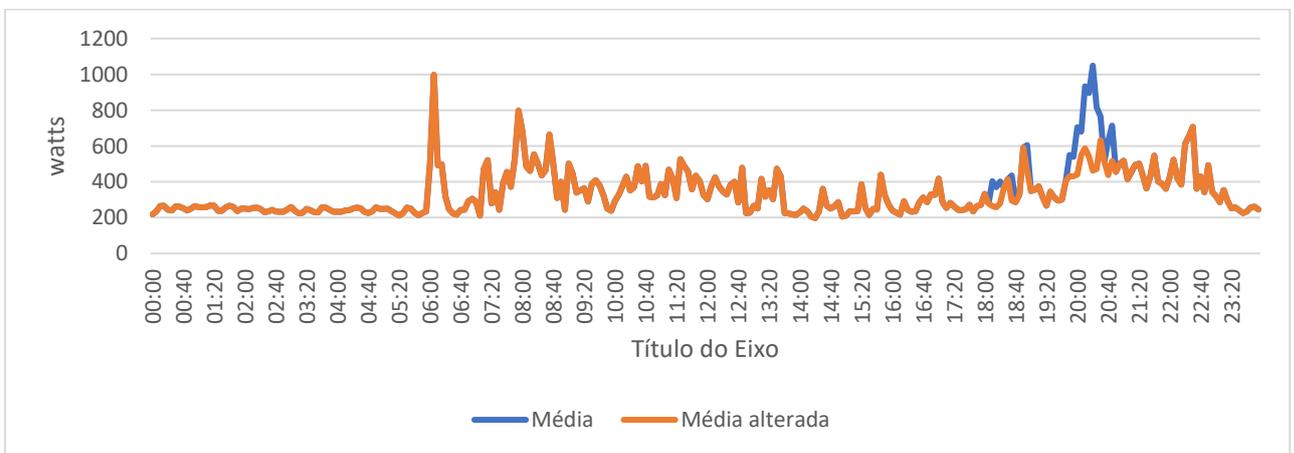
consumidor analisado, as figuras de 40 a 50, demonstram a diferença entre as curvas de demanda normais e as curvas alteradas, removendo os picos ocasionados pelo chuveiro elétrico:

