

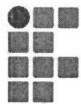
INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS  
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE  
PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
INSTALADAS EM HABITAÇÕES POPULARES**

Leandro Kazuaki Tsuruda

[IFG]  
[Goiânia - Goiás - Brasil]  
9 de maio de 2019





**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

### TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: **Leandro Kazuaki Tsuruda**

Matrícula: **20162011140122**

Título do Trabalho: **Análise de Tecnologias Sustentáveis Instaladas em Habitações Populares**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 30 / 04 / 19

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 27 / 03 / 2019.  
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS  
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE  
PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
INSTALADAS EM HABITAÇÕES POPULARES**

Leandro Kazuaki Tsuruda

Dissertação apresentada à Banca Examinadora como exigência parcial para a  
obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo  
Instituto Federal de Goiás (IFG), sob a orientação do Prof. Dr.  
Wesley Pacheco Calixto e coorientação do Prof. MSc. Marcio R. Cunha Reis

[IFG]

[Goiânia - Goiás - Brasil]

9 de maio de 2019

T7898a Tsuruda, Leandro Kazuaki.

Análise de tecnologias sustentáveis instaladas em habitações populares / Leandro Kazuaki Tsuruda. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.  
109 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Wesley Pacheco Calixto.  
Coorientador: Prof. MSc. Marcio R. Cunha Reis.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia.  
Inclui apêndice.

1. Tecnologias sustentáveis - habitações. I. Calixto, Wesley Pacheco (orientador). II. Reis, Marcio R. Cunha (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia. IV. Título.

CDD 697

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266  
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**IFG CÂMPUS GOIÂNIA**  
**MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

**Leandro Kazuaki Tsuruda**

**“ANÁLISE DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS INSTALADAS EM  
HABITAÇÕES POPULARES”**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em  
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG  
(PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado  
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de  
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:  
Energias Renováveis e Engenharia Econômica  
Aplicada.

Prof(a). Dr(a). WESLEY PACHECO CALIXTO – IFG PPGTPS (presidente e orientador)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Me(a). MÁRCIO RODRIGUES DA CUNHA REIS – IFG (coorientador)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). MARCOS ANTÔNIO DE SOUSA – PUC GOIÁS (avaliador externo)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). AYLTON JOSÉ ALVES – IFG PPGTPS (avaliador)

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). JOSÉ LUIS DOMINGOS – IFG PPGTPS (suplente)

Assinatura \_\_\_\_\_

Aprovado em: 27/03/2019





*“De vez em quando a mente do homem é esticada por uma ideia nova ou sensação e nunca mais se reduz às suas antigas dimensões.”*

OLIVER WENDELL HOLMES, *"The Autocrat of the Breakfast-Table"*, 1858.



*Dedico este trabalho aos meus pais Sérgio Nobuyuki Tsuruda  
(in memoriam) e Amália Tomika Tsuruda pelo apoio  
incondicional em todos os momentos, que dignamente me  
apresentaram à importância da família e ao caminho da  
honestidade e da persistência.*



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Wesley Pacheco Calixto, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de uma pessoa que transpira sabedoria e confiança. Agradeço também por todo ensinamento, paciência e dedicação. Obrigado igualmente ao meu Coorientador professor MSc. Márcio Rodrigues da Cunha Reis por todo o empenho e ensinamento para o desenvolvimento desse trabalho. Aos colegas do IFG e do NExT pela acolhida e apoio nessa jornada.

Agradeço a Agência Goiana de Habitação - AGEHAB, em nome do Presidente Luiz Stival, a Saneamento de Goiás - SANEAGO, a Prefeitura Municipal de Palmeiras de Goiás, aos voluntários do Residencial Maria Pires Perillo e demais pessoas que, diretamente ou indiretamente, contribuíram, dedicaram e confiaram na realização deste trabalho.

Ao amigo Msc. Thiago Augusto Mendes, pelo incentivo inicial em participar e o apoio durante o programa de mestrado.

Ao Diretor Técnico da AGEHAB Marcel Bruno Silveira e Souza e a Arquiteta Luíza Rodrigues Vitor, por acreditarem em meu trabalho, serem parceiros no desenvolvimento do Programa Casa Solar e participarem da realização de pesquisas com foco nas comunidades carentes, resultando na publicação de quatro artigos científicos em anais de eventos internacionais de comunidades científicas de grande importância.

Ao técnico Carlos Henrique Aquino, pela disponibilização do laboratório do setor de hidrometria da SANEAGO e a disposição em cooperar com o desenvolvimento dos equipamentos de medição .

Aos meus grandes amigos Diego Castro Porto, Roberto Batista Pontes e Sílvio Kenji Mitani pelo apoio, incentivo e compreensão.

Por último, e não menos importante, agradeço a Deus, aos familiares e a Kelly Yuri Honda Tsuruda; em especial minha filha Júlia Saori Tsuruda e meu filho Felipe Kazuki Tsuruda, pela compreensão das ausências e por estarem sempre presentes em minha vida. Dedico e compartilho a vocês o meu aprendizado.



## RESUMO

Propõe-se neste trabalho investigar o consumo de energia elétrica e água através de análise comparativa do uso das tecnologias sustentáveis aplicadas às moradias populares. Os dados são coletados em unidades habitacionais que receberam *retrofit* de iluminação, sistema fotovoltaico e sistema de aquecimento solar para água. É desenvolvido dispositivo medidor que armazena dados do volume de água consumido por banho, horário e duração. A análise da energia é realizada no circuito principal e na geração fotovoltaica. Os resultados apontam a solução econômica baseado na avaliação dos custos totais mensais do consumo de energia elétrica e água por habitação, comparando os sistemas de aquecimento solar de água, chuveiro elétrico, chuveiro elétrico associado a geração fotovoltaica e o aquecimento solar de água associado a geração fotovoltaica. Conclui-se que a implantação do sistema fotovoltaico para atendimento à demanda do chuveiro elétrico se destaca como solução que proporciona maior economia e melhor relação custo benefício, tanto no consumo energético quanto no hídrico.





# ANALYSIS OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES INSTALLED IN POPULAR HOUSING

## ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the consumption of water and electric power through a comparative analysis of sustainable technologies applied in popular houses. The data are collected in popular residences that have received retrofit lighting, photovoltaic system and solar heating system for water. A volume measuring device is developed to measure the volume of water consumed, time and duration per bath. The analysis occurs at the main circuit and at the solar photovoltaic panels. The results had reveal the alternative most economic based on the evaluations of monthly totals costs of electric power and water per house. Comparing electric shower, solar photovoltaic, solar thermal and the associations of electric shower and solar photovoltaic, and solar photovoltaic and solar thermal. It is concluded that the implantation of solar photovoltaic systems to supply the demands of electric shower has highlighted as the solution that provides highest economy and better cost-benefit ratio, in both energy and water.



## SUMÁRIO

Pág.

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE SÍMBOLOS

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 2 FONTE DE ENERGIA SOLAR</b>	<b>29</b>
2.1 Histórico das fontes de energia solar-elétrica e a matriz energética	29
2.2 Incentivos da diversificação da matriz energética brasileira	31
2.3 Adoção de estratégias para o fomento de fontes de energia sustentáveis	32
2.4 Caracterização solar brasileira	34
2.5 Sistema fotovoltaico	35
2.6 Sistema de aquecimento solar para água	39
2.7 Sistema de iluminação de alta eficiência	43
2.8 Sistema de aquecimento de água por efeito Joule	45
2.9 Consumo de energia elétrica e água em habitações de interesse social	46
2.10 Considerações	48
<b>CAPÍTULO 3 SISTEMAS TARIFÁRIOS</b>	<b>49</b>
3.1 Tarifa de energia elétrica	49
3.1.1 Leitura do consumo de energia elétrica	55
3.2 Tarifa de água	56
3.2.1 Leitura do consumo de água	58
3.3 Considerações	58
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGIA</b>	<b>61</b>
4.1 Metodologia para escolha do local da pesquisa	61
4.2 Instalação dos sistemas nas unidades habitacionais	62
4.2.1 Chuveiro elétrico e aquecedor solar para água	62
4.2.2 Sistema fotovoltaico	62

4.3	Dispositivos medidores do consumo de energia elétrica e água . . . . .	63
4.3.1	Medidor do consumo de energia elétrica . . . . .	63
4.3.2	Medidor do consumo de água . . . . .	65
4.4	Análise elétrica das lâmpadas instaladas . . . . .	66
4.5	Coleta e análise dos dados . . . . .	67
4.6	Análise econômica simples . . . . .	69
4.7	Considerações . . . . .	69
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS . . . . .</b>		<b>71</b>
5.1	Local da pesquisa e escolha das famílias voluntárias . . . . .	71
5.1.1	Procedimentos para escolha das famílias e coleta de dados . . . . .	72
5.2	Instalação dos sistemas nas unidades habitacionais . . . . .	73
5.2.1	Aquecimento de água . . . . .	75
5.2.2	Sistema fotovoltaico instalado . . . . .	75
5.2.3	<i>Retrofit</i> das lâmpadas . . . . .	77
5.3	Dispositivos medidores do consumo de água e energia elétrica . . . . .	77
5.3.1	Instalação do medidor de grandezas elétricas . . . . .	78
5.3.2	Construção e instalação do medidor do consumo de água . . . . .	79
5.3.2.1	Calibração do sistema de medição de água . . . . .	81
5.4	Análise elétrica das lâmpadas instaladas . . . . .	82
5.5	Procedimento para coleta de dados . . . . .	87
5.5.1	Análise dos dados coletados do consumo de água e energia . . . . .	87
5.5.2	Influência dos hábitos dos usuários na economia . . . . .	91
5.5.3	Análise dos harmônicos . . . . .	92
5.6	Comentários . . . . .	94
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO . . . . .</b>		<b>99</b>
6.1	Contribuições do trabalho . . . . .	100
6.2	Continuação do trabalho . . . . .	101
<b>APÊNDICE A Questionário de hábitos . . . . .</b>		<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>		<b>105</b>
<b>GLOSSÁRIO . . . . .</b>		<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Matriz energética brasileira no primeiro semestre de 2017. . . . .	30
2.2 Capacidade instalada brasileira: (a) 140GW em 2015 e (b) 400GW prevista para 2040. . . . .	31
2.3 Unidades consumidoras que utilizam o sistema fotovoltaico conectado a rede. . . . .	32
2.4 Número de sistemas fotovoltaicos conectados à rede por estado. . . . .	32
2.5 Potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica por estado. . . . .	33
2.6 Mapa de irradiação solar média anual no Brasil: (a) total diário da irradiação global horizontal [ $Wh/m^2 \cdot dia$ ] e (b) total diário da irradiação no plano inclinado na latitude [ $Wh/m^2 \cdot dia$ ]. . . . .	35
2.7 Análise comparativa de custo $\times$ eficiência das três gerações de células fotovoltaicas. . . . .	36
2.8 Estrutura da célula fotovoltaica convertendo luz em energia elétrica. . . . .	37
2.9 Modelo elétrico do painel fotovoltaico. . . . .	38
2.10 Características dos painéis fotovoltaicos: (a) tensão $\times$ corrente nos painéis fotovoltaicos, (b) tensão $\times$ potência para diferentes níveis de radiação e (c) tensão $\times$ potência para diferentes níveis de temperatura. . . . .	39
2.11 Evolução do mercado de aquecedores solares de água no Brasil. . . . .	40
2.12 Seção do coletor com superfície plana. . . . .	41
2.13 Sistema de aquecimento de água direto passivo. . . . .	41
2.14 Valores anuais de energia térmica no Brasil: (a) produção por área do coletor solar e (b) demanda por litro de água aquecida a 40°C. . . . .	43
2.15 Circuito elétrico equivalente: (a) chuveiro elétrico e (b) modelo com resistências elétricas acionadas por dispositivo mecânico. . . . .	46
2.16 Consumo total de energia elétrica no Brasil, 1970 a 2015 medidos e 2016 a 2050 previsão. . . . .	47
2.17 Unidades consumidoras com sistema fotovoltaico por classe. . . . .	48
4.1 Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica da concessionária e os fluxos de energia. . . . .	63
4.2 Instalação do analisador de energia no quadro de distribuição da residência. . . . .	64
4.3 Diagrama de blocos do <i>data logger</i> e analisador de energia. . . . .	64
4.4 Diagrama de blocos do dispositivo de medição do consumo de água. . . . .	65
4.5 Equipamentos de medição do consumo de energia elétrica e água do chuveiro. . . . .	66

4.6	Diagrama de ligação do analisador de energia nas lâmpadas LED. . . . .	66
4.7	Tetraedro das potências. . . . .	68
5.1	Localização do município de Palmeiras de Goiás. . . . .	71
5.2	Localização do Residencial Maria Pires Perillo e as principais vias de acesso. . . . .	72
5.3	Sistemas solares instalados com inclinação de 33% e azimute de 320°. . .	74
5.4	Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico instalado. . . . .	76
5.5	Microinversor utilizado e a conexão nos painéis fotovoltaicos. . . . .	76
5.6	Sistema com multimedidor e analisador DMI T40T. . . . .	78
5.7	Esquema elétrico da conexão do microcontrolador. . . . .	79
5.8	Esquema elétrico da conexão: (a) cartão SD, (b) interface de comunicação externa e (c) fonte de alimentação. . . . .	80
5.9	Esquema elétrico da conexão: (a) RTC DS1307, (b) YF S201 e (c) luzes de indicação de <i>status</i> do sistema. . . . .	80
5.10	Esquema elétrico da instalação do TP4056. . . . .	80
5.11	Sistema proposto para medição do consumo de água. . . . .	81
5.12	Dispositivos de medição de consumo instalados junto ao chuveiro elétrico. . . . .	81
5.13	Procedimento de calibração e verificação. . . . .	82
5.14	Sensor de fluxo de água instalado em bancada com vazão média controlada. . . . .	82
5.15	Procedimento de ajuste da vazão média para a realização da aferição do medidor de consumo de água. . . . .	83
5.16	Diagrama de blocos do procedimento utilizado para calibração. . . . .	83
5.17	Simulação do desempenho luminotécnico: (a) com o modelo LFC A, (b) com o modelo LFC F e (c) modelo utilizado nas residências estudadas. . . . .	85
5.18	Análise da energia na Casa 3. . . . .	88
5.19	Análise da temperatura ambiente na Casa 3. . . . .	88
5.20	Curva da energia ativa $\times$ fator de potência na: (a) Casa 1, (b) Casa 2 e (c) Casa 3. . . . .	94
5.21	Características elétricas da Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso. . . . .	94
5.22	Característica da <b>geração fotovoltaica</b> na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso. . . . .	95
5.23	Característica do <b>fator de potência</b> na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso. . . . .	95
5.24	Característica do <b>potência ativa</b> na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso. . . . .	95