**figura 40 - Comparação horário de ponta - Consumidor 1**



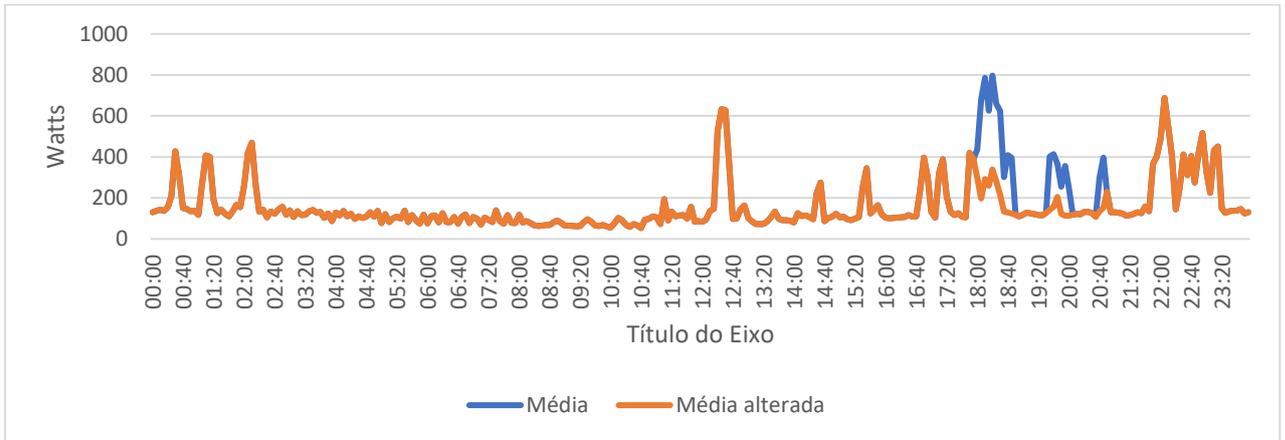
Fonte: próprio autor

**figura 41 - Comparação horário de ponta - Consumidor 2**



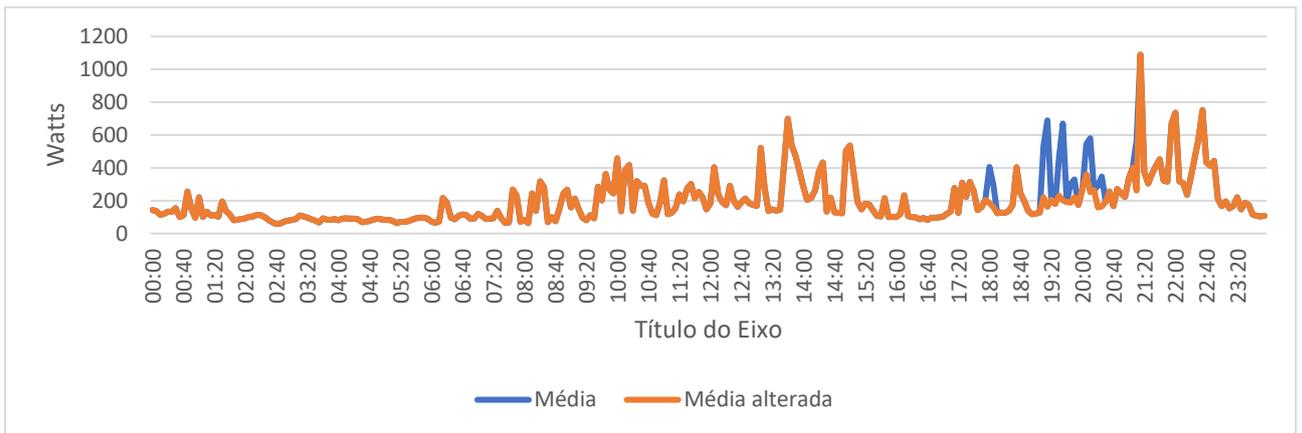
Fonte: próprio autor

**figura 42 -Comparação horário de ponta - Consumidor 3**



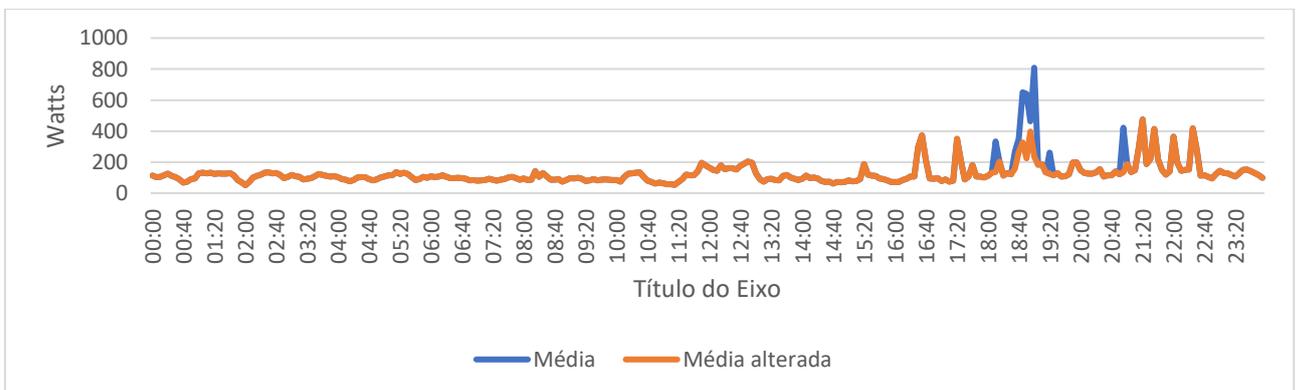
Fonte: próprio autor

**figura 43 - Comparação horário de ponta - Consumidor 4**



Fonte: próprio autor

**figura 44 - Comparação horário de ponta - Consumidor 5**



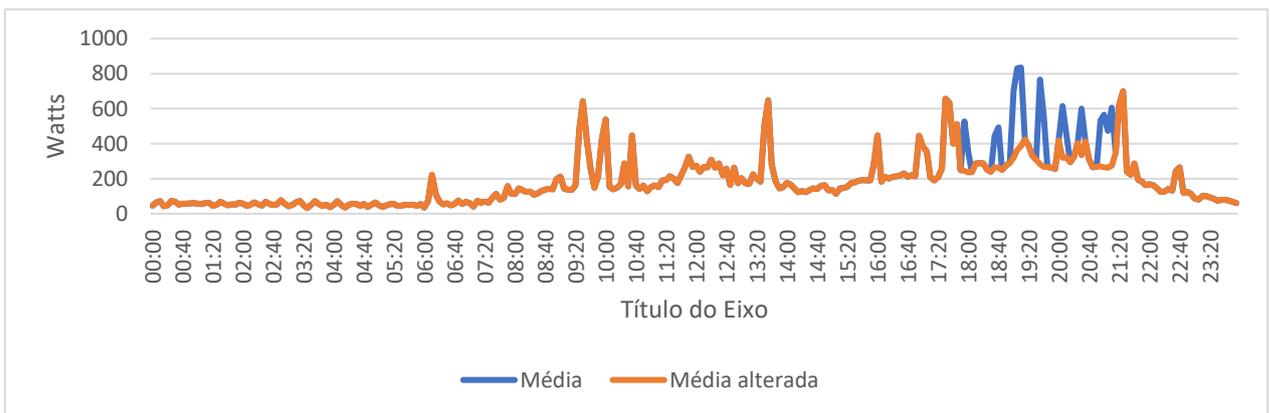
Fonte: próprio autor

**figura 45 - Comparação horário de ponta - Consumidor 6**



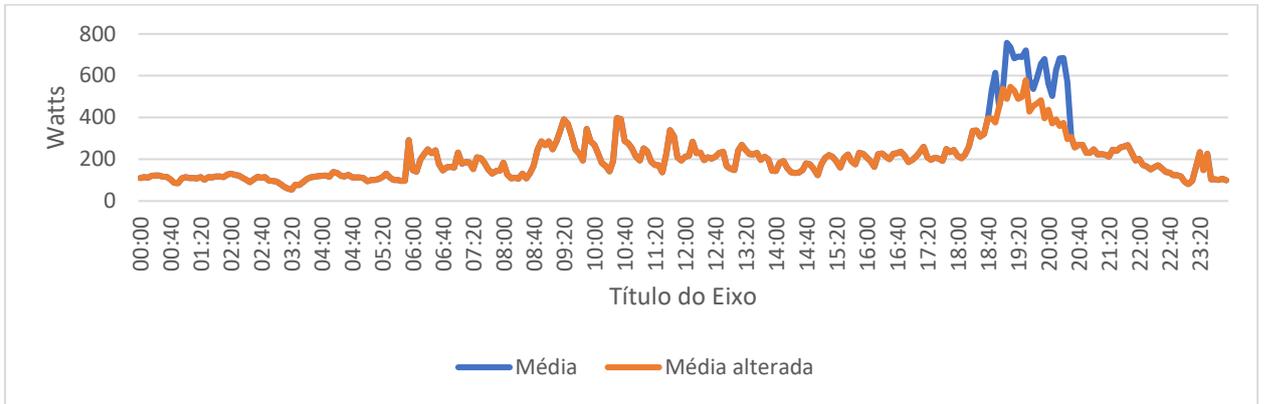
Fonte: próprio autor

**figura 46 - Comparação horário de ponta - Consumidor 7**



Fonte: próprio autor

**figura 47 - Comparação horário de ponta - Consumidor 8**



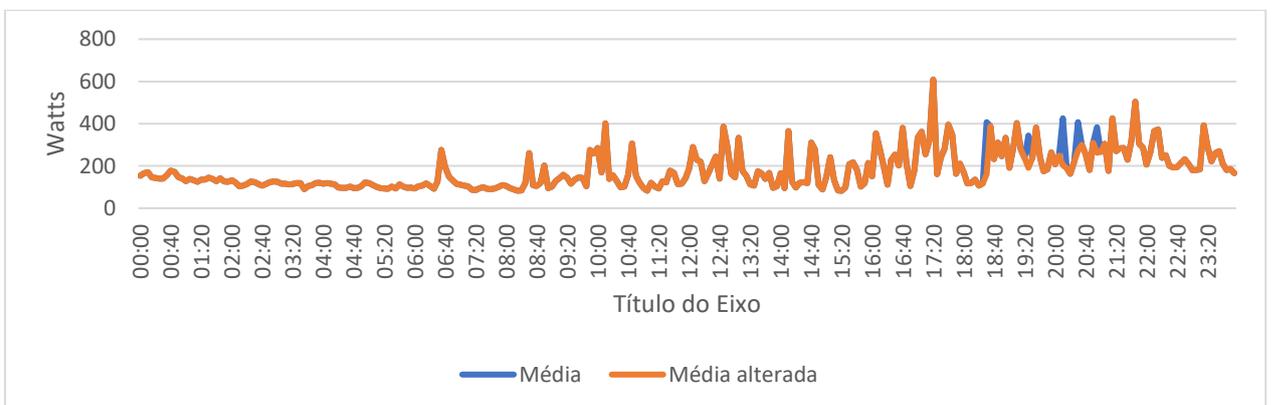
Fonte: próprio autor

**figura 48 - Comparação horário de ponta - Consumidor 9**



Fonte: próprio autor

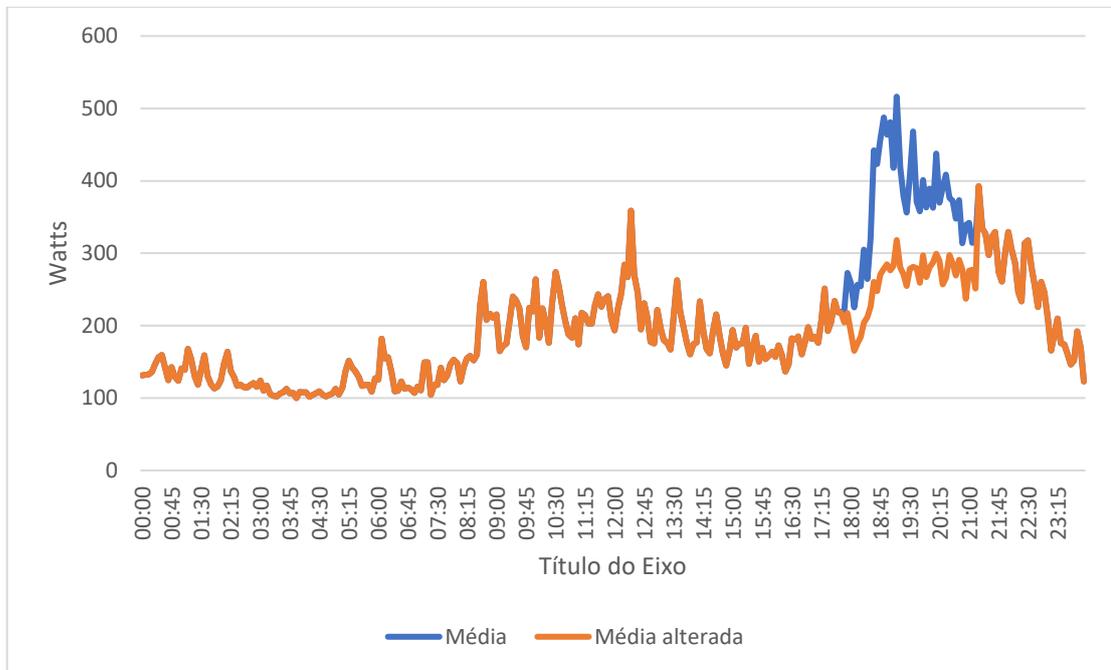
**figura 49 - Comparação horário de ponta - Consumidor 10**



Fonte: próprio autor

E por fim a comparação entre a curva média de demanda e a curva média de demanda alterada:

**figura 50 - Comparação horário de ponta - Média geral**



Fonte: próprio autor

Sendo a diferença entre ambas as curvas, conforme a integral do tempo, 0,37 kWh, o que daria um total de 9kWh/mês

## 4.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ACUMULAÇÃO

Para definir o sistema elétrico de aquecimento de água por acumulação é necessário estabelecer alguns parâmetros tais como número de moradores e padrão residencial.

- Número de moradores: 3;
- Padrão residencial: Baixo padrão.

#### 4.2.1 CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA QUENTE CONSUMIDA E DO VOLUME DO ACUMULADOR

Conforme estabelece a ABNT - NBR 7198(1993) o volume de água quente para residência popular ou rural é conforme a tabela de 36 litros por pessoa por dia. Para uma residência com 3 pessoas, portanto o consumo de água quente diário é de 108 litros a 70 °C.

Para um total de 108 litros de água quente calcula-se o volume do acumulador, onde em média a água utilizada é na temperatura de 40 °C.

$$V_{arm} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})} \quad (2)$$

$$V_{arm} = \frac{108 \times (40 - 21,8)}{(70 - 21,8)} = 40,78 \text{ litros}$$

Portanto um reservatório de água quente com capacidade de armazenamento de 50 litros atende o consumo necessário.

#### 4.2.2 CÁLCULO DE DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL

$$E_{\text{ÚTIL}} = \frac{V_{arm.} \times \rho \times C_p \times (T_{arm.} - T_{ambiente})}{3600} \quad (3)$$

E<sub>útil</sub>: é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (Wh/dia)

r: corresponde a massa específica da água igual a 1000 (1000kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>p</sub>: é o calor específico da água igual a 4,18 (Kj/Kg)

T<sub>ambiente</sub>: Temperatura média da cidade de Lins durante o ano

T<sub>arm</sub>: Temperatura de armazenamento de água

$$E_{\text{útil}} = \frac{50 \times 1000 \times 4,18 \times (70 - 21,7)}{3600} = 2798,28 \frac{Wh}{dia} \text{ ou } 2,80 \text{ kWh/dia}$$

O Inmetro (2018) fornece a eficiência de boilers elétricos analisados pelo programa Procel (2007), para o boiler foi estabelecido o valor médio de eficiência de 75,78% dos boilers analisados pelo Inmetro.

Assim:

$$Consumo_{\text{boiler}} = \frac{2,80}{75,78\%} = 3,69 \frac{kWh}{dia} \text{ ou } 110,85 \frac{kWh}{mês}$$

#### 4.2.3 ESTIMATIVA DE CUSTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO POR ACUMULAÇÃO

Em pesquisa em sites especializados foram encontradas algumas empresas que fornecem boilers elétricos, os preços de boilers elétricos com capacidade para 50 litros de água variam de R\$ 1500,00 a R\$ 2300,00. A instalação de um boiler elétrico demanda mão-de-obra especializada, porém, os próprios fabricantes exaltam a facilidade de instalação, sendo que alguns sistemas necessitam apenas de 0,6 M.C.A (metros de coluna d'água) para funcionamento, não necessitando assim de adaptações específicas para a instalação. Pesquisa com profissionais da área na cidade de Lins-SP, indicou que o serviço de instalação varia de R\$ 400,00 a R\$ 600,00 para um sistema desta capacidade. Totalizando um custo máximo de R\$ 2.900,00 para aquisição e instalação.

#### 4.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realizar o estudo foi necessário definir um sistema fotovoltaico para o consumidor padrão escolhido (até 200kWh/mês).

### 4.3.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO SELECIONADO – CARACTERÍSTICAS

O módulo fotovoltaico selecionado para ser utilizado como referência neste estudo é o módulo fotovoltaico Kyocera KB260 por possuir características de geração ideais para residências, o qual possui 60 células de silício policristalino. A tabela 4 apresenta as principais características elétricas e térmicas deste modelo de módulo fotovoltaico.

**Tabela 4 - Características módulo fotovoltaico**

Kyocera KB260		
Parâmetros elétricos (condições padrão de teste)		
Potência elétrica máxima ( $P_{max}$ )	260	Wp
Corrente de máxima potência – Corrente de Pico ( $I_{mp}$ )	8,39	A
Tensão de máxima potência – Tensão de Pico ( $V_{mp}$ )	31,0	V
Corrente de curto- circuito ( $I_{sc}$ )	9,09	A
Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )	38,3	V
Parâmetros térmicos		
Temperatura nominal de operação da célula (TNOc)	45	°C
Coeficiente de temperatura da Pmax	-0,45	%/°C

**Tabela 4 – Características módulo fotovoltaico (continuação)**

Coeficiente de temperatura da $I_{sc}$	0.06	%/°C
Coeficiente da temperatura $V_{oc}$	-0,36	%/°C
Características Físicas do módulo		
Comprimento	1662	mm
Largura	990	mm
Altura	46	mm

Fonte: Kyocerasolar, 2017

#### 4.3.2 INVERSOR SELECIONADO – CARACTERÍSTICAS

O inversor selecionado foi o SF 1600TL da Moso Electric Co., cujas principais características podem ser verificadas na tabela 5:

**Tabela 5 - Características elétricas do inversor SF 1600 TL fornecidos pelo fabricante**

Inversor SF 1600 TL	
Entrada c.c. (saída do gerador fotovoltaico)	
Faixa de tensão de entrada na máxima potência: $V_{mp}$	120 – 500 V
Tensão máxima de entrada sem carga: $V_{oc}$	550 V
Corrente máxima de entrada: $I_{máx}$	13 A

**Tabela 5 - Características elétricas do inversor SF 1600 TL fornecidos pelo fabricante (continuação)**

Saída c.a. (rede elétrica)	
Faixa de tensão de saída: $V_{c.a.}$	176 – 276 V
Potência elétrica nominal: $P_{c.a.nom.} = P_{Inv}^0$	1600 W
Potência elétrica máxima de saída: $P_{c.a.máx} = P_{Inv}^{máx}$	1700 W

Fonte: catálogo do fabricante MOSO

### 4.3.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Para o estudo de caso foi escolhida a cidade de Lins e através do Software Radiasol que é produzido pelo Laboratório de Energia Solar da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, software este de distribuição livre, foi possível gerar as curvas de irradiação durante o ano, constando os dados do mês, dia, hora e irradiância no plano horizontal e com inclinação de 23°, conforme a figura 51.

**Figura 51 - Arquivo de dados gerados pelo RADIASOL para a cidade de Lins-SP**

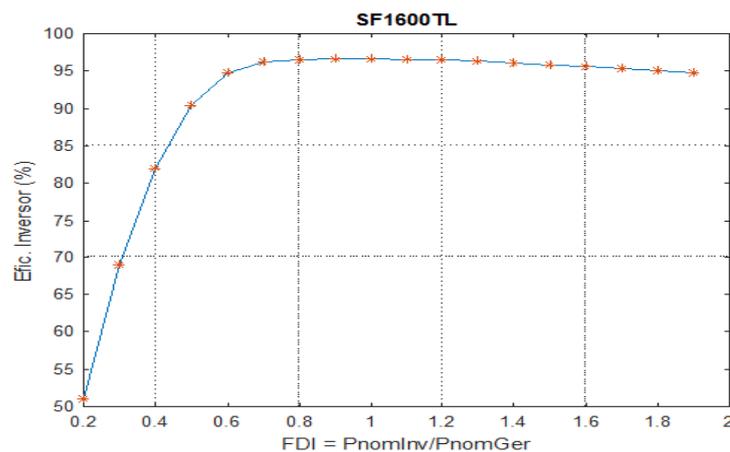
Irradiâncias Médias ( $W/m^2$ )					
Mês	Hora	Global	Direta	Difusa	Inclinada
4	5	0	0	0	0
4	6	34	15	21	36
4	7	173	93	109	203
4	8	354	210	194	406
4	9	495	340	220	563
4	10	644	473	261	738
4	11	726	595	227	828
4	12	700	524	269	798
4	13	629	435	280	719
4	14	473	314	223	540
4	15	337	196	189	387

Fonte: próprio autor

#### 4.3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

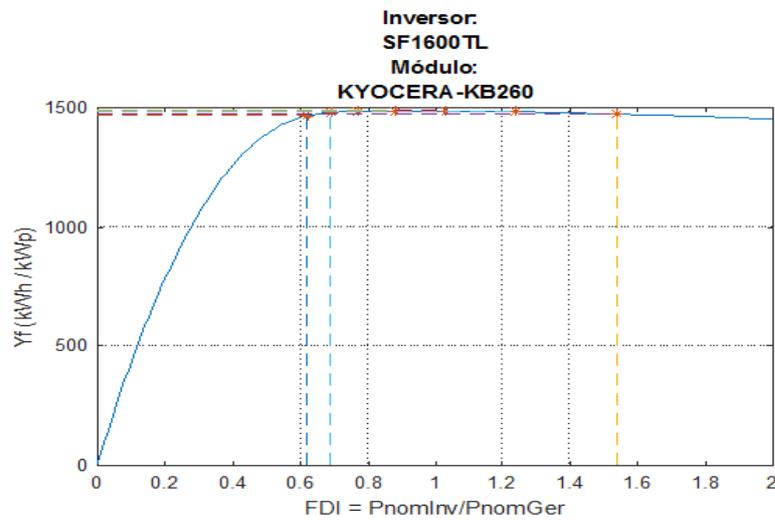
Para o sistema apresentado, é possível verificar a eficiência do Inversor selecionado em conjunto com os módulos fotovoltaicos selecionados, a figura 52, apresenta a eficiência média anual do inversor em função do FDI, onde é possível verificar que para um valor de FDI próximo a 0,7 o inversor se encontra em sua máxima eficiência, de aproximadamente 96,00%, o mesmo se aplica no gráfico demonstrado na figura 53, em que quando o FDI (fator de dimensionamento do inversor) for próximo de 0,7 a produtividade do sistema é próxima a máxima, conforme Zilles et al (2016).

**Figura 52 - Eficiência média anual do inversor em função do FDI para as condições de Lins-SP**



Fonte: próprio autor

**Figura 53 - Produtividade anual do sistema FV em função do FDI para as condições de Lins-SP**



Fonte: próprio autor

Para o dimensionamento do sistema, o gráfico da figura 53 é o mais indicado de se analisar, pois ele considera todas as perdas envolvidas no sistema (dentro e fora do inversor), considerando inclusive as perdas dos módulos fotovoltaicos. Tornando-se assim uma curva mais completa para o dimensionamento do sistema FV.

Logo considerando um FDI escolhido igual a 0,7 e a potência nominal do inversor em 1.600 W, calcula-se a potência do gerador fotovoltaico pela equação 4.

$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} P_{FV}^0 = \frac{P_{Inv}^0}{FDI} = \frac{1600}{0,7} = 2.285 \text{ Wp}$$

Após o cálculo da potência nominal teórica do gerador fotovoltaico, determina-se a quantidade de módulos necessária pela equação 5.

$$N^{\circ} \text{ de módulos FV} = \frac{P_{FV}^0}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{2285}{260} = 8,78 \text{ módulos FV}$$

Porém para um consumidor de até 200 kWh/mês a potência necessária é de 1.55 Wp, conforme a irradiação obtida para a cidade de Lins – SP, é possível chegar na potência de módulos necessárias para a geração:

- 6 horas de geração média diária;
- Perdas devido a sujeira e aquecimento em torno de 20%

Um módulo com 260 Wp portanto gera uma potência:

$$\text{Potência} = 260 \times 6,00 \times (1 - 0,2) = 1248 \text{ Wp ou } 1,25 \text{ kWp}$$

$$\text{Total gerado em um mês: } 1,25 \times 6 \times 30 = 225 \text{ kWh/mês}$$

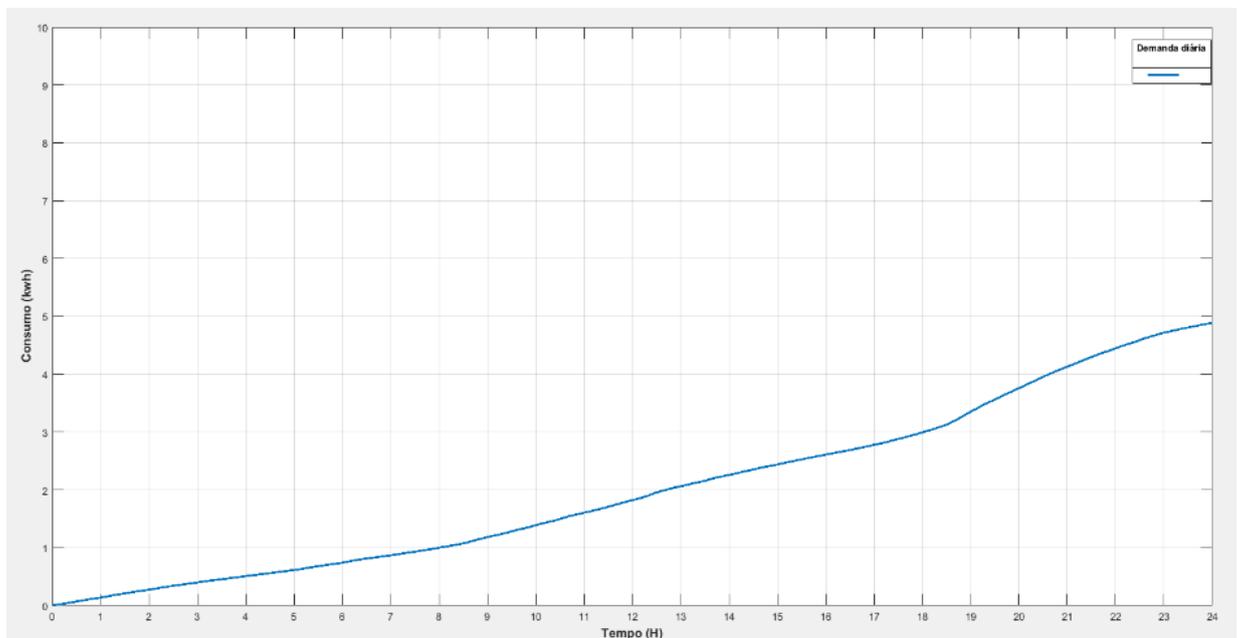
$$\text{FDI calculado } FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} = \frac{1600}{1560} = 1,03$$

Desse modo 6 módulos em um mês podem gerar até 225 kWh/mês em condições normais de geração. Portanto 6 módulos são o suficiente, resultando em um inversor com parte de sua capacidade permanecendo ociosa, havendo margem para a expansão do sistema foto gerador. Conforme a tabela 6 a  $V_{oc}$  do painel fotovoltaico é de 35,1 V, portanto ao associar os 6 módulos em série chegamos a uma tensão de 210,6 V, dentro dos limites do inversor, que varia de 120 a 500 V, na tabela 6 e 7 e na figura 54 são apresentados um resumo do projeto.