5.25 Característica do <b>potência reativa</b> na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso. . . . .	95
--	----





## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Faixas de fluxo luminoso das lâmpadas LED por equivalente de potência.	44
2.2 Limites de corrente harmônicas. . . . .	45
2.3 Limites das taxas de distorção harmônica total de tensão. . . . .	45
2.4 Domicílios inseridos no sistema elétrico brasileiro. . . . .	47
2.5 Domicílios consumidores por faixa de consumo. . . . .	47
3.1 Modalidade tarifária do grupo <b>A</b> , subgrupos tarifários <b>A1</b> e <b>A2</b> , vigente em abril de 2018 no estado de Goiás. . . . .	52
3.2 Modalidade tarifária do grupo <b>A</b> , subgrupos tarifários <b>A3</b> e <b>A4</b> , vigente em abril de 2018 no estado de Goiás. . . . .	53
3.3 Planilha de desconto para a aplicação da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSSE) no Brasil. . . . .	53
3.4 Modalidade tarifária do grupo <b>B</b> convencional monômnia, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás. . . . .	54
3.5 Modalidade tarifária do grupo <b>B</b> horária branca, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás. . . . .	54
3.6 Adicionais das bandeiras tarifárias, vigentes em maio de 2018 no Brasil. . . . .	55
3.7 Características mínimas para os sistemas de medição. . . . .	56
3.8 Tarifa de consumo do abastecimento de água e esgotamento sanitário, vigente em junho de 2017 no estado de Goiás. . . . .	57
3.9 Tarifas mínimas cobradas por economia de água faturada, e na ausência desta, por economia de esgoto faturada, vigente em junho de 2017 no estado de Goiás. . . . .	57
3.10 Classes de hidrômetros e correspondentes valores de $Q_{min}$ e $Q_t$ . . . . .	59
5.1 Características das unidades habitacionais selecionadas. . . . .	73
5.2 Quadro de carga das unidades habitacionais. . . . .	74
5.3 Custo de utilização dos equipamentos instalados nas unidades habitacionais. . . . .	74
5.4 Características técnicas do chuveiro elétrico instalado. . . . .	75
5.5 Características técnicas do aquecedor solar instalado. . . . .	75
5.6 Características técnicas do sistema fotovoltaico instalado. . . . .	76
5.7 Características técnicas do microinversor instalado. . . . .	77
5.8 Características técnicas das lâmpadas instaladas. . . . .	77
5.9 Valores obtidos nos testes de calibração do medidor de consumo de água.	83

5.10	Dados luminotécnicos das lâmpadas analisadas. . . . .	84
5.11	Parâmetros elétricos obtidos a partir dos ensaios das lâmpadas analisadas. . . . .	85
5.12	Componentes individuais de distorção harmônica de tensão [%]. . . . .	86
5.13	Componentes individuais de distorção harmônica de corrente [%]. . . . .	86
5.14	Custo de utilização por 28 dias de cada sistema analisado. . . . .	87
5.15	Dados de consumo utilizando aquecimento solar para água, obtida no período de 21 de novembro de 2017 a 18 de dezembro de 2017. . . . .	89
5.16	Dados de consumo utilizando chuveiro elétrico, obtida no período de 19 de dezembro de 2017 a 16 de janeiro de 2018. . . . .	89
5.17	Dados de consumo utilizando chuveiro elétrico associado ao sistema fotovoltaico, obtida no período de 17 de janeiro de 2017 a 14 de fevereiro de 2018. . . . .	90
5.18	Dados de consumo utilizando o aquecimento solar para água associado ao sistema fotovoltaico, obtida no período de 15 de fevereiro de 2018 a 13 de março de 2018. . . . .	90
5.19	Resultados considerando o consumo médio final por banho somado ao custo de utilização dos equipamentos. . . . .	91
5.20	Previsão de consumo mensal dos sistemas avaliados e a economia obtida por cada solução em comparação ao chuveiro elétrico. . . . .	91
5.21	Vazão média da água por sistema avaliado. . . . .	92
5.22	Correlação entre as tecnologias avaliadas. . . . .	92
5.23	Dados do comportamento da potência por sistema avaliado. . . . .	93

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a - Si$	–	Silício amorfo
$C_C$	–	Consumo de energia acumulado
$C_{en}$	–	Custo da energia elétrica
$C_M$	–	Taxa de manutenção anual
$C_I$	–	Custo inicial total
$C_P$	–	Calor específico da água
$c - Si$	–	Silício cristalino
$C_t$	–	Custo da energia elétrica para a distribuidora
CdTe	–	Telureto de cádmio
CIGS	–	Disseleneto de cobre, índio e gálio
$cv$	–	Coefficiente de variação
$dx$	–	Coordenada do escoramento na posição $i$ do coletor solar
$e$	–	Nível de precisão
$E\%$	–	Erro percentual
$E_{econ}$	–	Economia mensais geradas
$E_{fed}$	–	Tributos pagos à União
$E_g$	–	Energia gerada
$E_{set}$	–	Encargos setoriais
$F'$	–	Fator de eficiência do coletor solar térmico
$G$	–	Irradiância sobre o módulo fotovoltaico
$G_{stc}$	–	Irradiância em condições de teste padrão
$I_{MAX}$	–	Corrente de máxima potência
$I_{sc}$	–	Corrente de curto-circuito
$I_{ph}$	–	Corrente gerada pelo efeito fotovoltaico
$I_d$	–	Corrente no diodo
$I_r$	–	Corrente no resistor
$K_i$	–	Coefficiente de temperatura da corrente
$L_i$	–	Leitura inicial
$L_f$	–	Leitura final
$m - Si$	–	Silício monocristalino
$m_c$	–	Vazão mássica do fluido que circula no sistema
$MPP$	–	Ponto de máxima potência
$n$	–	Número de amostras
$N$	–	Tamanho da população
$N_M$	–	Número de meses simulados
$n_t$	–	Número de tubos do coletor solar
$n_0$	–	Número inicial de amostras
$O\&M$	–	Custo de operação e manutenção
$P_{MAX}$	–	Potência máxima
$P_B$	–	<i>Payback</i>
$p - Si$	–	Silício policristalino

$Q_{min}$	–	Vazão mínima
$Q_{max}$	–	Vazão máxima
$Q_t$	–	Vazão de transição
$R_S$	–	Resistência elétrica
$R_{sol}$	–	Radiação solar absorvida pelo coletor
$st_{\infty}^2$	–	Valor padrão de distribuição normal
$T$	–	Temperatura
$T_{stc}$	–	Temperatura de operação do módulo em condições de teste padrão
$T_{\alpha}$	–	Temperatura ambiente
$U_L$	–	Coefficiente global de perdas térmicas do coletor solar
$V_{MAX}$	–	Tensão de máxima potência
$V_{oc}$	–	Tensão de circuito aberto

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAVA	– Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGEHAB	– Agência Goiana de Habitação
AGR	– Agência Goiana de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	– Alta Tensão
BNEF	– <i>Blooberg New Energy Finance</i>
BT	– Baixa Tensão
CBCS	– Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CELG	– Companhia Energética de Goiás
CGH	– Central Geradora Hidrelétrica
CIP	– Contribuição de Iluminação Pública
CIRRA	– Centro Internacional de Referência em Reuso de Água
COFINS	– Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	– Conselho Nacional de Política Fazendária
DEC	– Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DPS	– Dispositivo de Proteção contra Surtos
ELETOBRAS	– Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EOL	– Central Geradora Eolielétrica
EPDN	– Borracha de etileno-propileno-dieno
EPE	– Empresa de Pesquisa Energética
FAT	– Fundo de Amparo ao Trabalhador
FCO	– Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste
FEC	– Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FGTS	– Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
Fp	– Fator de potência
ICMS	– Imposto Sobre a Mercadoria e Serviços
IEC	– <i>International Electrotechnical Commission</i>
IGP-M	– Índice Geral de Preços ao Mercado
INMETRO	– Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC	– Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IQA	– Indicador de qualidade da água potável
ITE	– Indicador de tratamento de esgotos
LED	– Diodo Emissor de Luz
ME	– Medidor eletrônico
ME4Q	– Medidor eletrônico com medição em quatro quadrantes
ME2Q	– Medidor eletrônico com medição em dois quadrantes
MEMA	– Medidor eletromecânico de energia ativa

<i>MEMO</i>	– Medidor eletromecânico de energia reativa opcional
MME	– Ministério de Minas e Energia
<i>MT</i>	– Média Tensão
MTE	– Ministério do Trabalho e Emprego
<i>M&amp;V</i>	– Medição e Verificação
OGU	– Orçamento Geral da União
OMS	– Organização Mundial de Saúde
<i>O&amp;M</i>	– Operação e Manutenção
PAS	– <i>Publicly Available Specifications</i>
PCH	– Pequena Central Hidrelétrica
PIMVP	– Protocolo Internacional de Medição e Verificação de <i>Performance</i>
PIS	– Programa Integração Social
PRORET	– Procedimentos de Regulação Tarifária
<i>QEE</i>	– Qualidade da energia elétrica
SANEAGO	– Saneamento de Goiás
SBPE	– Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo
SFCR	– Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIN	– Sistema Interligado Nacional
<i>STC</i>	– Condições de Teste Padrão
<i>TC</i>	– Transformador de Corrente
TE	– Tarifa de Energia
<i>TP</i>	– Transformador de Potência
TSSE	– Tarifa Social de Energia Elétrica
TUE	– Tomada de Uso Específico
TUG	– Tomada de Uso Geral
TUSD	– Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
<i>T&amp;D</i>	– Transmissão e Distribuição de energia
UC	– Unidade Consumidora
UFV	– Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	– Usina Hidrelétrica de Energia
USP	– Universidade de São Paulo
UTE	– Usina Termelétrica de Energia
UTN	– Usina Termonuclear

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O direito à moradia é universal, protegido por instrumentos internacionais, pela Constituição Brasileira e assegurados pela Declaração Universal dos Direitos Humanos. Implicam na observância dos direitos a saúde, bem estar, serviços sociais, à vida e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e saudável. Suprindo as necessidades do presente sem interferir nas gerações futuras (PIOVESAN, 2004).

Conforme o sumário técnico de Eficiência Energética e Habitação de Interesse Social no Estado de São Paulo, os projetos habitacionais devem adotar a implantação de soluções para minimizar e evitar gastos com conjunto das condições ou circunstâncias ambientais (CBCS, 2010). Fornecer alternativas, principalmente para o aquecimento da água do chuveiro elétrico e para a redução dos gastos energéticos. Neste contexto, as fontes alternativas e renováveis de produção e aproveitamento de energia apresentam-se adequadas para agregar o modelo energético convencional, ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e saudável (TSURUDA et al., 2017b).

A escassez dos recursos energéticos tem impulsionado a racionalização do consumo de energia. O crescimento populacional e a dependência energética provocam o aumento da capacidade de geração de energia (ANEEL, 2008). Na busca da redução dos impactos ambientais proveniente das fontes de energia tradicionais, as energias renováveis são apresentadas como opção à matriz energética (PEREIRA et al., 2017).

Na Alemanha, o fomento da utilização das fontes de energia alternativas e renováveis teve início na década de 1980, com a manifestação em virtude dos acidentes nas usinas de Chernobyl e Fukushima. O governo determina o desligamento gradual de todas as dezessete usinas atômicas, criando incentivos e ações para produção através de energia de fontes renováveis (THE ECONOMIST, 2014).

A inserção das fontes alternativas e renováveis na China foi devido aos elevados índices de poluição atmosférica, de até vinte vezes o indicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), tornando-a o maior investidor em energia renovável do mundo, proporcionando melhorias na qualidade de vida da população e fomentando a oportunidade de negócios, criando formas de crescimento e desenvolvimento sustentável (THE DIPLOMAT, 2015).

Diversos países buscam fomentar a diversidade das fontes que compõem sua matriz energética, sendo as energias renováveis, alternativas para substituir e/ou comple-

mentar as fontes tradicionais. Visando ampliar a oferta de geração para atendimento a demanda crescente, reduzindo os impactos ambientais proveniente da produção de energia através de fontes tradicionais (TSURUDA et al., 2017b). A nova ordem mundial é a busca da autossuficiência em geração de energia, aliada a diversidade da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energia alternativas que supram a demanda interna do país (PACHECO, 2006).

De maneira geral, é observado nas residências o aumento expressivo das taxas de consumo de energia elétrica e água. Estudo desenvolvido por Prado (1991) nas unidades habitacionais de São Paulo, comprova que o chuveiro elétrico consome aproximadamente  $48kWh/mês$ , correspondendo a 32% do consumo mensal da energia elétrica. Prado (1991) adota o consumo de  $1,13kWh/hab \cdot dia$  para as moradias populares.