**Tabela 6 - Características do projeto**

Item	Características
Inversor	1.600 W
Total de módulos	6
Nº de módulos em série	6
Nº de módulos em paralelo	0 associações
Potência gerada pelo sistema fotovoltaico	1.560 Wp
Fator de dimensionamento do inversor	1,03
Eficiência média anual do inversor	96,00%
Produtividade estimada do SF (Yf)	1486,43 kWh/kWp

Fonte: próprio autor

**Figura 54 - Demanda diária média**

Fonte: próprio autor

**Tabela 7 - Características de demanda e irradiação do dia média do mês de abril de 2017**

Dia	Tempo (h)	Demanda (W)	H(t, $\beta$ )(W/m <sup>2</sup> )	T $\alpha$ (°C)
16/04/2017	0	0	0	18,0
16/04/2017	1	0,1386	0	17,8
16/04/2017	2	0,1348	0	17,4
16/04/2017	3	0,1269	0	17,7
16/04/2017	4	0,1079	0	17,3
16/04/2017	5	0,1062	0	17,4
16/04/2017	6	0,1264	36,00	17,8
16/04/2017	7	0,1281	203,00	18,8
16/04/2017	8	0,1321	406,00	21,0
16/04/2017	9	0,1830	563,00	22,4
16/04/2017	10	0,2050	738,00	22,9
16/04/2017	11	0,2150	828,00	25,1
16/04/2017	12	0,2170	798,00	25,3
16/04/2017	13	0,2410	719,00	26,8
16/04/2017	14	0,1960	540,00	27,3
16/04/2017	15	0,1810	387,00	25,1
16/04/2017	16	0,1700	227,00	23,7
16/04/2017	17	0,1690	46,00	23,3
16/04/2017	18	0,2170	0	22,2
16/04/2017	19	0,3560	0	22,0
16/04/2017	20	0,4070	0	21,3
16/04/2017	21	0,3720	0	21,5
16/04/2017	22	0,3170	0	20,6
16/04/2017	23	0,2700	0	20,2
Consumo total do dia (kWh)		4,875		

Fonte: próprio autor

#### 4.3.4.1 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO E RESULTADOS

Conforme Zilles et al (2016), a eficiência de conversão de c.c./c.a. do inversor é uma função dependente do autoconsumo e do carregamento. Isto é computado por meio dos parâmetros característicos  $k_0, k_1$  e  $k_2$ , determinados na prática pelas equações 8,9 e 10.

$$k_0 = \frac{1}{9} \frac{1}{\eta_{inv100}} - \frac{1}{4} \frac{1}{\eta_{inv50}} + \frac{5}{36} \frac{1}{\eta_{inv10}} = \frac{1}{9} \frac{1}{0,978} - \frac{1}{4} \frac{1}{0,999} + \frac{5}{36} \frac{1}{0,978} = 0,005$$

$$k_1 = -\frac{4}{3} \frac{1}{\eta_{inv100}} + \frac{33}{12} \frac{1}{\eta_{inv50}} - \frac{5}{12} \frac{1}{\eta_{inv10}} - 1 = -\frac{4}{3} \frac{1}{0,978} + \frac{33}{12} \frac{1}{0,999} - \frac{5}{12} \frac{1}{0,978} - 1 = -0,036$$

$$k_2 = \frac{20}{9} \frac{1}{\eta_{inv100}} - \frac{5}{2} \frac{1}{\eta_{inv50}} + \frac{5}{18} \frac{1}{\eta_{inv10}} = \frac{20}{9} \frac{1}{0,978} - \frac{5}{2} \frac{1}{0,999} + \frac{5}{18} \frac{1}{0,978} = 0,054$$

Através dos parâmetros  $k_0, k_1$  e  $k_2$  é possível calcular o parâmetro  $P_{saída}$  (potência de saída), através da equação 11.

$$k_0 - p_{FV} + (1 + k_1)p_{saída} + k_2 p_{saída}^2 = 0 \quad (4)$$

$$0,005 - p_{FV} + (1 - 0,036)p_{saída} + 0,054 p_{saída}^2 = 0$$

$$p = \frac{P_{FV}}{P_{Inv}^0} \quad (6)$$

Resolvendo as equações chega-se aos valores de  $p_{saída}$  e conseqüentemente aos valores de  $P_{saída}$ .

Deve-se lembrar que  $p_{FV}$  e  $p_{saída}$  são, respectivamente, os valores de saída de potência do gerador fotovoltaico e do inversor, normalizados com relação a potência nominal do inversor ( $P_{inv}^0$ ).

A partir do cálculo da potência de saída do gerador FV ( $P_{FV}$ ) a partir da radiação incidente ( $H_{t,\beta}$ ) e da temperatura ambiente ( $T_a$ ) e também a potência de saída do

inversor utilizam-se as equações 13, 14 e 15 para considerar as perdas por limitação e autoconsumo do inversor.

$$P_{saída} = P_{Inv}^{máx} \rightarrow se P_{saída} \geq P_{Inv}^{máx} \quad (5)$$

$$P_{saída} = 1.700W \rightarrow se P_{saída} \geq 1.700$$

$$P_{saída} = 0 \rightarrow se P_{FV} \leq k_0 P_{Inv}^0 \quad (6)$$

$$P_{saída} = 0 \rightarrow se P_{FV} \leq 0,005 \times 1.600w = 9,6 w$$

$$P_{saída} = P_{saída} P_{Inv}^0 \rightarrow se k_0 P_{Inv}^0 < P_{saída} < P_{Inv}^{máx} \quad (7)$$

$$P_{saída} = P_{saída} \times 1.600 \rightarrow se 15 < P_{saída} < 1.700$$

#### 4.3.4.2 RESUMO DE RESULTADOS

$$P_{FV}^0 = 1.560 W; P_{INV}^0 = 1.600 W; p_{Inv}^{máx} = 1.700 W$$

$$\gamma_{mp} = -0,0045 \text{ ou } -0,45\%; \eta_{SPMP} = 0,99; k_0 = 0,005; k_1 = -0,036; k_2 = 0,054$$

$$P_{FV}^0 \rightarrow P_{mp} = P_{FV}^0 \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} [1 - \gamma_{mp}(T_C - T_{c,ref})] \rightarrow P_{FV} = P_{mp} \eta_{SPMP} \quad (8)$$

$$p_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_{Inv}^0} \rightarrow k_0 - p_{FV} + (1 + k_1)p_{saída} + k_2 p_{saída}^2 = 0 \rightarrow P_{saída} = p_{saída} \times P_{Inv}^0 \quad (9)$$

$$P_{saída} = P_{Inv}^{máx} \rightarrow se P_{saída} \geq P_{Inv}^{máx} \quad (10)$$

$$P_{saída} = 0 \rightarrow se P_{FV} \leq k_0 P_{Inv}^0 \quad (11)$$

$$P_{saída} = P_{saída} P_{Inv}^0 \rightarrow se k_0 P_{Inv}^0 < P_{saída} < P_{Inv}^{máx} \quad (12)$$

Na tabela 8 é apresentado o resumo dos resultados, indicando o dia analisado, horas, irradiância, temperatura ambiente, temperatura de operação do módulo FV, máxima potência do gerador fotovoltaico, Potência ativa fornecida pelo SFCR (Sistema fotovoltaico conectado à rede) e potência de saída (gerada).

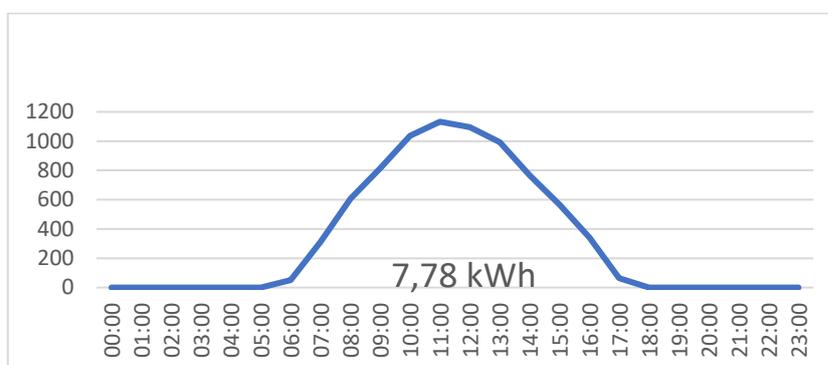
**Tabela 8 - Tabela de Resultados**

Dia	Tempo (h)	$H_{(t,\beta)}$ (w/m <sup>2</sup> )	$T_{\alpha}$ (°C)	$T_c$ (°C)	$P_{mp}$ (W)	$P_{FV}$ (W)	$P_{saída}$ (W)
16/04/2017	0	0	18,0	18,00	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	1	0	17,8	17,80	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	2	0	17,4	17,40	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	3	0	17,7	17,70	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	4	0	17,3	17,30	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	5	0	17,4	17,40	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	6	36,00	17,8	18,81	58,18	57,02	50,24
16/04/2017	7	203,00	18,8	24,51	319,94	313,55	313,12
16/04/2017	8	406,00	21,0	32,42	617,35	605,00	606,24
16/04/2017	9	563,00	22,4	38,23	833,09	816,43	815,36
16/04/2017	10	738,00	22,9	43,66	1063,95	1042,67	1036,00
16/04/2017	11	828,00	25,1	48,39	1166,20	1142,88	1132,64
16/04/2017	12	798,00	25,3	47,74	1127,55	1105,00	1096,16
16/04/2017	13	719,00	26,8	47,02	1019,57	999,18	993,76
16/04/2017	14	540,00	27,3	42,49	782,93	767,27	767,04
16/04/2017	15	387,00	25,1	35,98	578,77	567,19	565,28
16/04/2017	16	227,00	23,7	30,08	348,89	341,91	341,92
16/04/2017	17	46,00	23,3	24,59	72,47	71,02	64,64
16/04/2017	18	0	22,2	22,20	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	19	0	22,0	22,00	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	20	0	21,3	21,30	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	21	0	21,5	21,50	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	22	0	20,6	20,60	0,00	0,00	0,00
16/04/2017	23	0	20,2	20,20	0,00	0,00	0,00
Produção do dia (Soma dos valores obtidos de hora em hora)							7,78 (kWh)

Fonte: próprio autor

De acordo com a tabela é possível gerar o gráfico da produção diária de energia, conforme a figura 55.