Oliveira et al. (2008) apresentam a substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares de água como sendo o viável. Os autores comprovam a redução do custo mensal de energia elétrica para os diferentes municípios do estado de Goiás e estimam que o consumo em moradias populares é de aproximadamente  $0,9kWh/hab \cdot dia$ . Isto corresponde a  $135kWh/mês$  de consumo de energia elétrica por domicílio com até cinco moradores.

Bermann (2002) e Lamberts et al. (2014) atestam o consumo *per capita* de  $1,46kWh/hab \cdot dia$  e  $1,53kWh/hab \cdot dia$ , respectivamente. Os autores realizam o levantamento do consumo de energia elétrica baseando-se nos equipamentos utilizados por famílias brasileiras de baixa renda. Os estudos desenvolvidos para habitações de interesse social, apontam o indicador de consumo médio de energia de  $1,25kWh/hab \cdot dia$ , correspondendo a  $188,25kWh/mês$  em unidades habitacionais com até cinco habitantes.

Vimieiro (2005) apresenta a análise do consumo de água em habitações. A autora compara o consumo de água antes e após a instalação dos equipamentos hidráulicos economizadores de água. Na análise é adotado o consumo *per capita* médio de  $79L/hab \cdot dia$ . Oliveira et al. (2006) identificam os pontos geradores de desperdícios de água e os impactos ambientais relacionados aos sistemas prediais de unidades habitacionais unifamiliares de interesse social. Os autores indicam o consumo *per capita* de  $86L/hab \cdot dia$  que corresponde a  $12.900L/domicílio \cdot mês$  com até cinco moradores.

Carvalho et al. (2005) analisam as moradias em Goiás e apresentam consumo de  $95L/hab \cdot dia$ , que corresponde a  $14.250L/mês$ , em moradias com até cinco habitan-



tes. Rocha et al. (1998) e Ywashima et al. (2006) realizam pesquisa em habitações na cidade de São Paulo, consideram o consumo de  $109L/hab \cdot dia$  e  $113L/hab \cdot dia$ , respectivamente. Dantas et al. (2006) consideram o consumo de  $117L/hab \cdot dia$ , para as habitações de Minas Gerais. Os estudos desenvolvidos apontam que, em média, o consumo de água é de aproximadamente  $99,3L/hab \cdot dia$ , que corresponde a  $14.895L/mês$  para unidades habitacionais com até cinco moradores.

O Centro Internacional de Referência em Reuso de Água (CIRRA) vinculada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) desenvolve avaliação do consumo de água, energia elétrica e gás em chuveiros elétricos, aquecedor a gás, chuveiro híbrido, aquecedor solar para água e aquecedor de acumulação elétrico. Para a realização do estudo são instalados seis pontos para banho no vestiário dos funcionários da USP, sem restrição da utilização, temperatura e tempo do banho. Os dados são coletados eletronicamente. Dentre os vários tipos de aquecimento de água, os de melhores resultados são chuveiro elétrico e elétrico/híbrido (aquecimento solar para água + chuveiro elétrico), pois apresentam menor custo por banho, sendo o principal fator a economia no consumo de água (ROCHA et al., 1998).

Várias são as pesquisas desenvolvidas no intuito de mensurar o consumo de energia elétrica e água nas habitações unifamiliares de interesse social. A implementação do sistema fotovoltaico neste tipo de moradia surge como forma de auxiliar na redução dos insumos. Neste contexto, existe a necessidade da avaliação dos sistemas: i) aquecimento solar de água, ii) chuveiro elétrico conectado à rede da concessionária, iii) chuveiro elétrico conectado à rede da concessionária e associado ao sistema fotovoltaico e iv) aquecimento solar de água associado ao sistema fotovoltaico. A comparação do consumo real dos insumos utilizados para banho, preservando os costumes e hábitos dos usuários, considerando as características das tecnologias adotadas para moradias populares e indicando o modelo mais econômico, justifica este trabalho (TSURUDA et al., 2017b).

Desta forma, é possível construir a hipótese primária: se avaliar o consumo de insumos utilizados pelos sistemas de aquecimento de água e energia elétrica para banho, relacionando-os diretamente com o comportamento dos usuários de habitações unifamiliares de interesse social, então será possível mensurar e identificar o sistema que representa a maior economia e melhor relação custo benefício considerando o consumo de água e energia elétrica, valor e vida útil dos equipamentos.

O objetivo principal deste trabalho é realizar estudo sobre a utilização da energia elétrica e água para banho em habitações unifamiliares de interesse social, que re-

ceberam sistemas de aquecimento solar para água e sistemas fotovoltaicos. Ainda como objetivos têm-se: i) análise do aquecimento solar de água e o consumo de energia elétrica, ii) análise do chuveiro elétrico conectado à rede da concessionária, iii) análise do chuveiro elétrico conectado à rede da concessionária e associado ao sistema fotovoltaico iv) análise do aquecimento solar de água associado ao sistema fotovoltaico e v) *retrofit* do sistema de iluminação.

Este trabalho está dividido em seis capítulos: no Capítulo 2 é apresentado o histórico das fontes de energia solar e da matriz energética, incentivos e fomento para diversificação da matriz energética brasileira, característica solar brasileira, sistema fotovoltaico, sistema de aquecimento solar para água, sistema de iluminação de alta eficiência e consumo de energia elétrica e água em habitações de interesse social. O Capítulo 3 descreve as características dos sistemas tarifários e a leitura dos consumos de energia elétrica e água. O Capítulo 4 descreve toda a metodologia do trabalho e o Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos. O Capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho.

## CAPÍTULO 2

### FONTE DE ENERGIA SOLAR

Neste capítulo será apresentado o histórico das fontes de geração de energia solar elétrica e a matriz energética brasileira. Apresenta-se ainda as formas de incentivos e fomentos para diversificação da matriz energética, as características de implantação dos: i) sistemas fotovoltaicos, ii) sistema de aquecimento solar para água, iii) sistemas de iluminação de alta eficiência e iv) sistema de aquecimento de água por efeito Joule e as características do consumo de energia elétrica e água em habitações de interesse social.

#### 2.1 Histórico das fontes de energia solar-elétrica e a matriz energética

No final da década de 1960 e sobretudo a partir da Conferência de Estocolmo em 1972, ocorre a intensificação de estudos, pesquisas e discussões sobre a sustentabilidade das atividades humanas e dos impactos ambientais. Os primeiros sinais das preocupações ligadas à conservação de energia são da década de 1970, intensificadas com a crise mundial do petróleo (FABRI, 2015).

As discussões sobre o aumento das emissões de gases de efeito estufa, que se acen- tuam após a Conferência Mundial do Meio Ambiente e discutida no Protocolo de Kyoto, resultam na reestruturação e criação de instituições destinadas a tratar de ações de eficiência energética, e como estratégia têm-se: i) redução do consumo de combustíveis fósseis e ii) redução na produção de gases causadores do efeito estufa (NERY, 2005). Durante este período, surgem algumas correntes, entre as principais estão: i) outro estilo de desenvolvimento de Oswaldo Sunkel (SUNKEL, 2001), ii) ecodesenvolvimento de Ignacy Sachs (SACHS, 1986) e iii) o desenvolvimento susten- tável da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (BRUNDTLAND, 1987).

No Brasil, ao longo da década de 1950, praticamente todos os estados da federação constituem empresas estatais de energia elétrica. Entre os anos de 1960 e 1980, o setor de energia elétrica obtém destaque em virtude do acréscimo anual do consumo na ordem de 10%, o governo decide executar dois projetos, as usinas de Tucuruí e Itaipu (ALBUQUERQUE, 2008).

O consumo, entre 1990 e 2000, cresce 49% enquanto a capacidade instalada brasi- leira é de 33%, decorrência do *déficit* de investimentos na geração, ficando evidente a deterioração da garantia de energia elétrica (FONSECA; VEIGA, 2002). Nos anos de

1990, 1997 e 1998 os reservatórios terminam o período seco com 18%, 66% e 28%, respectivamente, de água armazenada. A capacidade total de geração de energia elétrica atinge em 2017 aproximadamente 152GW, o potencial hidrelétrico classificado pela ANEEL de acordo com a geração é: i) central geradora hidrelétrica (CGH) com potencial de geração de até 5MW correspondendo a 0,35%, ii) pequena central hidrelétrica (PCH) com potencial de geração de 5MW a 30MW correspondendo a 3,27% e iii) usina hidrelétrica de energia (UHE) com potencial de geração maior que 30MW correspondendo a 61,27%, como ilustra a Figura 2.1, adaptada de ANEEL (2017a).

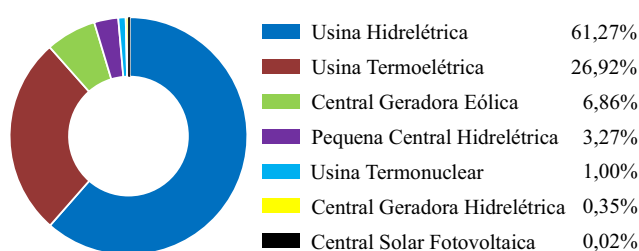


Figura 2.1 - Matriz energética brasileira no primeiro semestre de 2017.

O predomínio da participação das hidrelétricas na matriz energética brasileira torna-se singular nos aspectos da redução dos impactos ambientais e da emissão de gases de efeito estufa. Para atendimento a crescente demanda de energia, principalmente em períodos de estiagem, são acionadas usinas termoelétricas a combustíveis fósseis, chegando a corresponder aproximadamente 26% da oferta interna em 2017. Frente ao decréscimo da participação da geração hidráulica de 81% para 62% na matriz energética brasileira, entre os anos de 2011 a 2017, ocorre o aumento das emissões de carbono de 82kg de CO<sub>2</sub>/MWh para 137kg de CO<sub>2</sub>/MWh no período analisado (PEREIRA et al., 2017).

A participação das termoelétricas na matriz energética brasileira, com custos superiores aos das usinas hídricas, levou a criação da bandeira tarifária. Criado pela ANEEL, tem como objetivo sinalizar aos consumidores as condições de geração de energia elétrica, por meio da cobrança de valor adicional na tarifa de energia. A bandeira tarifária verde indica condições favoráveis de geração de energia, não implicando no acréscimo tarifário. As bandeiras tarifárias amarela e vermelha indicam condições críticas de geração de energia, resultando em cobranças adicionais à tarifa de energia (ANEEL, 2015).

## 2.2 Incentivos da diversificação da matriz energética brasileira

O aproveitamento do recurso solar apresenta como complemento as grandes hidrelétricas, estratégia consorciada permite compensar, principalmente nos períodos de estiagem, a geração e o atendimento ao consumo crescente de energia. As implantações das grandes usinas solares no Brasil estão concentradas na região de maior incidência solar, região nordeste do país. Permite antever possível processo de aumento de renda das regiões mais pobres, promovendo a inclusão social e econômica (PEREIRA et al., 2017).

No relatório *New Energy Outlook 2016*, produzido pela *Bloomberg New Energy Finance*, é previsto que dentro de 25 anos a presença das fontes eólica e solar na matriz energética nacional devem superar as hidrelétricas (BNEF, 2016). A Figura 5.20, adaptada de BNEF (2016), ilustra a previsão da diversificação tecnológica da matriz energética para os próximos anos. A geração hidrelétrica terá importância diminuída de 65% em 2015 para 29% da capacidade total da matriz em 2040, ao passo que, as gerações solar e eólica somadas poderão corresponder a 44%. As fontes com capacidade flexível são aquelas que possibilitam o armazenamento da energia e sua utilização quando necessário, estas fontes terão a participação de 11%, com destaque para as baterias associadas às fontes renováveis.

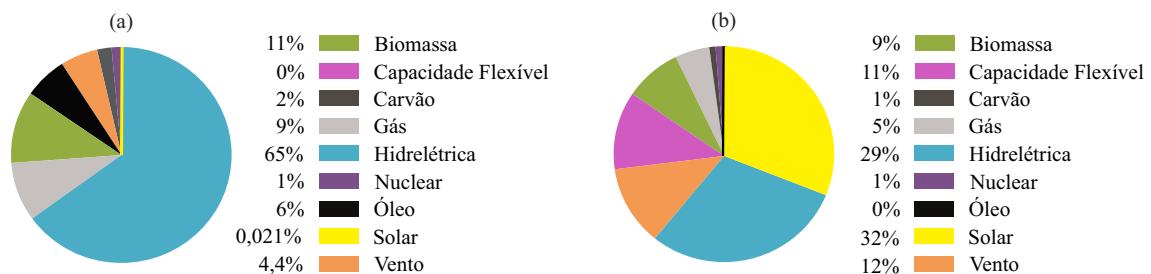


Figura 2.2 - Capacidade instalada brasileira: (a) 140GW em 2015 e (b) 400GW prevista para 2040.

Baseado nos dados coletados pela ANEEL, é observado o aumento do número de sistemas fotovoltaicos conectados as redes brasileiras. A Figura 5.23, adaptada de ANEEL (2017a), ilustra o crescimento do número de unidades consumidoras que utilizam o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCCR). O setor energético solar brasileiro, até o final de 2016, corresponde o total de 7.587 sistemas conectados. Em setembro de 2017 o setor solar apresenta o total de 15.810 conexões, como dado no relatório Capacidade de Geração no Brasil da ANEEL (2017a).