**figura 55 - Produção diário do sistema fotovoltaico**



Fonte: próprio autor

#### 4.3.5 CUSTO DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Foi feita uma pesquisa junto a diversas empresas com relação ao custo de instalação de um sistema gerador fotovoltaico similar ao dimensionado anteriormente, na cidade de Lins-SP exemplificado na tabela 9 abaixo. Para um sistema FV de 1,6kWp na cidade Lins-SP a média dos valores de aquisição e instalação é em torno de R\$12.349,20, sendo este valor a média dos cinco valores totais demonstrados na tabela 9.

**Tabela 9 – Custos de instalação de sistema FV – Lins/SP**

Empresa	Custo Material (Sistema FV de até 1,6 kWp) (R\$)	Custo M.O. (R\$)	TOTAL (R\$)
NEOSOLAR	De R\$9.000,00 a R\$12.000 conforme componentes	N/I	R\$ 9.000,00 a R\$ 12.000,00
SOLAR Marília	R\$ 10.000,00	N/I	R\$ 10.000,00

Continua

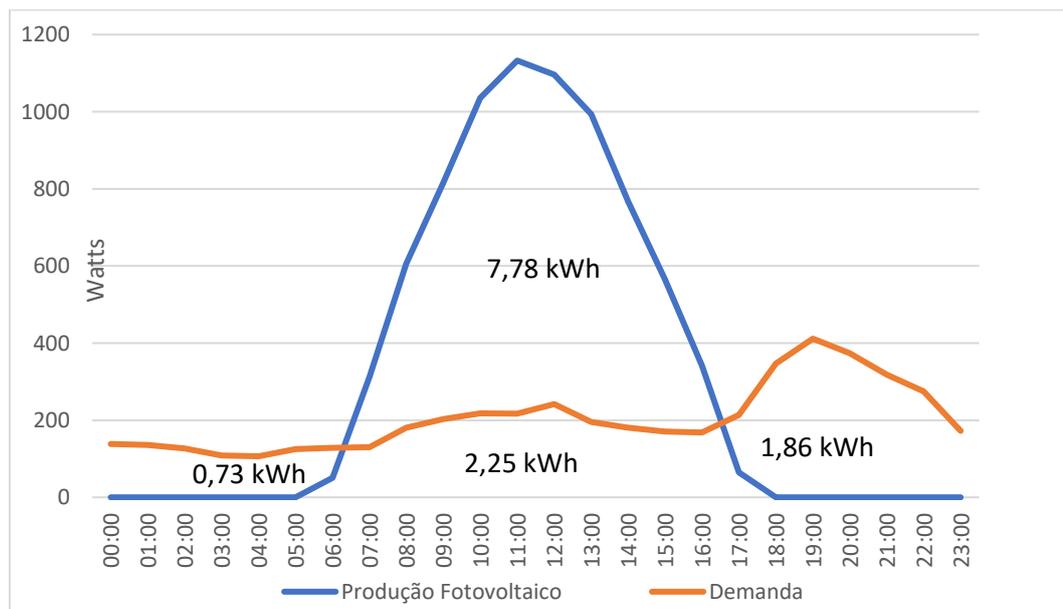
**Tabela 9 – Custos de instalação de sistema FV – Lins/SP (continuação)**

SONNE	R\$ 9.550,40	R\$ 1.949,60	R\$ 11.500,00
IPERSOL	R\$ 7.048,79	R\$ 4.669,19	R\$ 11.717,98
ENGIE Bauru	R\$ 16.528,00		R\$ 16.528,00

Fonte: próprio autor

#### 4.3.6 ANÁLISE DA DEMANDA E PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA

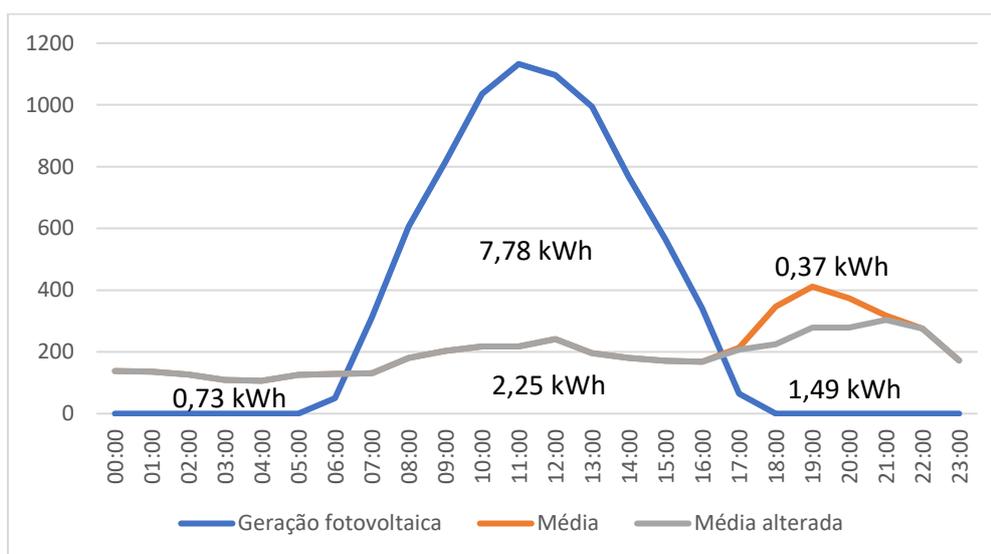
Com base nas tabelas fornecidas pela concessionária de energia foi possível definir a demanda média diária de cada consumidor e comparar com o total gerado pelo sistema fotovoltaico, o sistema fotovoltaico apresenta uma média diária de geração de 7,78 kWh para o mês de abril de 2017. Assim comparado com a média de consumo, que é de 4,84 kWh (0,73 kWh + 2,25 kWh + 1,86 kWh), tem-se um excedente de 2,94 kWh. Sendo que durante o período de geração são consumidos apenas 2,25 kWh e o restante, 5,53 kWh, é repassado para a rede, representado na figura 56.

**figura 56 - Gráfico Demanda diária x Produção diária**

Fonte: próprio autor

Considerando a média alterada devido a retirada dos picos de chuveiro elétrico a curva é alterada para conforme a figura 57, calculada a partir da remoção de todos os picos pertencente a chuveiros elétricos dos 10 consumidores durante o horário de ponta.

**figura 57 – Gráfico demanda média x média alterada x geração FV**



Fonte: próprio autor

Porém ao realizar a análise da diferença de demanda entre as curvas no horário das 18:00 às 21:00 horas, chegou-se a um valor de apenas 0,37 kWh/dia, o que em termos de demanda tem pouco significado durante o horário de ponta. Desse modo optou-se pelo caminho crítico, ou seja, os consumidores com os maiores picos de consumo durante o horário de ponta ocasionados pelo uso do chuveiro elétrico. Com a ajuda de uma tabela montada através da análise das demandas de cada consumidor foi possível isolar os picos de demanda pelos quais o chuveiro elétrico foi responsável, a figura 58 demonstra como a tabela foi organizada., contendo os picos de consumo de cada consumidor por dia de semana. Onde o consumo médio diário provém das curvas de demanda de cada consumidor estudado e a relação potência de pico/consumo é a relação entre o maior pico de demanda relacionado com o chuveiro elétrico e o consumo médio diário. A coluna “Watts” corresponde a potência instalada na unidade residencial.

figura 58 - Consumo ponta por dia

Consumidor	Média (consumo x média tempo)																													
	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia
Seg	2,5	2339	97	10	2239	373,203	0	2997	0	0	3395	0	12,5	2614	545	7,5	2802	350	20	4197	1399	12,5	1882	392	22,5	3017	1132	5	2461	205
Terça	5	2339	195	7,5	2239	279,903	5	2997	250	0	3395	0	5	2614	218	12,5	2802	584	5	4197	350	15	1882	470	20	3017	1006	2,5	2461	103
Quarta	0	2339	0	0	2239	0	10	2997	500	10	3395	566	5	2614	218	7,5	2802	350	2,5	4197	175	5	1882	157	17,5	3017	880	0	2461	0
quinta	7,5	2339	292	10	2239	373,203	15	2997	749	7,5	3395	424	2,5	2614	109	30	2802	1401	12,5	4197	874	2,5	1882	78	7,5	3017	377	2,5	2461	103
sexta	12,5	2339	487	15	2239	559,805	10	2997	500	10	3395	566	0	2614	0	2,5	2802	117	0	4197	0	5	1882	157	10	3017	503	0	2461	0
Sabado	2,5	2339	97	2,5	2239	93,3008	5	2997	250	2,5	3395	141	2,5	2614	109	5	2802	233	0	4197	0	2,5	1882	78	17,5	3017	880	0	2461	0
domingo	7,5	2339	292	10	2239	373,203	0	2997	0	7,5	3395	424	2,5	2614	109	12,5	2802	584	0	4197	0	22,5	1882	706	20	3017	1006	2,5	2461	103
Consumo total médio diário (kWh/dia)	4,67			4,13			8,25			4,86			3,99			3,13			4,61			5,72			5,11			4,3		
Relação Potência pico/Consumo médio diário	10,43%			13,55%			9,08%			11,64%			13,65%			44,76%			30,35%			8,22%			22,14%			4,77%		

Fonte: próprio autor

Em média para o consumidor 6 chegou-se a uma potência de aproximadamente 2800 Watts pela qual o chuveiro elétrico foi considerado responsável, no pico esta potência foi utilizada por um tempo de 30 minutos, ocasionando um consumo de 1,4 kWh, sendo este o consumo mais crítico dentre as demandas analisadas, mostrada em detalhe na figura 59. Também os consumidores 7 e 9 tiveram demandas altas, tendo o consumidor 7 tido um pico de 1,39 kWh e o consumidor 9 um pico 1,13 kWh.

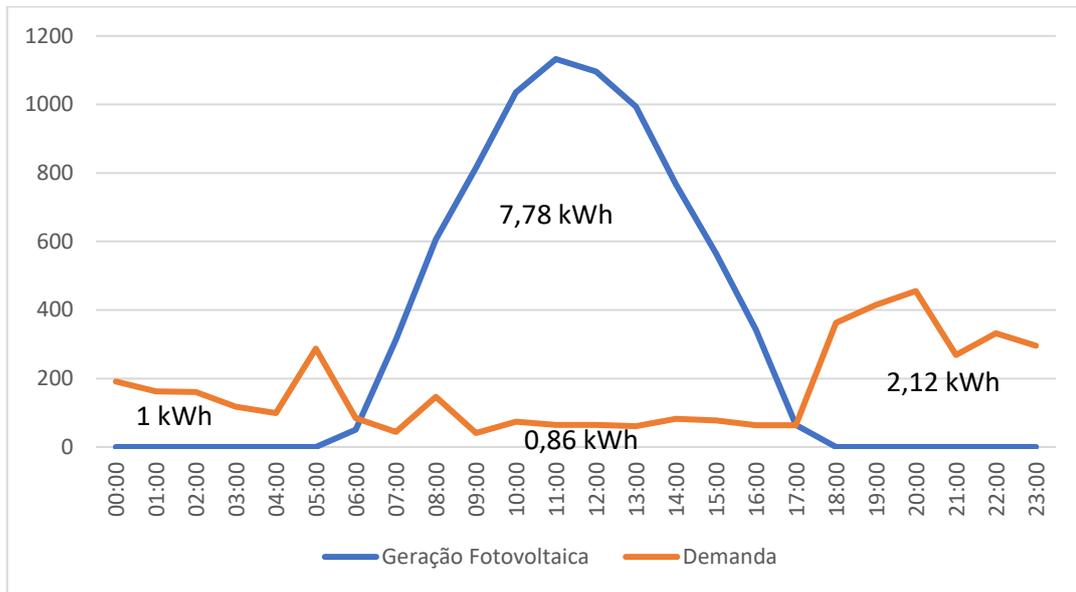
figura 59 - Detalhe dos picos consumidor 6

Média (consumo x média tempo)			
Consumidor	6		
	Tempo (min.)	Pot. Instalada (W)	Wh/dia
Seg	7,5	2802	350
Terça	12,5	2802	584
Quarta	7,5	2802	350
quinta	30	2802	1401
sexta	2,5	2802	117
Sabado	5	2802	233
domingo	12,5	2802	584
Consumo total médio diário (kWh/dia)	3,13		
Relação Potência pico/Consumo médio diário	44,76%		

Fonte: próprio autor

Com relação ao consumidor 6 verifica-se ainda que o pico de utilização do chuveiro, corresponde a aproximadamente 45% do consumo médio diário, resumindo-se os dados relacionados ao consumidor 6 tem-se então 7,78 kWh/dia gerado pelo sistema FV, um consumo médio diário de 3,13 kWh e um pico máximo correspondente a uma potência de 1,4 kWh (1401 W/h) devido ao chuveiro elétrico, sendo este pico no período de ponta. Na figura 60 o gráfico demonstra a geração fotovoltaica em comparação a demanda média do consumidor 6 em Watts/h.

figura 60 - Demanda x Geração FV



Fonte: próprio autor

Como é possível verificar, a demanda deste consumidor praticamente se concentra no horário de ponta, enquanto durante o horário de geração FV, a demanda é baixa. Ao acrescentar a utilização do boiler elétrico para este consumidor, acarretaria num acréscimo de 110,8 kWh/mês, isto representaria mais que o dobro do consumo mensal deste consumidor, que na média foi de 93,9 kWh/mês (média diária multiplicada por 30 dias), porém, apesar do aumento do consumo devido ao boiler, o fotovoltaico continuaria suprimindo a demanda total do consumidor com excedência. Na tabela 10 verifica-se os resultados de demanda, geração de energia, deslocamento de ponta e consumo do boiler.

**Tabela 10 - Resumo de resultados consumidor 6**

A	Geração fotovoltaica média para o mês de abril 2017	233,40	kWh
B	Demanda média mensal consumidor 6	93,90	kWh
C	Consumo médio mensal boiler 50 litros	110,78	kWh
D	Demanda referente ao uso de chuveiro elétrico (pior situação)	42,00	kWh
E	Demanda média horário de ponta	2,12	kWh
F	Demanda horário de ponta do chuveiro elétrico (pior situação)	1,40	kWh
$G = (A - B - C + D)$	Resultado excedente	70,72	kWh
$H = (E - F)$	Diferença horário de ponta com e sem chuveiro elétrico	0,72	kWh
$I = F/E$	Impacto na demanda de ponta	66,00	%

Fonte: próprio autor

O impacto na demanda de ponta seria de 66%, pois restaria na ponta apenas 0,72 kWh pelos quais o chuveiro não seria responsável.

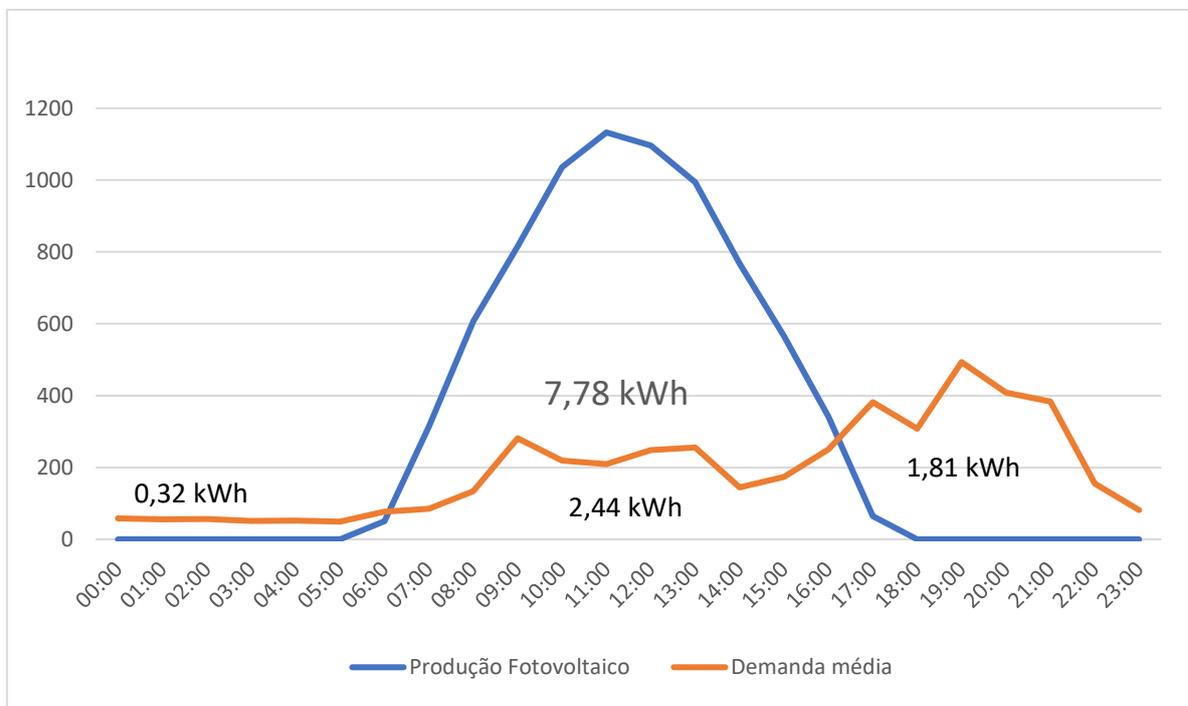
Já o consumidor 7 e o consumidor 9 possuem médias de consumo diária superiores ao consumidor 6, por isso a demanda ocasionada pelo chuveiro elétrico representa uma porcentagem menor da demanda diária. O consumidor 7 possui uma demanda média diária de 4,61 kWh da qual o chuveiro elétrico, na pior situação, corresponde a 1,39 kWh ou 30,35% da demanda total. Na figura 61 é demonstrada

em detalhe a demanda máxima relacionada ao chuveiro elétrico deste consumidor, assim como na figura 62 são representadas as curvas de geração fotovoltaica e de demanda média diária.

**figura 61 – Detalhe dos picos consumidor 7**

Média (consumo x média tempo)			
Consumidor	7		
	Tempo (min.)	Watts	Wh/dia
Seg	20	4197	1399
Terça	5	4197	350
Quarta	2,5	4197	175
quinta	12,5	4197	874
sexta	0	4197	0
Sabado	0	4197	0
domingo	0	4197	0
Consumo total médio diário (kWh/dia)	4,61		
Relação Potência pico/Consumo médio diário	30,35%		

**figura 62 – Demanda x geração fotovoltaica consumidor 7**



Fonte: próprio autor

A curva de demanda do consumidor 7 praticamente se concentra no horário de ponta, enquanto durante o horário de geração FV, a demanda é baixa. Ao acrescentar a utilização do boiler elétrico para este consumidor, acarretaria num acréscimo de 110,8 kWh/mês, isto representaria um acréscimo de quase 80% no consumo mensal deste consumidor, que na média foi de 138,30 kWh/mês (média diária multiplicada por 30 dias), porém, apesar do aumento do consumo, não existiria impacto real para o consumidor. Na tabela 11 é possível verificar os resultados de demanda, geração de energia, deslocamento de ponta e consumo do boiler.