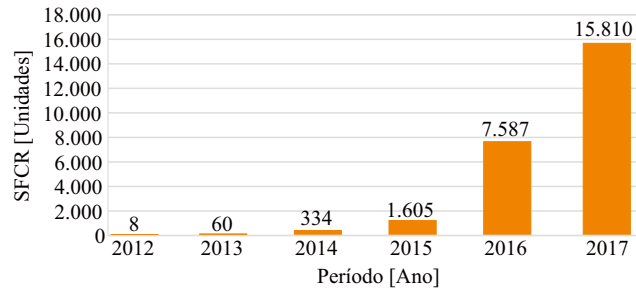


Figura 2.3 - Unidades consumidoras que utilizam o sistema fotovoltaico conectado a rede.

O *ranking* nacional dos sistemas fotovoltaicos, divulgado pela ANEEL em janeiro de 2018, apresenta o estado de Minas Gerais com o maior número de sistemas conectados e a maior capacidade de geração solar em *kW*, dentre todos os estados brasileiros. Goiás é o nono em número de sistemas conectados e oitavo em capacidade de geração. A Figura 5.24, adaptada de ANEEL (2017a), ilustra o *ranking* completo de sistemas conectados e a Figura 5.25, adaptada de ANEEL (2017a), ilustra a potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica por unidade federativa.

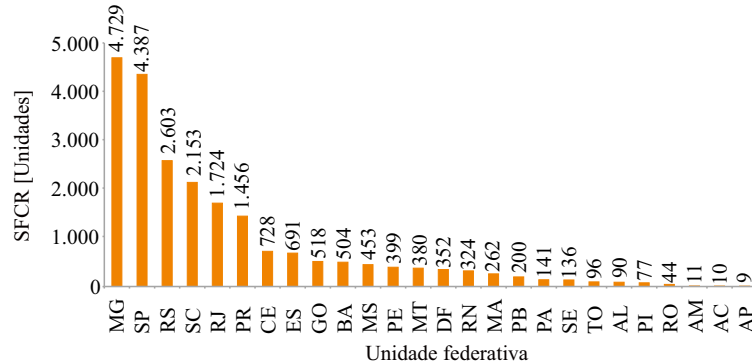


Figura 2.4 - Número de sistemas fotovoltaicos conectados à rede por estado.

### 2.3 Adoção de estratégias para o fomento de fontes de energia sustentáveis

O Brasil instituiu entre seus compromissos, a meta de alcançar 45% de participação de fontes renováveis de energia na matriz energética, incluindo fonte hídrica, com participação das demais renováveis entre 28% e 33% deste total. E entre outras, reduzir em 43% as emissões de gases com efeito estufa até 2030 em relação aos níveis de emissões observados em 2005 (PEREIRA et al., 2017).

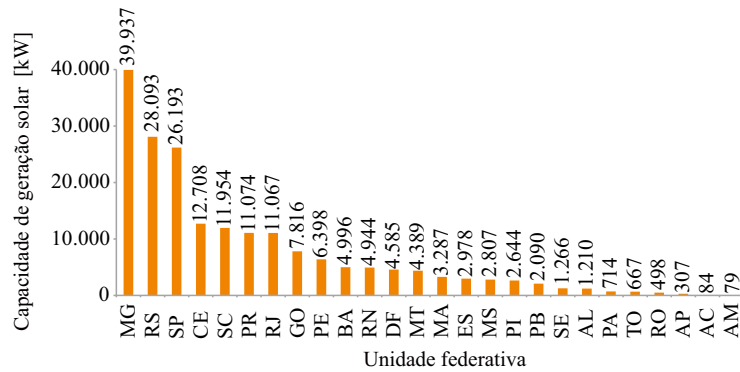


Figura 2.5 - Potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica por estado.

Para superar as barreiras e promover o aumento da participação das fontes renováveis, torna-se necessário a adoção de políticas que estimulem mudanças na utilização dos sistemas energéticos tradicionais (IEA, 2011). As políticas para a implantação de fontes renováveis são classificadas em três categorias: i) incentivos fiscais, ii) mecanismos estatais de financiamento e iii) política regulatórias (IPCC, 2011; IEA, 2011).

Os incentivos fiscais correspondem à aplicação de recursos públicos, incluindo mecanismos tributários, como reduções de alíquotas, isenções, deduções e créditos tributários, bem como a concessão de subsídios. Os mecanismos estatais de financiamento são as aplicações de recursos públicos com a expectativa de retorno financeiro, incluindo a concessão de financiamentos, garantias e participação societária em empreendimentos. As políticas regulatórias estabelecem regras que devem ser obedecidas pelos agentes reguladores. É fundamental para a inclusão de novas fontes energéticas, o atendimento das três categorias, aliadas com a promoção de pesquisas e desenvolvimentos, estimulando o progresso da aplicação, viabilidade técnica, econômica e social da inserção de tecnologias energéticas (CAEAT, 2012).

No Brasil, o constante crescimento da implantação de sistemas fotovoltaicos se dá pelas diversas iniciativas do governo. São adotadas as isenções de impostos, obrigatoriedade de uso nos Programas Habitacionais estabelecidos através da Portaria N° 643 de 13 de novembro de 2017 (CIDADES, 2017), oferta gratuita de equipamentos através dos Programas de Eficiência Energética da ANEEL, Programas de moradias de interesse social como o Minha Casa Minha Vida, entre outras ações.

O Governo do Estado de Goiás promove o incentivo ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica e demais fontes renováveis com medidas como a adesão ao Convênio ICMS N°16/2015 do CONFAZ para isenção de ICMS a energia de micro e

minigeração distribuída (CONFAZ, 2015), acesso as linhas de financiamento como crédito FCO SOL e Crédito Produtivo Goiás Fomento, Licença Ambiental Simplificada para os empreendimentos de sistema fotovoltaico.

A Agência Goiana de Habitação (AGEHAB) tem como objetivo promover o acesso universal à moradia digna. Em 2015, a AGEHAB iniciou pesquisas para proporcionar melhorias às habitações com a promoção da sustentabilidade por meio da inclusão de tecnologias limpas com a criação do **Programa Casa Solar**, que visa promover à unidade habitacional eficiência energética por meio de sistema fotovoltaico e lâmpadas LED de alta eficiência. Realiza ação social a moradores selecionados dentro do loteamento, com a capacitação técnica NR10 (MTE, 2016a) e NR35 (MTE, 2016b), treinamento para instalação de sistema fotovoltaico, palestras de conscientização e uso racional de energia.

Os resultados alcançados com a aplicação da energia solar como meio indutor da promoção do desenvolvimento sustentável e social em moradias populares, apontam para a redução do impacto ambiental, a melhoria da economia familiar e ao estímulo as mudanças comportamentais. Promove cidadãos conscientes e instruídos para melhor relação com o meio ambiente (TSURUDA et al., 2017a).

A fonte de recurso utilizada é o Cheque Mais Moradia no valor de R\$ 3.000,00 (três mil reais) por unidade habitacional. Os impactos na economia regional provocados pela utilização do Cheque Mais Moradia gera efeito multiplicador na economia regional. É o principal instrumento de execução da política de habitação de interesse social do Estado de Goiás (ASSEMBLEIA, 2003).

## 2.4 Caracterização solar brasileira

O planeta Terra recebe fluxo de radiação luminosa do Sol com cerca de  $1,41kW/m^2$ , sendo 19% absorvida pela atmosfera terrestre e 35% refletido pelas nuvens (ABRAVA, 2001). O aproveitamento da energia e do calor emitidos pelo Sol atua diretamente e indiretamente em todas as fontes de energia - hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis, energia dos oceanos, solar fotovoltaica e térmica, sendo esta fonte fundamental para todo o *habitat* terrestre.

O Brasil possui recurso solar entre  $1,55MWh/m^2 \cdot ano$  e  $2,35MWh/m^2 \cdot ano$ . O aproveitamento da energia solar é vantajoso em todo o território, mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar. Os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central do estado da Bahia com  $5,9kWh/m^2 \cdot$



*dia*. Há, durante todo o ano, condições climáticas que conferem regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para as regiões semiáridas (PEREIRA et al., 2017). A Figura 5.21, adaptada de Pereira et al. (2017), ilustra os mapas com o total diário da irradiação média anual no Brasil.

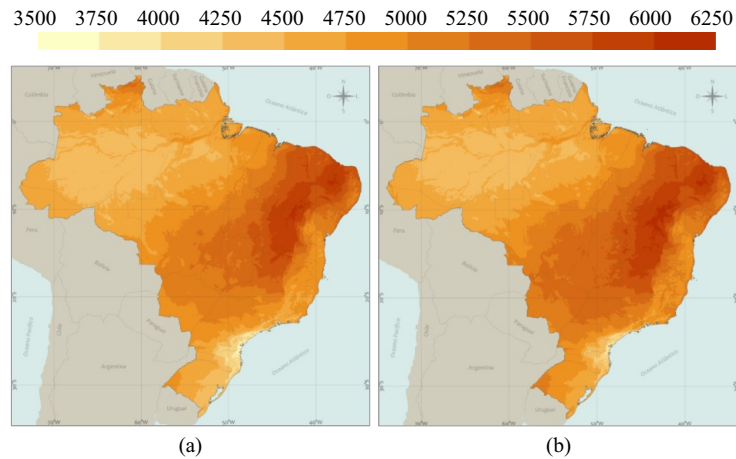


Figura 2.6 - Mapa de irradiação solar média anual no Brasil: (a) total diário da irradiação global horizontal [ $Wh/m^2 \cdot dia$ ] e (b) total diário da irradiação no plano inclinado na latitude [ $Wh/m^2 \cdot dia$ ].

Em particular, a região Centro-Oeste ocupa a segunda melhor região do país quando se considera índice de irradiação média global, dividindo o posto de melhor região quando se trata de irradiação média global sob o plano inclinado com  $5,7kWh/m^2 \cdot dia$ .

As aplicações práticas da energia solar, segundo Relatório Especial sobre Fontes de Energia Renovável e Mitigação de Mudanças Climáticas publicado pelo IPCC em Arvizu et al. (2011), podem ser dividida em dois grupos: i) energia solar ativa, que utiliza dispositivos para convertê-la em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos ou em energia térmica utilizando coletores solares e ii) energia solar passiva utilizado na arquitetura solar.

## 2.5 Sistema fotovoltaico

As principais tecnologias aplicadas na produção das células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é composta por silício cristalino  $c - Si$ , que se subdivide em silício monocristalino  $m - Si$  e silício policristalino  $p - Si$ , correspondendo a 85% do mercado (PINHO; GALDINO, 2014). A segunda geração, conhecida como filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo  $a - Si$ ,

disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A terceira geração é definida como células eficientes para a captação da luz solar, possuir baixo custo/*watt* e utiliza materiais abundantes e de baixa toxicidade (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 2.7, adaptada de Green (2006), ilustra a análise comparativa de custo  $\times$  eficiência das três gerações de células fotovoltaicas.

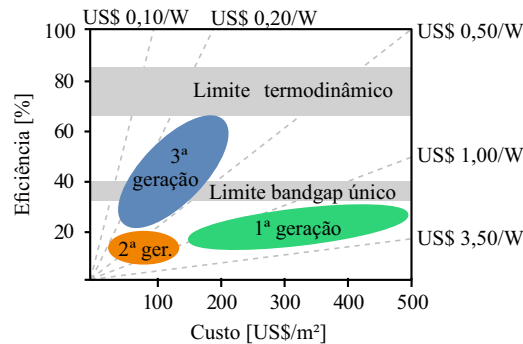


Figura 2.7 - Análise comparativa de custo  $\times$  eficiência das três gerações de células fotovoltaicas.

As células de silício monocristalino, as mais utilizadas e comercializadas, são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas, com espessura de aproximadamente  $200\mu\text{m}$ . A eficiência da célula, na conversão de luz em eletricidade é em média de 15% (ASIF, 2008) a 24,7% (GREEN et al., 2008). Segundo a Eletrobrás, a vida útil destas células são de 20 anos a 40 anos. A célula de silício multicristalino ou policristalino, são produzidas a partir de blocos de silício, obtidos por fusão de porções de silício puro. O silício é colocado no molde, resfria lentamente e se solidifica. A eficiência da célula de silício policristalino é menor que as de silício monocristalino, em média 14% (IEA, 2008) a 20,3% (GREEN et al., 2008). As células de silício amorfo são obtidas por meio de finas camadas de silício sobre superfícies de vidro ou metal, consome menos matéria prima e energia na fabricação, no entanto, são menos eficientes que as células de silício monocristalino (FADIGAS, 2012).

A Figura 2.8, adaptada de CRESESB (2014), ilustra a estrutura da célula fotovoltaica no momento da captação da luz pelos materiais semicondutores, rompendo as ligações e convertendo luz em energia elétrica. A arquitetura das células fotovoltaicas limita a eficiência das células. O limite termodinâmico na conversão fotovoltaica, como em todos os processos de transformação de energia, reduz a eficiência (BRITO; SILVA, 2009).

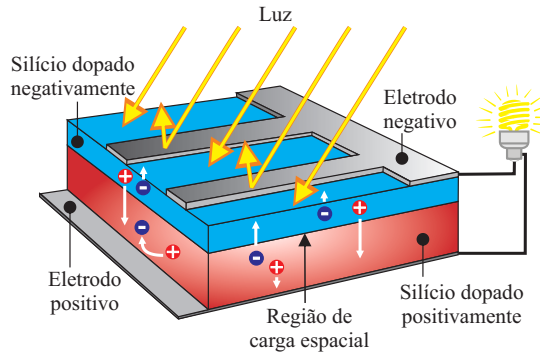


Figura 2.8 - Estrutura da célula fotovoltaica convertendo luz em energia elétrica.

Existem duas principais categorias de sistemas fotovoltaicos: i) os sistemas conectados à rede elétrica da concessionária de energia e ii) os sistemas isolados ou não conectados à rede elétrica da concessionária de energia. O que configura a diferenciação entre os dois sistemas é a existência ou não do sistema de armazenamento.

O desempenho dos módulos fotovoltaico é definido por parâmetros de funcionamento, caracterizados através de medidas da tensão de circuito aberto  $V_{OC}$ , para a corrente nula e da corrente de curto circuito  $I_{SC}$ , para a tensão nula. A expressão (2.1) define o ponto de potência máxima  $P_{MAX}$ , sendo  $I_{MAX}$  a corrente de máxima potência e  $V_{MAX}$  a tensão de máxima potência, dado por:

$$P_{MAX} = I_{MAX} \cdot V_{MAX} \quad (2.1)$$

A corrente gerada pelo efeito fotovoltaico é dependente da intensidade de radiação solar e da temperatura de operação, dada por:

$$I_{ph} = [I_{ph, stc} + Ki \cdot (T - T_{stc})] \frac{G}{G_{stc}} \quad (2.2)$$

O  $I_{ph, stc}$  representa a corrente gerada pelo efeito fotovoltaico sob condições padronizadas,  $Ki$  é o coeficiente de temperatura da corrente  $A/^{\circ}C$ ,  $T_{stc}$  é a temperatura de operação na condição padrão  $20^{\circ}C$ ,  $G_{stc}$  é a radiância na condição padrão  $1000W/m^2$ . As condições de teste padrão ( $STC$ ) são necessárias para garantir a repetibilidade na obtenção dos parâmetros do painel fotovoltaico (KENNY et al., 2013).

Existem diversos tipos de modelos matemáticos e elétricos que descrevem o comportamento do painel fotovoltaico (KJÆR, 2005). No circuito elétrico dos painéis existem

perdas devido a fugas de correntes proporcionais à tensão, que são representadas por resistências elétricas internas, as quais estão associadas a resistência em série e em paralelo (VERA, 2004). A Figura 2.9, adaptada de Villalva et al. (2009), ilustra o modelo elétrico de painel fotovoltaico, que usa fonte de corrente, diodo, resistor em série  $R_S$  e em paralelo  $R_{Sh}$ .

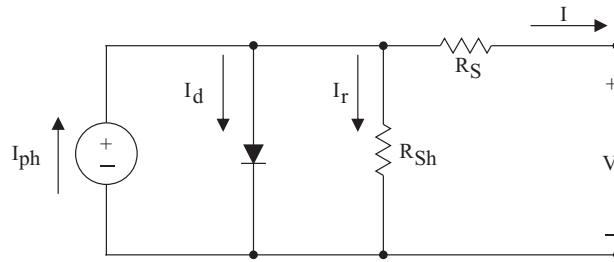


Figura 2.9 - Modelo elétrico do painel fotovoltaico.

Em (2.3) obtêm-se a corrente de carga do circuito, sendo  $I_{ph}$  a corrente gerada pelo efeito fotovoltaico,  $I_d$  a corrente no diodo e  $I_r$  a corrente no resistor  $R_{Sh}$ .

$$I = I_{ph} - I_d - I_r \quad (2.3)$$

Alguns fatores externos podem interferir nas características elétricas dos dispositivos fotovoltaicos. A obtenção do ponto de máxima potência (*MPP*) produzida por estes dispositivos são influenciados diretamente por: i) radiação solar, ii) temperatura de operação do módulo e iii) carga conectada ao painel (VILLALVA et al., 2009).

Segundo Brito et al. (2010) os painéis fotovoltaicos apresentam curvas características não lineares de geração, pois são influenciadas pelas condições climáticas e variações da intensidade de radiação solar incidente. A Figura 2.10(a) ilustra a tensão  $\times$  corrente com destaque ao ponto de geração de máxima potência (*MPP*), a curva apresenta a corrente de curto circuito no ponto de tensão nula e a tensão de circuito aberto no ponto de corrente nula. A Figura 2.10(b) ilustra a tensão  $\times$  potência considerando as variações de irradiação solar, onde é observado que a potência gerada é diretamente proporcional ao aumento da irradiação solar. A Figura 2.10(c) ilustra a tensão  $\times$  potência para diferentes níveis de temperatura, é observado que a potência gerada é inversamente proporcional ao aumento dos níveis de temperatura.

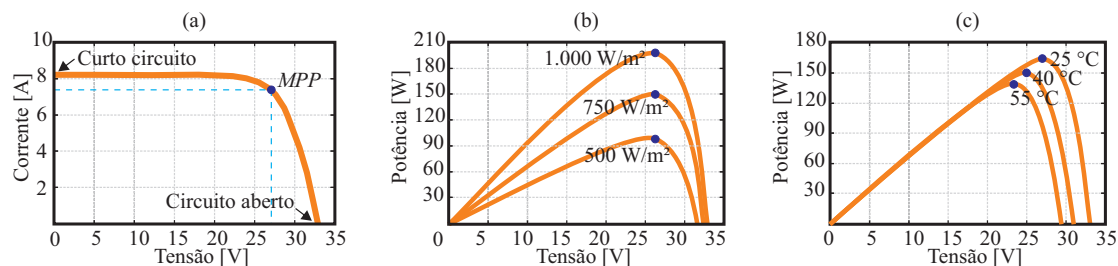


Figura 2.10 - Características dos painéis fotovoltaicos: (a) tensão  $\times$  corrente nos painéis fotovoltaicos, (b) tensão  $\times$  potência para diferentes níveis de radiação e (c) tensão  $\times$  potência para diferentes níveis de temperatura.

## 2.6 Sistema de aquecimento solar para água

Os coletores solares são frequentemente aplicados em residências e comércios em baixas temperaturas, em torno dos  $100^{\circ}\text{C}$ . É a aplicação da energia solar mais difundida atualmente no Brasil, o aquecimento de água para uso doméstico, principalmente em substituição ao aquecimento elétrico ou a gás (chuveiros) (PINHO; GALDINO, 2014).

São divididos em coletores abertos e fechados, sendo sua diferença em função da temperatura desejada. Os sistemas de aquecimento solar para água segundo a ABNT estabelecido na NBR 1569, é definido por coletor(es) solar(es), reservatório(s) térmico(s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas que funcionam por circulação natural ou forçada (ABNT, 2008).

Os coletores solares planos abertos são produzidos com materiais termoplásticos, polipropileno, EPDM ou borrachas especiais. Operam a temperaturas entre  $30^{\circ}\text{C}$  e  $40^{\circ}\text{C}$  e se aquecem através da radiação solar e da temperatura ambiente. Sua principal característica é o baixo custo de instalação (PEREIRA et al., 2003). A água aquecida no coletor solar plano é armazenada no *boiler* que podem ser abertos (não pressurizados) ou fechados (pressurizados). Sendo os reservatórios fechados os mais utilizados, pois são adequados às instalações de pequeno, médio e grande porte (VARELLA et al., 2004).

A popularização da tecnologia do aquecimento solar para água é principalmente devido a disponibilidade no mercado brasileiro, com diversos fornecedores e fabricantes, com fácil instalação e considerada viabilidade econômica. Além disto, há a promoção de incentivos governamentais indutores do uso em larga escala com aplicação em residências. Entre eles, podem ser destacados: i) isenção de impostos, ii) obrigatoriedade de uso nos Programas Habitacionais, iii) oferta gratuita de equipa-

mentos através de programas de eficiência energética da ANEEL e iv) programas de moradias de interesse social como o Minha Casa Minha Vida (PEREIRA et al., 2017). Na Figura 2.11, adaptada de DASOL (2014), é ilustrada a evolução do mercado de aquecimento solar de água no Brasil referente ao período de 2001 a 2014.

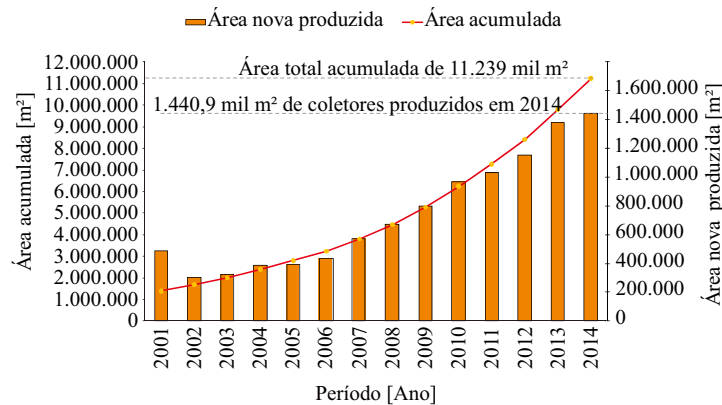


Figura 2.11 - Evolução do mercado de aquecedores solares de água no Brasil.

Em âmbito federal, há projetos como o PL nº 478330/2007 que torna obrigatório o uso de sistema de aquecimento solar de água em imóveis financiados com recursos do Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE), Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT) e do Orçamento Geral da União (OGU) (CAMARA, 2007). Além disto, para o incentivo da utilização dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar para água, há a recém-aprovada Portaria nº 643, de 13 de novembro de 2017 do Ministério de Estado das Cidades, que dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia em habitações de interesse social (CIDADES, 2017).

Os coletores solares planos fechados, são constituídos de caixa externa isolada termicamente, possuindo tubos internos para escoamento do fluido e placa para absorção da energia irradiada. A Figura 2.12, adaptada de Lima (2003), ilustra o sistema de aquecimento solar para água.

O efeito estufa formado dentro da caixa térmica, provocado pela radiação solar, aquece o fluido nos tubos proporcionando temperatura de aproximadamente 60°C. A água aquecida no coletor solar plano é armazenada no *boiler*, que é o reservatório com isolamento térmico que reduz as perdas de calor para o meio. Na Figura 2.13, adaptada de Lima (2003), é ilustrado o sistema de aquecimento de água composto

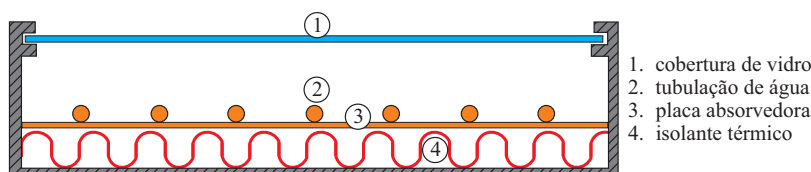


Figura 2.12 - Seção do coletor com superfície plana.

por coletor solar, reservatório térmico de água quente e rede de distribuição de água aquecida. Através do misturador a água aquecida é dosada com a água fria da caixa de água para o uso.

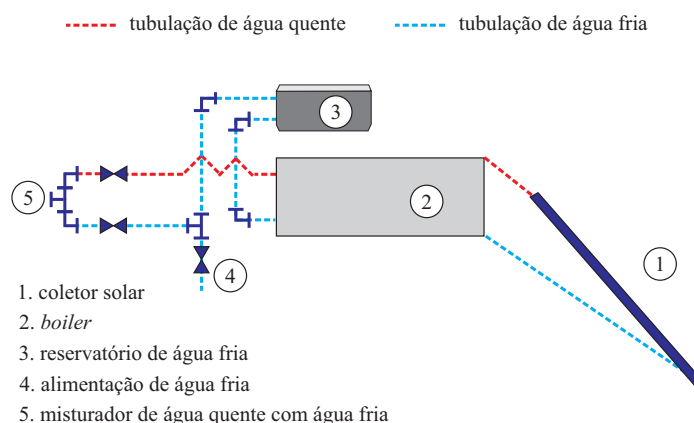


Figura 2.13 - Sistema de aquecimento de água direto passivo.

Este coletor solar é um dos mais utilizados para o aquecimento de água residencial (PEREIRA et al., 2017). A modelagem matemática que define este tipo de aquecedor é desenvolvida por *Hottel-Bliss-Whillier*. Os parâmetros utilizados na modelagem são estabelecidos através de ensaio experimental com o intuito de determinar o rendimento térmico dos coletores. A expressão (2.4) é a equação diferencial de primeira ordem que representa a modelagem matemática do funcionamento dos coletores solares, adaptada de Pozzebon (2009), dada por:

$$\left(\frac{m_c}{n_t}\right) \cdot C_P \frac{dT(x)}{dx} = W \cdot F' [R_{sol} - U_L \cdot (T - T_\alpha)] \quad (2.4)$$

onde  $m_c$  representa a vazão do volume ocupado pela água no coletor solar,  $n_t$  é o número de tubos no coletor solar,  $C_P$  é o calor específico da água,  $T$  é a temperatura média do fluido,  $W$  é a distância entre os centros dos dois tubos consecutivos,  $F'$  é o

fator de eficiência do coletor solar,  $R_{sol}$  é a radiação solar absorvida pelo coletor,  $U_L$  é o coeficiente global de perdas térmicas do coletor solar,  $T_a$  é a temperatura ambiente e  $dx$  é a coordenada do escoramento na posição  $i$  do coletor solar (POZZEBON, 2009).

Segundo Pozzebon (2009), para a análise da economia de energia com a utilização do sistema de aquecimentos solar para água é necessário estabelecer parâmetros como: i) custo da energia, ii) custo dos equipamentos, acessórios e instalação [ $R\$/m^2$ ], iii) custo da manutenção, iv) vida útil do sistema e v) taxa anual de aumento do custo da energia. A expressão (2.5), simula as economias mensais esperadas, dada por:

$$E_{econ} = \left( \frac{C_c \cdot C_{en}}{NM} + O\&M \right)_2 - \left( \frac{C_c \cdot C_{en}}{NM} + O\&M \right)_1 \quad (2.5)$$

onde  $C_c$  é o consumo de energia [ $kWh$ ] acumulada durante o período simulado,  $C_{en}$  é o valor do custo de energia elétrica cobrada pelas concessionárias [ $R\$/kWh$ ],  $NM$  é o número de meses simulados,  $O\&M$  é o custo de operação e manutenção da instalação do aquecimento solar para água e os índice 1 e índice 2 representam valores da simulação e valores do sistema comparado, como sistema de chuveiro elétrico, por exemplo (POZZEBON, 2009).