**Tabela 11 - Resumo de resultados consumidor 7**

A	Geração fotovoltaica média para o mês de abril 2017	233,4	kWh
B	Demanda média mensal consumidor 7	138,30	kWh
C	Consumo médio mensal boiler 50 litros	110,78	kWh
D	Demanda referente ao uso de chuveiro elétrico (pior situação)	41,7	kWh
E	Demanda média horário de ponta	1,81	kWh
F	Demanda horário de ponta do chuveiro elétrico (pior situação)	1,39	kWh
$G = (A - B - C + D)$	Resultado excedente	26,02	kWh
$H = (E - F)$	Diferença horário de ponta com e sem chuveiro elétrico	0,42	kWh

**Tabela 7 - Resumo de resultados consumidor 7 (continuação)**

I= F/E	Impacto na demanda do horário de ponta	76,79	%
--------	--	-------	---

Fonte: próprio autor

Observa-se que a demanda máxima ocasionada pelo chuveiro elétrico é superior à demanda média de consumo deste consumidor demonstrando que em alguns casos o deslocamento da ponta seria superior a própria média de consumo durante o horário de ponta.

Já consumidor 9 possui a terceira maior demanda pela qual o chuveiro elétrico é responsável dentre o universo analisado de dez consumidores, onde o chuveiro elétrico é responsável por picos de até 1,1kWh de demanda e até 22,14% da demanda média diária deste consumidor, a figura 63 demonstra em detalhes os picos ocasionados pelo chuveiro elétrico.

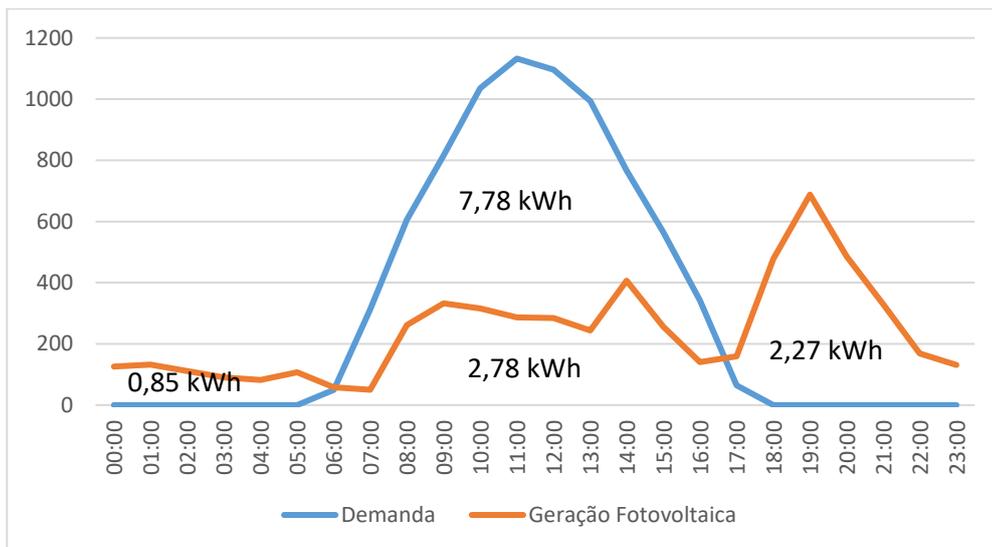
**figura 63 – Detalhe dos picos consumidor 9**

Média (consumo x média tempo)			
Consumidor	9		
	Tempo (min.)	Watts	Wh/dia
Seg	22,5	3017	1132
Terça	20	3017	1006
Quarta	17,5	3017	880
quinta	7,5	3017	377
sexta	10	3017	503
Sabado	17,5	3017	880
domingo	20	3017	1006
Consumo total médio diário (kWh/dia)	5,11		
Relação Potência pico/Consumo médio diário	22,14%		

Fonte: próprio autor

Sua curva de demanda possui um consumo bem acentuado no horário de ponta assim como os consumidores anteriores. Porém, este consumidor difere-se dos anteriores por possuir uma demanda mais elevada durante alguns horários fora da ponta, como pode ser verificado na figura 64.

**figura 64 - Demanda x Geração fotovoltaica consumidor 9**



Fonte: próprio autor

O consumidor 9 apresenta uma demanda de ponta bem acentuada, além de um consumo relativamente alto em outros horários. Portanto o deslocamento da ponta deste consumidor poderia ocasionar uma situação em que a energia gerada pelo fotovoltaico seria quase toda absorvida pelo próprio consumidor. Ao acrescentar a utilização do boiler elétrico para este consumidor, acarretaria num acréscimo de 110,78 kWh/mês, isto representa 72,26% do consumo mensal deste consumidor, que na média foi de 153,3 kWh/mês, porém, apesar do aumento do consumo, não existiria impacto real para o consumidor. Na tabela 12 é possível verificar os resultados de demanda e da geração de energia.

**Tabela 12 - Resumo de resultados consumidor 9**

A	Geração fotovoltaica média para o mês de abril 2017	233,4	kWh
B	Demanda média mensal consumidor 9	153,30	kWh
C	Consumo médio mensal boiler 50 litros	110,78	kWh
D	Demanda referente ao uso de chuveiro elétrico (pior situação)	33,94	kWh
E	Demanda média horário de ponta	2,27	kWh
F	Demanda média horário de ponta com chuveiro elétrico (pior situação)	1,13	kWh
$G = (A - B - C + D)$	Resultado excedente	3,26	kWh
$H = (E - F)$	Diferença horário de ponta com e sem chuveiro elétrico	1,14	kWh
$I = F/E$	Impacto na demanda do horário de ponta	49,78	%

Fonte: próprio autor

Conforme demonstrado, para as três piores situações de demanda, a utilização do sistema fotovoltaico conjugado seria viável, gerando excedentes de energia nos três casos, além de deslocar a demanda de ponta de modo considerável nos três casos, mesmo com a demanda representada pelo boiler.

#### 4.4 RESUMO DOS RESULTADOS – SITUAÇÃO CRÍTICA CONSUMIDOR 6

Para o consumidor crítico, tem-se:

- Consumo médio mensal: 93,3 kWh;
- Consumo médio mensal durante geração FV (06:00 às 18:00 horas):  
 $0,86 \text{ kWh} \times 30 \text{ dias} = 25,8 \text{ kWh}$ ;
- Geração média mensal sistema fotovoltaico: 233,40 kWh;
- Consumo mensal pior situação chuveiro elétrico em horário de ponta: 42 kWh;
- Consumo médio mensal de boiler elétrico 50l: 110,7 kWh;
- Excedente Geração FV:  $233,40 - 93,3 \text{ kWh} = 140,1 \text{ kWh}$
- Superávit de geração FV em conjunção com o boiler:  $233,40 - 93,3 + 42 = 71,4 \text{ kWh}$

Portanto tem-se um excedente de geração fotovoltaica de 140,1 kWh para o consumidor escolhido, este valor seria o suficiente para alimentar o boiler durante o mês inteiro, ainda gerando um superávit de 71,4 kWh, além de remover o impacto maior do chuveiro elétrico durante o horário de ponta para este consumidor.

Neste consumidor levando-se em consideração a pior situação de demanda durante o horário de ponta, tem-se o chuveiro elétrico correspondendo a 45% da demanda total mensal. A adoção do boiler elétrico pode promover uma queda da demanda durante a ponta de até 66%, um valor expressivo, mesmo que no geral o consumo de energia seja aumentado.

Extrapolando estes resultados para os consumidores residenciais da cidade de Lins-SP os quais tiveram um consumo total de 71.465.491,00 kWh durante o ano de 2017 e considerando que o consumo da ponta seja de 38% do valor médio diário, do qual o chuveiro elétrico pode corresponder a até 66%, isto representaria hipoteticamente, 17.923.545,14 kWh ou 25% do total consumido por residências.

Este deslocamento de demanda do horário de ponta corresponderia a 11,40% do total de energia elétrica consumido, incluindo comercial e industrial, na cidade de

Lins-SP, incluindo industrial e comer em 2017 que foi de 156.254.173 kWh, valor este suficiente para suprir a cidade por aproximadamente 1 mês e 10 dias.

#### 4.4.1 – RETORNO DE INVESTIMENTO

A partir do demonstrado acima é possível estimar o custo do retorno do investimento, a CPFL – Companhia Paulista de força e luz, possui uma tarifa mínima de R\$ 22,09 para consumidores faixa 1 (CPFL, 2018).

Com o valor de aquisição e instalação do boiler elétrico sendo em torno de R\$ 2.900,00 e o valor médio do sistema fotovoltaico sendo R\$ 12.349,20, tem-se um total de R\$ 15.249,20. Onde segundo a CPFL, 2018 o consumo de 200 kWh/mês possui custo aproximado de R\$ 101,17 por mês, em bandeira verde.

Custo da utilização do sistema fotovoltaico por mês (Valor do investimento mais taxa mínima de utilização da rede):

$$\frac{15249,30}{12 \times 25} = R\$ \frac{50,83}{\text{mês}} + R\$ \frac{22,01}{\text{mês}} = R\$ 72,84/\text{mês}$$

Assim a partir destes custos é possível verificar o retorno do investimento:

$$R\$ 101,17 - R\$ 72,84 = R\$ 28,33$$

Essa diferença para 25 anos geraria um retorno de R\$ 8499,00 reais, o que aparentemente não seria suficientemente vantajoso para incentivar o consumidor, porém, para a concessionária existiria uma série de benefícios, já descritos anteriormente, que poderiam justificar um investimento conjunto entre consumidores e concessionárias, porém tais benefícios necessitariam de um estudo mais aprofundado para serem quantificados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos estudos realizados foi possível definir a relevância da utilização de um sistema conjugado, suas vantagens e desvantagens. E quais as alterações que esta utilização traria para os consumidores e para o sistema elétrico nacional.