A expressão (2.6) define o custo de operação e manutenção ( $O\&M$ ), como taxa anual referente ao valor inicial do investimento, dada por:

$$O\&M = \frac{C_M \cdot C_I}{12} \quad (2.6)$$

onde  $C_M$  é a taxa de manutenção anual em valores percentuais e  $C_I$  é o custo inicial total do sistema instalado.

Em (2.7) é dada a estimativa do *payback* simples  $PB_s$  que expressa o tempo em que as economias mensais geradas  $E_{econ}$  retornam o investimento inicial do sistema  $C_{I(1)}$ , dado por:

$$PB_s = \frac{C_{I(1)}}{E_{econ}} \quad (2.7)$$

Segundo Pereira et al. (2017), a produção anual de energia térmica brasileira deve considerar as variações de temperatura de cada região. Para esta análise é adotado o sistema padrão de aquecimento solar para água, considerando: i) coletor de placa



plana com cobertura de vidro, ii) volume do reservatório igual ao volume de água consumida diariamente, iii) relação entre volume do reservatório e área de placa  $75 \text{ litros}/m^2$ , iv) consumo diário de  $300 \text{ litros}$  de água aquecida a  $40^\circ C$  e v) temperatura da água fria equivale à média mensal da temperatura ambiente local. A Figura 2.14, adaptada de Pereira et al. (2017), ilustra: (a) mapa da produção anual de energia térmica por área do coletor solar proposto instalado e (b) demanda anual de energia térmica por litro de água aquecida. Nas simulações são observadas que nas regiões mais quentes o sistema fica superdimensionado, para a região Sudeste e região Sul onde a demanda de energia térmica é maior, é exigido mais equipamentos. Para a região Norte é observado o comprometimento do desempenho dos equipamentos provocado pela alta nebulosidade.

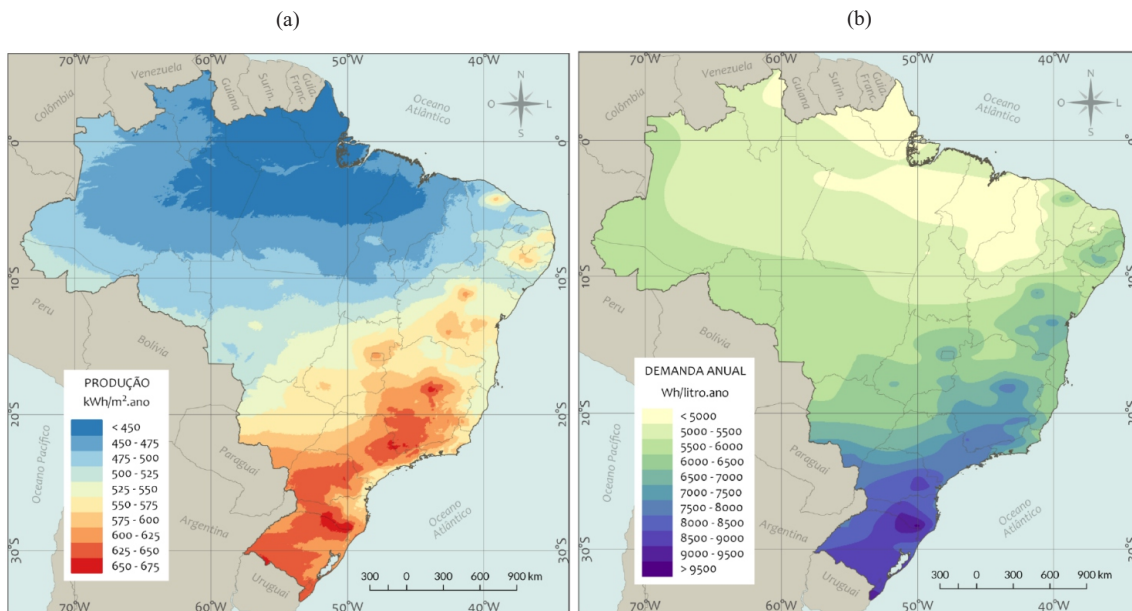


Figura 2.14 - Valores anuais de energia térmica no Brasil: (a) produção por área do coletor solar e (b) demanda por litro de água aquecida a  $40^\circ C$ .

As normas técnicas brasileiras dos aquecedores solares de água são estabelecidas na: i) NBR 12269 - Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água (ABNT, 1992a), ii) INMETRO - Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água (INMETRO, 2005b).

## 2.7 Sistema de iluminação de alta eficiência

Normalmente, para melhorar a eficiência energética em ambientes a serem iluminados é realizado o *retrofit* das lâmpadas por iluminação de alta eficiência de diodos

emissores de luz (LED). As normas técnicas brasileiras para as lâmpadas LED são estabelecidas na: i) ABNT IEC/PAS 62612 - Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral (ABNT, 2013d), ii) NBR IEC 62560 - Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão  $> 50$  V (ABNT, 2013c), iii) INMETRO - Portaria n° 389 - Regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base (INMETRO, 2014), iv) INMETRO - Portaria n°144 - Requisitos de avaliação da conformidade para lâmpadas LED com dispositivo integrado à base (INMETRO, 2015).

O *Electrical and Photometric Measurements of Solid State Lighting Products* (LM-79-08) é o procedimento de teste para determinar as características de desempenho de equipamentos de LED integrados, aplicável à lâmpada ou luminária (DOWLING et al., 2007). Este teste fornece o desempenho sob as condições de operação especificadas no momento definido como vida do produto, normalmente no início da operação. A Tabela 2.1, dispõe as faixas de fluxo luminoso das lâmpadas de LED pela equivalência da potência de dois tipos diferentes de lâmpadas: incandescentes e fluorescentes.

Tabela 2.1 - Faixas de fluxo luminoso das lâmpadas LED por equivalente de potência.

Potência equivalente [W] lâmpadas incandescentes	Potência equivalente [W] lâmpadas fluorescentes	Fluxo luminoso [lm] lâmpadas LED
40	13	560 - 640
50	15	641 - 802
60	16	803 - 946
70	17	947 - 1017
75	20	1018 - 1115
80	23	1116 - 1310

As medições devem ser realizadas após o período de estabilização de 15 minutos e cada lâmpada testada por pelo menos três vezes em períodos diferentes, para evitar erros de leitura. As medições obtidas devem estar em conformidade com o padrão IEC 61000-4-30 (IEC, 2003). A Tabela 2.2, adaptada de IEC (2004), dispõe o que a norma IEC 61000-3-2 define para lâmpadas LED com potência entre 5W e 25W, que o fator de potência  $F_p$ , deve ser maior ou igual a 0,7 e que as correntes harmônicas não devem ser superiores aos limites estabelecidos.

A Tabela 2.3, adaptada de IEEE (1993), dispõe os limites das taxas de distorção harmônica total de tensão, para a classe de tensão  $V \leq 1kV$  e define o valor limite de 8,0% (LANGELLA et al., 2014).

Tabela 2.2 - Limites de corrente harmônicas.

Ordem harmônica (n)	Máxima corrente harmônica permitida [%]
2	2
3	$30 \cdot F_p$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

Tabela 2.3 - Limites das taxas de distorção harmônica total de tensão.

Tensão do barramento [V]	Harmônicos individuais [%]	Distorção harmônica total THD [%]
$V < 1.0kV$	5	8
$1kV < V \leq 69kV$	3	5
$69kV < V \leq 161kV$	1,5	2,5
$161kV < V$	1	1,5

## 2.8 Sistema de aquecimento de água por efeito Joule

O chuveiro elétrico oferece tecnologia eficaz com baixo custo de aquisição, está presente em 85% das residências, funciona como aquecedor da água para temperatura entre  $30^{\circ}C$  e  $40^{\circ}C$ , possui potência elétrica  $\geq 4,4kW$ . A aplicação de tensão elétrica provoca a corrente elétrica que transita sobre a resistência, que transforma energia elétrica em energia térmica. Desta forma, a água na temperatura ambiente em contato com a resistência é imediatamente aquecida, aumentando em aproximadamente  $17^{\circ}C$ , considerando o fluxo aproximado de  $3L/minuto$  e potência fixa de  $4,4kW$  (PINHEIRO, 2006). A Figura 2.15, ilustra: (a) circuito elétrico equivalente do chuveiro elétrico e (b) circuito elétrico do modelo com resistências elétricas acionadas pelo dispositivo mecânico seletor de contatos elétricos com a finalidade de ajustar o valor da resistência e conseqüentemente o ajuste da temperatura da água, proporcionando duas possibilidades no valor da resistência e três possibilidades de temperatura da água.

As vantagens de utilizar o chuveiro elétrico são: i) o baixo custo de aquisição, ii) alto rendimento térmico de aproximadamente 98% e iii) instalação e manutenção simplificadas. As desvantagens são, principalmente: i) o alto consumo de energia elétrica e ii) a relação inversamente proporcional existente entre a vazão e a temperatura de água.

As normas técnicas brasileiras dos chuveiros elétricos são estabelecidas na: i) NBR 12086 - Verificação da resistência ao desgaste ou remoção da marcação (ABNT,

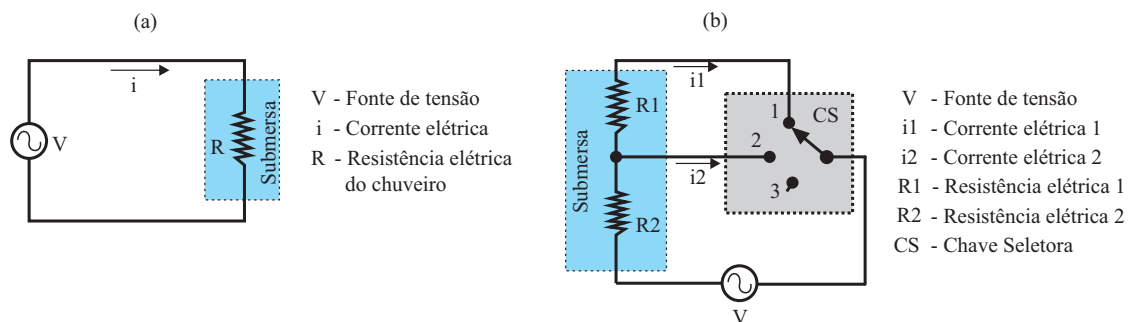


Figura 2.15 - Circuito elétrico equivalente: (a) chuveiro elétrico e (b) modelo com resistências elétricas acionadas por dispositivo mecânico.

1991a), ii) NBR 12087 - Determinação da potência elétrica (ABNT, 1991b), iii) NBR 12088 - Determinação da pressão mínima de funcionamento (ABNT, 1991c), iv) NBR 12089 - Determinação do consumo de energia elétrica (ABNT, 1991d), v) NBR 12090 - Determinação da corrente de fuga (ABNT, 1991e), vi) Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) Aparelhos elétricos fixos de aquecimento instantâneo de água - chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos (INMETRO, 2005a).

## 2.9 Consumo de energia elétrica e água em habitações de interesse social

No Brasil, o consumo residencial de energia elétrica é impulsionado pelo aumento da renda, universalização ao acesso à energia elétrica apresenta o crescente número de novas conexões e aumento da aquisição de equipamentos como eletrônicos e eletrodomésticos.

Visando o desenvolvimento socioeconômico, a redução da pobreza e aumento da renda das famílias excluídas pela ausência do serviço de energia, é instituída a Lei nº 10.438/2002 (BRASIL, 2002), com obrigatoriedade da universalização ao acesso à energia elétrica que impulsionou o crescente número de novas conexões. O Governo Federal em 2003 institui o Programa Luz Para Todos, antecipando as metas da universalização ao acesso, correspondendo ao acréscimo de 3,2 milhões de domicílios rurais eletrificados nos últimos 10 anos, segundo dados apresentados pelo MME (2016). A Tabela 2.4, adaptada de ANEEL (2008), dispõe a inserção de domicílios nas várias regiões do sistema elétrico brasileiro no período de 2003 a 2008, incentivado pelo programa Luz para Todos. A Tabela 2.5, adaptada de MME (2016), dispõe a projeção de 2013 a 2050 da taxa de crescimento da demanda de energia.

Na Figura 2.16, adaptada de Pereira et al. (2017), é ilustrado o aumento na projeção do consumo total de eletricidade, correspondendo ao crescente consumo de energia

elétrica referente ao período de 1970 a 2015, com perspectivas para os períodos de 2020 a 2050, baseado nos dados coletados do [MME \(2016\)](#).

Tabela 2.4 - Domicílios inseridos no sistema elétrico brasileiro.

Regiões	Pessoas beneficiadas 10 <sup>6</sup>	Número de ligações realizadas	
		10 <sup>3</sup>	%
Norte	1,20	244,3	15,5
Nordeste	3,80	772,8	49
Sudeste	1,60	322,2	20,4
Sul	0,65	129,5	8,2
Centro-Oeste	0,55	108,9	6,9
<b>Total</b>	<b>7,80</b>	<b>1.577,70</b>	<b>100</b>

Tabela 2.5 - Domicílios consumidores por faixa de consumo.

Faixa de consumo [kWh]	2013	2050
0-30	6.889	985
30-100	18.044	19.693
100-200	18.581	31.509
200-300	13.574	21.170
300-400	2.783	12.308
400-500	1.265	6.154
500-1.000	1.474	4.923
>1.000	336	1.723
<b>Total</b>	<b>62.947</b>	<b>98.466</b>

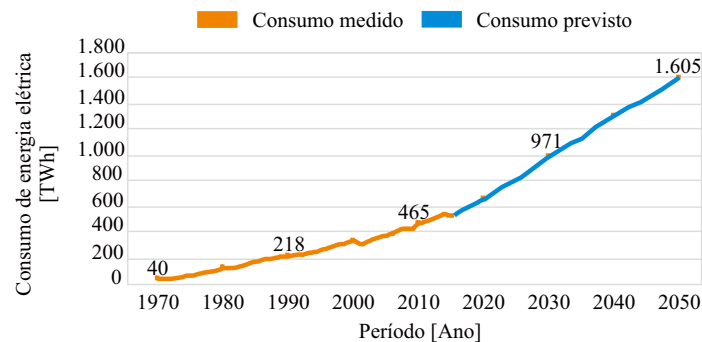


Figura 2.16 - Consumo total de energia elétrica no Brasil, 1970 a 2015 medidos e 2016 a 2050 previsão.

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, em 2008, 95% da população possui acesso à rede elétrica e o país conta com mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios brasileiros. Destas, cerca de 85% são residenciais ([ANEEL, 2008](#)). As famílias de classe de renda mais altas demanda de maior consumo de energia, tendo em vista a maior difusão da diversidade de aparelhos eletroeletrô-

nicos. A televisão está presente em 97,4% dos domicílios e a geladeira, em 98,1% (PNAD, 2016). O chuveiro elétrico, é utilizado em 97% das habitações brasileiras (PNAD, 2004). Conforme a ELETROBRAS (2007), os equipamentos com maior parcela de consumo de energia elétrica em residências brasileiras são o chuveiro elétrico e a geladeira, correspondendo respectivamente a 6,2% e 5,6% do consumo nacional de energia elétrica (LAMBERTS et al., 2014).

Dentre as novas fontes de geração, a energia solar fotovoltaica é a que apresenta constante crescimento (EPIA, 2013). Tem como principal característica a geração próxima da carga de consumo (ACKERMANN et al., 2001) e minimiza as perdas de transmissão durante o transporte da carga. Evita a necessidade de novos investimento em extensas linhas de transmissão e não demanda área específica para implantar a estrutura de geração. A Figura 2.17, adaptada de ANEEL (2017a), ilustra a ocorrência da classe residencial que corresponde a 77,5% das unidades habitacionais beneficiadas por sistema de energia solar fotovoltaica em março de 2017.



Figura 2.17 - Unidades consumidoras com sistema fotovoltaico por classe.

## 2.10 Considerações

Este capítulo descreve informações sobre o histórico das fontes de geração de energia solar elétrica e a matriz energética brasileira, as formas de incentivos e fomentos para diversificação da matriz energética e as características para implantação de sistemas solares fotovoltaico e aquecimento de água. O próximo capítulo descreve as características dos sistemas tarifários aplicados ao consumo de energia elétrica e água no estado de Goiás.

## CAPÍTULO 3

### SISTEMAS TARIFÁRIOS

Neste capítulo são apresentados conceitos referentes aos sistemas tarifários de energia elétrica e a forma como as concessionárias realizam as leituras do consumo de energia elétrica nos consumidores. Ainda é descrito o sistema tarifário de água do estado de Goiás e os protocolos para medição do consumo de água realizado pela companhia de distribuição de água tratada.

#### 3.1 Tarifa de energia elétrica

O sistema elétrico brasileiro, através do Sistema Interligado Nacional (SIN), possui rede de transmissão com mais de cem mil quilômetros, permitindo o intercâmbio da energia produzida em todas as regiões, exceto nos sistemas isolados, localizados principalmente na região Norte. As localidades dos sistemas isolados vêm sendo gradativamente interligados ao longo dos anos, cerca de 2% do mercado nacional permanece no sistema isolado (ANEEL, 2016).

A fatura da energia elétrica representa a quantia total que deve ser paga pela prestação do serviço de energia elétrica, referente ao período especificado. A tarifa apresenta o preço da unidade de mega watts hora de energia elétrica [ $R\$/MWh$ ] e/ou da demanda de potência ativa [ $R\$/kW$ ] (ELETROBRAS, 2011).

A tarifa de energia é diferenciada em todo o território nacional, asseguradas através da Lei nº 8.631/1993 que elimina o regime de equalização das tarifas de energia elétrica nos estados brasileiros (BRASIL, 1993). A Lei nº 8.987/95 estabelece a fixação da tarifa por concessionária (BRASIL, 1995). Desta forma, as revisões tarifárias e reajustes consideram as características de cada área de concessão, tais como o número de consumidores, densidade do mercado, quilômetros da rede de distribuição de cada empresa e o custo da energia que a distribuidora paga ao produtor (ANEEL, 2016).

Conforme descrito em ANEEL (2016), o reajuste tarifário anual é um dos mecanismos de atualização do valor da energia paga pelo consumidor, aplicado anualmente, de acordo com expressão prevista no contrato de concessão. São repassadas as variações dos custos de **Parcela A**, que são aquelas em que a distribuidora tem pouca ou nenhuma gestão, dizem respeito aos custos relacionados à compra de energia elétrica para atendimento de seu mercado, ao valor da transmissão da energia até a área da distribuidora e aos encargos setoriais. Os custos com a atividade de distribuição

sob completa gestão da distribuidora e definidos como **Parcela B**, são basicamente os custos operacionais das distribuidoras e os custos relacionados aos investimentos por ela realizados, além da quota de depreciação de seus ativos e a remuneração regulatória, valores corrigidos pelo Índice Geral de Preços ao Mercado (**IGP-M**), deduzido o **Fator X**, como dado por:

$$\text{Reajuste} = \text{Parcela A} + \text{Parcela B} \cdot (\text{IGP-M} - \text{Fator X}) \quad (3.1)$$

O **Fator X** visa garantir que o equilíbrio estabelecido na revisão tarifária entre receitas e despesas eficientes sejam mantidos nos reajustes tarifários posteriores, transferindo os ganhos potenciais de produtividade do segmento de distribuição de energia elétrica aos consumidores, além disto, busca incentivar a melhoria da qualidade técnica e comercial dos serviços prestados ao consumidor (ANEEL, 2016). Funciona, na maioria das vezes, como redutor dos índices de reajuste das tarifas cobradas aos consumidores e é composto por 3 componentes: i) **Componente Pd** que mensura os ganhos de produtividade das distribuidoras de energia elétrica, ii) **Componente Q** que avalia a qualidade dos serviços técnicos e comerciais prestados por cada distribuidora aos seus consumidores e iii) **Componente T** que ajusta, ao longo do período definido, os custos operacionais observados de cada concessionária ao custo operacional eficiente.

Visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, a ANEEL exige que as concessionárias mantenham o padrão de continuidade e para tal, edita limites para os indicadores coletivos de continuidade, Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), conforme definido no Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2017b). Assim, se o serviço piorar de um ano para outro, o **Componente Q** do **Fator X** aumenta e o reajuste anual poderá ficar menor. Por outro lado, se a qualidade melhorar, o indicador diminui e o desconto incidente sobre o índice de reajuste da tarifa é menor.

Nas tarifas estão incluídos tributos cobrados pela União, voltado para o Programa Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (CONFINS), onde as alíquotas são de 1,65% e 7,6% respectivamente, apurados de forma não-cumulativa. Assim, a alíquota média destes tributos varia com o volume de créditos apurados mensalmente pelas concessionárias (ANEEL, 2016).

O Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) é



tributo estadual previsto no Artigo 155 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988b). Incide sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e serviços, sendo competência de cada estado e do Distrito Federal fixar sua alíquota, sendo obrigação da distribuidora a realização da cobrança e repasse do valor ao Governo Estadual (ANEEL, 2016).

A Contribuição de Iluminação Pública (CIP) está prevista no Artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, que estabelece, entre as competências dos municípios, dispor sobre a forma de cobrança e base de cálculo, mediante lei específica aprovada pela Câmara Municipal (BRASIL, 1988a). A concessionária arrecada a contribuição de iluminação pública para o município e o repasse é realizado mesmo se o consumidor deixar de pagar a conta de energia elétrica (ANEEL, 2016). Para cumprir o compromisso de fornecer energia elétrica, a distribuidora considera custos distintos, como dado por:

$$C_t = E_g + T\&D + E_{set} + E_{fed} \quad (3.2)$$

onde  $E_g$  é o valor pago pela energia gerada,  $T\&D$  é o valor pago pela transmissão e distribuição da energia,  $E_{set}$  são os encargos a serem repassados setorialmente,  $E_{fed}$  são os tributos pagos para União e  $C_t$  é o custo da energia elétrica para a distribuidora (ANEEL, 2016).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) dispõe de modalidades tarifárias escolhidas segundo o perfil do consumo, definida principalmente em função do nível de tensão e da demanda [ $kW$ ]. As unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: i) grupo **A** com tarifa binômia e ii) grupo **B** com tarifa monômia. As Tabela 3.1 e Tabela 3.2, adaptadas de ENEL (2018), dispõe sobre as modalidades tarifárias do grupo **A** do estado de Goiás, que são classificadas em: i) convencional binômia, ii) horária azul e iii) horária verde.

As tarifas de aplicações estão divididas em duas categorias: i) Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que é o valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em  $R\$/MWh$  ou em  $R\$/kW$ , utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição de energia pelo uso do sistema e ii) Tarifa de Energia (TE), que é o valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em  $R\$/MWh$ , utilizado pela distribuidora para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia (ELETROBRAS, 2011).

Tabela 3.1 - Modalidade tarifária do grupo **A**, subgrupos tarifários **A1** e **A2**, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás.

Subgrupo	Modalidade	Posto	Tarifas de aplicação		
			TUSD		TE
			R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
<b>A1</b> (230kV ou mais)	Azul	Pt	4,4	15,22	404,15
		Fpt	4,34	15,22	258,65
	Azul APE	Pt	4,4	2,21	0,00
		Fpt	4,34	2,21	0,00
<b>A2</b> (88 a 138kV)	Azul	Pt	10,42	20,21	404,15
		Fpt	7,2	20,21	258,65
	Azul APE	Pt	10,42	7,19	0,00
		Fpt	7,2	7,19	0,00
	PCH São Domingos II	-	1,21	0,00	0,00
	UTE Quirinópolis - CELG	-	4,57	0,00	0,00
	UTE Boa Vista - CELG	-	4,49	0,00	0,00
	UTE Cachoeira Dourada	-	4,02	0,00	0,00
	UTE Itumbiara (CIBA)	-	4,16	0,00	0,00
	UHE Cachoeira Dourada	-	4,16	0,00	0,00
	UHE Espora	-	4,95	0,00	0,00
	UHE Serra do Facão	-	3,47	0,00	0,00
	PCH Mosquitão	-	1,77	0,00	0,00
	UTE DAIA (Anápolis)	-	1,43	0,00	0,00
	UTE Xavantes (Aruanã)	-	1,23	0,00	0,00
	PCH S. Antônio do Caiapó	-	1,77	0,00	0,00
	PCH Tamboril	-	1,87	0,00	0,00
	PCH Renic	-	1,87	0,00	0,00
	PCH Queixada	-	4,95	0,00	0,00
	PCH Galheiros I	-	1,21	0,00	0,00
Novo Gerador	-	4,04	0,00	0,00	

Os postos tarifários segregam o dia em períodos que resultará em tarifas diferenciadas entre os períodos: i) ponta Pt, ii) intermediário I e iii) fora de ponta Fpt. O posto tarifário Pt é o período composto por três horas diárias consecutivas, definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Deve ser aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, exceto para fins de semana e feriados, definidos na Resolução Normativa nº 414/2010, Artigo 2º, inciso LVIII (ANEEL, 2010). O posto I é o período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao posto ponta. O posto tarifário Fpt é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos Pt e I (ELETROBRAS, 2011).

As modalidades de geração estão classificadas: i) usina hidrelétrica de energia (UHE), ii) pequena central hidrelétrica (PCH), iii) central geradora hidrelétrica (CGH), iv) usina termelétrica de energia (UTE), v) usina termonuclear (UTN), vi) central geradora eolielétrica (EOL) e vii) central geradora solar fotovoltaica (UFV) (ELETROBRAS, 2011).

A Tabela 3.3, adaptada de BRASIL (2010), dispõe sobre a Lei nº 12.212/2010 que estabelece as condições para a aplicação da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSSE)

Tabela 3.2 - Modalidade tarifária do grupo **A**, subgrupos tarifários **A3** e **A4**, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás.