Um ponto a ser levantado é o impacto do chuveiro elétrico, em alguns casos este pode corresponder em até 45% da demanda diária de energia elétrica e 66% da demanda de ponta, isto demonstra que sua utilização é um dos itens mais expressivos na demanda energética residencial para consumidores até 200 kWh/mês, e ao mesmo tempo um problema para as concessionárias de energia elétrica pois seu uso, como verificado nas curvas de demanda, consiste em sua grande maioria durante o período mais crítico para as mesmas. Dessa maneira, um método que permite a diluição do consumo do chuveiro elétrico durante todo o dia representa um benefício sensível para as concessionárias e para o operador nacional de energia elétrica, pois todo o sistema é dimensionado para a ponta (disjuntores, redes de transmissão e transformadores), os quais operam com capacidade ociosa durante os outros períodos do dia. Isto acarreta em um aumento de custos, não pela geração da energia, mas por todo o sistema de transmissão e equipamentos necessários para que esta energia chegue aos consumidores.

Além disso, é viável a utilização de um sistema conjunto de fotovoltaico com um sistema de aquecimento de água por acumulação, pois o sistema FV gera em grande parte do dia um excedente que não é consumido, mas sim repassado para a rede gerando créditos, onde os consumidores durante os horários em que não há geração de energia consomem estes créditos utilizando a energia fornecida pela rede. Porém, a energia durante o horário de ponta é mais cara que fora deste período, deste modo para “zerar” a conta de energia, o consumidor precisa produzir efetivamente mais energia do que consome para que haja um equilíbrio. Portanto é válido a utilização do boiler elétrico, pois este utilizaria energia excedente do fotovoltaico durante o dia para o aquecimento de água, deslocando parte da energia consumida na ponta para o período fora dela. Apesar dos custos de instalação e aquisição do boiler e do consumo maior de energia elétrica que será acarretado, haverá uma vantagem dupla na conjunção destes dois elementos; para o consumidor a produção de sua própria energia e uma dependência menor da rede elétrica, já para as

concessionárias os benefícios seriam consideráveis, pois extrapolado para todo o consumo residencial do município que foi de 71.465.491,00 kWh em 2017, onde considerando que o consumo da ponta seja de 38% do valor médio diário, e onde o chuveiro pode corresponder em até 66% deste valor, isto representaria hipoteticamente 17.923.545,14 kWh ou 25% do total consumido por residências na cidade de Lins-SP em 2017.

O total de energia consumido na cidade em 2017 foi 156.254.173 kWh, onde o valor correspondente ao chuveiro elétrico na ponta poderia corresponder a 11,40% do total consumido. Este valor é expressivo e representaria uma economia com custos de manutenção e transmissão de energia que poderiam ser revertidos em outras áreas.

Desta forma além dos incentivos na utilização de fotovoltaicos, a utilização de boilers elétricos em conjunto com estes sistemas deveria também receber incentivos para sua utilização.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de continuidade para o estudo desenvolvido, de aprofundamento nos conceitos abordados, e de sanar alguns dos questionamentos levantados nesta pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros:

- Realizar uma pesquisa em conjunto com as concessionárias de energia para verificar se este tipo de utilização conjunta traria vantagens para as mesmas;
- Verificar qual o ponto de equilíbrio entre incentivos para instalação de sistemas FV conjugados com sistemas de acumulação e os benefícios trazidos;
- Investigar se de fato a extrapolação para todas as faixas de consumo residenciais traria as mesmas vantagens que trariam para a faixa 1;
- Estudar melhor quais seriam as vantagens e desvantagens para regiões diferentes da região estudada, levando-se em consideração a irradiação solar;
- Realizar uma análise com base em um universo maior de consumidores, confirmando assim as situações encontradas neste trabalho;
- Realizar o mesmo estudo com base em outros tipos de consumidores (comercial e industrial).

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 06 Jun. 2017.

ACCUWEATHER. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/lins/41693/weather-forecast/41693>>. Acesso em: 08 de Jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução normativa nº 482**. Abr. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução normativa nº 482**. Abr. 2015.

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. **Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 13, p. 75-87, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro. 1993.

Bazilian, M., Onyeji, I., Liebreich, M., MacGill, I., Chase, J., Shah, J., Gielen, D., Arent, D., Landfear, D. and Zhengrong, S. (2013). **Re-considering the economics of photovoltaic power. Renewable Energy**, 53, pp.329-338.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.** Brasília, 2009.

BOAIT, P. J. et al. **Production efficiency of hot water for domestic use.** *Energy and Buildings*, v. 54, p. 160-168, 2012.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila et al. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana.** 2010.

BRITISH PETROLEUM DISPONÍVEL em: <  
<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em 03 de Maio de 2016.

CABELLO, F. A.; POMPERMAYER, F, M.. **ENERGIA FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE ELÉTRICA: ATRATIVIDADE PARA O CONSUMIDOR FINAL E POSSÍVEIS IMPACTOS NO SISTEMA ELÉTRICO.** [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2013.

CABRAL, Isabelle de S.; CAZELGRANDI, Adriana T. Cazelgrandi; SENNA, Pedro R. **Energia Solar–Análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** 2013.

CABRAL, I.; VIEIRA, R.. . In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2012.

**Cargas a partir de padrões de hábitos de consumo.** In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS CONTROL AND THEIR APPLICATIONS, 9., 2010, Serra Negra. **Proceedings...** . Serra Negra:2010. p. 775 - 781.

CGEE. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. **Relatório do Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica 2025.** Outubro, 2008.

CHAGURI, J. (2018). **SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A GÁS: PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO E GERENCIAMENTO**. Mestre. Universidade de São Paulo.

CPFL – COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Disponível em: <<https://www.cpf.com.br/atendimento-a-consumidores/tarifa-branca/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2018.

COTRIM, Ademaro A. M. B. . **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS** . 5ª. ed. [S.I.]: PEARSON BRASIL, 2009. 520 p.

ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). **Relatório da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – classe residencial – ano base 2005**. jul. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. "**Balanco energético nacional 2015: Ano base 2014**". Brasil, 2015a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. "**Projeção da Demanda de Energia Elétrica: para os próximos 10 anos (2013-2022)**." Ministério de Minas e Energia, In Serie: Estudos de Demanda de Energia–Nota Técnica DEA 22. Brasil, 2012a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Brasil, 2012b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2016: ano base 2015**. Brasil, 2016a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta.** Brasil, 2015b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos.** Brasil, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2030.** Brasil, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2050.** Brasil, 2016b.

FALCÃO, D. **Smart grids e microrredes: o futuro já é presente.** In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 8., 2009, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SIMPASE, 2009.

FRANCISQUINI, A. A. **ESTIMAÇÃO DE CURVAS DE CARGA EM PONTOS DE CONSUMO E EM TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO.** 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2006.

GHISI, E., GOSCH, S. AND LAMBERTS, R. (2007). **Electricity end-uses in the residential sector of Brazil.** Energy Policy, 35(8), pp.4107-4120.

IBRAHIM, O., FARDOUN, F., YOUNES, R. AND LOUAHLIA-GUALOUS, H. (2014). **Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects.** Building and Environment, 72, pp.259-286.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology roadmap: solar photovoltaic energy.** 2010. <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv\\_roadmap-1.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap-1.pdf)>., Acesso em: 10 Jun. 2017.

Tabelas de consumo e eficiência energética. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

INSTITUTO IDEAL - América do Sol. **Benefícios e Custos da Energia Solar.** Disponível em: <<http://americadosol.org/beneficios-e-custos-da-energia-solar/>>. Acesso em: 03 Mar. 2017.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M.. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** Brasil Japão. Trabalhos, p. 189-205, 2005.

JANNUZZI, G. G.; GOMES, R. D. M.; VARELLA, F. K. O. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação.** Campinas, 2009.

JARDIM, C. S. A **Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Alimentadores Urbanos Enfocando a Redução do Pico de Demanda Diurno.** Tese de Doutorado. Tese–Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007.

Kyocerasolar. Módulos Solares. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/modulos-solares/kb260.html>>. Acesso Em: 05 Mai. 2017.

LORENZETTI. Disponível em: < <http://www.lorenzetti.com.br/pt/>>. Acesso em: 05 de Fev. 2018.

MASSERONI, J.; OLIVEIRA, C. R. Utilização de grupos geradores diesel em horário de ponta. Rev. Modelos Osório, v. 2, n. 2, p. 52-56, 2012.

MOSO Electric – Inversores. Disponível em: <<https://www.mosoec.com/en/index.php>>. Acesso em: 08 de Nov. de 2017

NASPOLINI, HELENA F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTHER, R. **The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil.** Energy Conversion and Management, v. 51, n. 12, p. 2835-2845, 2010.

OPERADOR DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

PORTAL SOLAR. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br>> Acesso em maio de 2017.

POTTER, C.; ARCHAMBAULT, A.; WESTRICK, K. **Building a Smarter Smart Grid through better renewable energy information.** Proc. Power Systems Conference and Exposition, p. 1-5, Mar. 2009

RADIASOL 2. Laboratório de Energia Solar – LABSOL. UFRGS, 2010.

SALAMONI, I. T. et al. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte.** 2004.

SANGOI, J. M. et al. **Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais.** 2015.

SÃO PAULO, G. D. E. **ANUÁRIO DE ENERGÉTICOS POR MUNICÍPIO NO ESTADO DE SÃO PAULO - 2017 ano base 2016.** Secretaria de Energia e Mineração. São Paulo-SP, p. 120. 2017.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. de G.; CAMARGO, I. M. de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais.** In: Políticas públicas para a energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília, DF: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2006.

SOLARGIS. **Mapas de irradiação solar.** Disponível em: <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/>>. Acesso em: 15 jul. 2017

SOUZA, A. S. et al. **Algoritmos para estimar curvas de cargas a partir de padrões de hábitos de consumo.** 2010.

TOLMASQUIM, M. T.. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** CENERGIA, COPPE-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

VIEIRA, A.S.; BEAL, C. D.; STEWART, R. A. **Residential water heaters in Brisbane, Australia: thinking beyond technology selection to enhance energy efficiency and level of service.** Energy and Buildings, v. 82, p. 222-236, 2014.

WIEHAGEN, J.; SIKORA, J. L. **Performance Comparison of Residential Hot Water Systems**. National Renewable Energy Laboratory, Report Number NREL/SR-550-32922, Golden (CO), 2003.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de Textos, 2016.