Subgrupo	Modalidade	Posto	Tarifas de aplicação		
			TUSD		TE
			R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
<b>A3</b> (69kV)	Azul	Pt	17,31	26,97	404,15
		Fpt	8,50	26,97	258,65
	Azul APE - autoprodução	Pt	17,31	13,95	0,00
		Fpt	8,50	13,95	0,00
	Distribuição Chesp - Companhia Hidrelétrica São Patrício	Pt	9,20	9,98	0,00
		Fpt	9,21	9,98	0,00
Geração	-	0,00	0,00	241,41	
<b>A3a</b> (30kV a 44kV)	Azul	Pt	34,64	36,48	404,15
		Fpt	13,57	36,48	258,65
	Azul APE - autoprodução	Pt	34,64	23,15	0,00
		Fpt	13,57	23,15	0,00
	Verde	-	13,57	0,00	0,00
		Pt	0,00	876,78	404,15
	Fpt	0,00	36,48	258,65	
	Verde APE - autoprodução	-	13,57	0,00	0,00
		Pt	0,00	863,45	0,00
	Fpt	0,00	23,15	0,00	
	Distribuição EMT - Energisa	Pt	21,82	15,98	0,00
		Fpt	9,26	15,98	0,00
Mato Grosso	-	0,00	0,00	0,00	
	Convencional	-	38,51	36,48	270,78
Geração	-	3,07	0,00	0,00	
<b>A4</b> (2,3 a 25kV)	Azul	Pt	36,65	36,48	404,15
		Fpt	13,57	36,48	258,65
	Azul APE - autoprodução	Pt	34,64	23,15	0,00
		Fpt	13,57	23,15	0,00
	Verde	-	13,547	0,00	0,00
		Pt	0,00	876,78	404,15
	Fpt	0,00	36,48	258,65	
	Verde APE - autoprodução	-	13,57	0,00	0,00
		Pt	0,00	863,45	0,00
	Fpt	0,00	23,15	0,00	
	Convencional	-	38,51	36,48	270,78
		Geração	-	3,07	0,00

para as unidades consumidoras nas subclasses residenciais de baixa renda que são: i) subclasse residencial de baixa renda, ii) subclasse residencial de baixa renda indígena e iii) subclasse residencial de baixa renda quilombola.

Tabela 3.3 - Planilha de desconto para a aplicação da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSSE) no Brasil.

Item	Consumo mensal de energia	Desconto
1	consumo $\leq 30kWh$	65%
2	$30kWh < \text{consumo} \leq 100kWh$	40%
3	$100kWh < \text{consumo} \leq 220kWh$	10%
4	$220kWh < \text{consumo}$	0

As Tabela 3.4 e Tabela 3.5, adaptadas de ENEL (2018), dispõe sobre as modalidades

tarifárias do grupo **B** vigentes em abril de 2018 no estado de Goiás, classificadas como: i) convencional monômnia e ii) horária branca.

Tabela 3.4 - Modalidade tarifária do grupo **B** convencional monômnia, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás.

<b>Residencial baixa renda - B1</b>	<i>R\$/kWh</i>
0 a 30kWh	0,23614
31 a 100kWh	0,40482
101 a 220kWh	0,60723
Acima 220kWh	0,67470
<b>B1 - Residencial Normal</b>	0,69081
<b>B2 - Rural</b>	0,34695
<b>B2 - Rural irrigante 8,5 horas</b>	0,09368
<b>B2 - Serv. Públicos irrigação</b>	0,29739
<b>B3 - Água, esg. e saneamento</b>	0,58719
<b>B3 - Demais classes (Com, Ind e Poder Público)</b>	0,69081
<b>B4a - Iluminação pública</b>	0,37995
<b>B4b - Iluminação pública</b>	0,41450

Tabela 3.5 - Modalidade tarifária do grupo **B** horária branca, vigente em abril de 2018 no estado de Goiás.

<b>Sub-Grupo/Nível de tensão</b>	<i>R\$/kWh</i>			
	<b>Pt</b>	<b>Fpt</b>	<b>Hint</b>	<b>Hr</b>
<b>B1 - Residencial normal</b>	1,35995	0,53235	0,84810	-
<b>B2 - Rural</b>	0,66981	0,26472	0,41801	-
<b>B2 - Rural irrigante 8,5 horas</b>	-	-	-	0,07147
<b>B2 - Serv publicos irrigacao</b>	0,57412	0,22690	0,35829	-
<b>B3 - Agua, esg. e saneamento</b>	1,20070	0,46144	0,74772	-
<b>B3 - Demais classes (Com, Ind e Públ)</b>	1,41259	0,54288	0,87967	-

Os elementos apresentados na Tabela 3.5 correspondem a: i) Pt é o horário de ponta que acontece das 18:00 as 21:00 horas, ii) Fpt é o horário fora de ponta que ocorre das 06:00 as 18:00 horas e das 21:00 as 21:30 horas, iii) Hr é o horário reservado das 21:30 as 06:00 horas e iv) Hint é o horário formado pela hora imediatamente anterior e posterior ao horário de ponta, correspondendo das 17:00 as 18:00 horas e das 21:00 as 22:00 horas. Estes são valores tarifários vigentes em abril de 2018 no estado de Goiás (ENEL, 2018).

Em 2015, através do Decreto n° 8.401/2015 é criada a conta centralizadora dos recursos de bandeiras tarifárias, com o objetivo de variar os custos da energia do mercado regulado, passando a ser ajustados pelas taxas adicionais das bandeiras, tendo como função sinalizar os consumidores dos custos reais das condições de geração de eletricidade no SIN (BRASIL, 2015). O recolhimento dos recursos provenientes da aplicação das bandeiras tarifárias são destinados aos custos das variações de geração

por fonte termelétrica (ANEEL, 2016). A Tabela 3.6, adaptada de ANEEL (2018), dispõe sobre os adicionais das bandeiras tarifárias que trata o submódulo 6.8 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), com vigência a partir de maio de 2018 no Brasil.

Tabela 3.6 - Adicionais das bandeiras tarifárias, vigentes em maio de 2018 no Brasil.

Bandeira tarifária	R\$/kWh
Verde	0,00
Amarela	0,01
Vermelha - Patamar 1	0,03
Vermelha - Patamar 2	0,05

### 3.1.1 Leitura do consumo de energia elétrica

A medição das grandezas elétricas consumidas ocorre por meio de leitura local ou remota dos medidores instalados nas unidades consumidoras (UC). A distribuidora deve disponibilizar, no mínimo, as seguintes informações: i) demanda de potência ativa e reativa excedente, ii) consumos de energia elétrica ativa e reativa excedente, iii) fator de potência e iv) na falta destes dados, realizar estimativa, onde a concessionária deve informar o critério utilizado para estimar (ANEEL, 2017b). Os dados dos consumidores do Grupo B são diferentes, tendo maior descrição da qualidade e do consumo da energia elétrica.

Os medidores de energia elétrica utilizados pelas concessionárias devem estar nos padrões determinados pela ANEEL através da Resolução Normativa nº 759/2017. Esta resolução tem o objetivo de estabelecer os requisitos mínimos para medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição. Desta forma, garante que seja aplicado ao faturamento, à qualidade da energia elétrica, o planejamento da expansão e à operação do sistema de distribuição (ANEEL, 2017c).

A concessionária é a responsável pela implantação dos sistemas de medição, realizando os registros de cadastro de todos os equipamentos, certificando: i) natureza do equipamento, ii) nome ou marca do fabricante, iii) número de série, iv) ano de fabricação, v) modelo, vi) frequência, tensão e corrente nominais, relações de transformação disponíveis, vii) constante do medidor, viii) corrente máxima, fator térmico e corrente térmica, ix) classe de exatidão e x) portaria de aprovação do modelo pelo INMETRO. A Tabela 3.7, adaptada de ANEEL (2017b) dispõe sobre as características mínimas para os sistemas de medição.

Tabela 3.7 - Características mínimas para os sistemas de medição.

Classe de acessante	Tensão de distribuição	Classe do TP	Classe do TC	Tipo do medidor	Classe do medidor
Grupo <b>B</b>	<i>BT</i>	-	-	<i>MEM A, MEM RO</i>	A
Grupo <b>B</b> (com <i>TC</i> )	<i>BT</i>	-	0,6	<i>MEM A, MEM RO</i>	A
Grupo <b>B</b> (opcional)	<i>BT</i>	-	-	<i>ME</i>	A
Grupo <b>B</b> (com <i>TC</i> e opcional)	<i>BT</i>	-	0,6	<i>ME</i>	A
Subgrupo <b>B2</b> (irrigação)	<i>BT</i>	-	-	<i>ME 2Q</i>	A
Subgrupo <b>B2</b> (irrigação e com <i>TC</i> )	<i>BT</i>	-	0,6	<i>ME 2Q</i>	A
Subgrupos <b>A3a</b> e <b>A4</b>	<i>MT</i>	0,6	0,6	<i>ME 2Q</i>	B
Subgrupos <b>A1</b> , <b>A2</b> e <b>A3</b>	<i>AT</i>	0,6	0,6	<i>ME 2Q</i>	C
Medição de uso temporário	<i>BT, MT, AT</i>	0,3	0,3	<i>ME 2Q ou ME 4Q</i>	B
Levantamento de curva de carga	<i>BT, MT, AT</i>	0,3	0,3	<i>ME 2Q ou ME 4Q</i>	B
Medição da <i>QEE</i>	<i>BT, MT, AT</i>	0,3	0,3	<i>ME 2Q ou ME 4Q</i>	B

Os elementos apresentados na Tabela 3.7 são: i) *TP* transformador de potência, ii) *TC* transformador de corrente, iii) *BT* baixa tensão, iv) *MT* média tensão, v) *AT* alta tensão, vi) *MEMA* é o medidor eletromecânico de energia ativa, vii) *MEMRO* é o medidor eletromecânico de energia reativa opcional, viii) *ME* é o medidor eletrônico exclusivo para aplicação em *BT*, ix) *ME2Q* é o medidor eletrônico com medição em dois quadrantes, x) *ME4Q* é o medidor eletrônico com medição em quatro quadrantes e *QEE* é a qualidade da energia elétrica.

### 3.2 Tarifa de água

As tarifas de serviços públicos de abastecimento de água e esgoto estão estabelecidas na Lei Federal n° 11.445 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) e na Lei Estadual n° 14.939 de setembro de 2004 (GOIÁS, 2004). Considerando o disposto no Artigo 17, da Lei n° 14.939 de setembro de 2004 e no Artigo 16, do Decreto n° 6.276 de outubro de 2005 (GOIÁS, 2005), que respectivamente, instituem o marco regulatório da prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

A empresa de Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO), através da resolução normativa n° 90/2017 do conselho regulador da Agência Goiana de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos (AGR) (AGR, 2017), estabelece as categorias tarifárias básicas: i) residencial social, ii) residencial normal, iii) comercial I, iv) categoria II, v) industrial e vi) pública. As Tabela 3.8 e Tabela 3.9, adaptadas de AGR (2017), dispõem sobre as tarifas e consumos de abastecimento de água e esgotamento sanitário para o estado de Goiás.

Para realizar a medida do quantitativo de água, as empresas utilizam o hidrômetro, que é dispositivo mecânico que tem por finalidade a medição constante para quantificar o volume da água que passa por determinada tubulação. A instalação dos

Tabela 3.8 - Tarifa de consumo do abastecimento de água e esgotamento sanitário, vigente em junho de 2017 no estado de Goiás.

Categorias	Faixa de consumo	Tarifas (R\$/m <sup>3</sup> )		
	(m <sup>3</sup> /mês)	Água	Esgoto	
			Coleta e afastamento	Tratamento
Resid. social	1 - 10	2,03	1,62	0,41
	11 - 15	2,3	1,84	0,46
	16 - 20	2,62	2,10	0,52
Resid. normal	1 - 10	4,06	3,25	0,81
	11 - 15	4,59	3,67	0,92
	16 - 20	5,25	4,2	1,05
	21 - 25	5,96	4,77	1,19
	26 - 30	6,74	5,39	1,35
	31 - 40	7,68	6,14	1,54
	41 - 50	8,68	6,94	1,74
	+50	9,90	7,92	1,98
Pública	1 - 10	7,68	6,15	1,54
	+10	8,68	6,95	1,74
Comercial I médio e grande porte	1 - 10	8,68	6,95	1,74
	+10	9,9	7,92	1,98
Comercial II pequeno porte	1 - 10	4,35	3,48	0,87
Industrial	1 - 10	8,68	6,95	1,74
	+10	9,9	7,92	1,98

Tabela 3.9 - Tarifas mínimas cobradas por economia de água faturada, e na ausência desta, por economia de esgoto faturada, vigente em junho de 2017 no estado de Goiás.

Categorias	Abastecimento de água e esgotamento (R\$/mês)
Residencial social	6,15
Residencial normal	12,30
Pública	12,30
Comercial I (médio e grande porte)	6,15
Comercial II (pequeno porte)	12,30
Industrial	12,30

hidrômetros individuais com a finalidade de medição são indispensáveis à operação de sistemas públicos de abastecimento de água, pois além de possibilitar cobrança justa pelo serviço prestado, fornece informações operacionais que possibilita a previsão para expansão, reestruturação da rede, aumento de demanda e manutenção preventiva (FONTES et al., 2004). Os micromedidores mais utilizados pelas empresas de abastecimento e distribuição de água são os de turbina, do tipo monojato e multijato (ABNT, 1992b; COELHO, 1996). O funcionamento destes medidores é através da movimentação do rotor que gira proporcionalmente à vazão que o atravessa (FONTES et al., 2004).

### 3.2.1 Leitura do consumo de água

A medição do consumo de água é realizada por meio de leitura local dos hidrômetros instalados nas unidades consumidoras. Quando não é possível medir o volume consumido em determinado período, por avaria do hidrômetro ou por outro motivo que impossibilite a sua leitura, a cobrança é realizada pelo consumo médio e na falta deste, pelo estimado, sempre observando o parágrafo 2º do art. 57 da Lei 14.939/04, conforme legislação vigente (GOIÁS, 2004). As características técnicas dos hidrômetros são estabelecidas pela concessionária, conforme o manual de especificação de hidrômetros, aprovadas pelo controle de qualidade da concessionária.

Os ensaios para aferição dos hidrômetros são efetuados em instalações apropriadas, com água de características semelhantes àquela fornecida ao abastecimento público. Durante cada ensaio a temperatura da água deve estar entre  $+1^{\circ}C$  e  $+40^{\circ}C$ , e a variação de sua temperatura não deve exceder a  $5^{\circ}C$ , medida com incerteza de  $\pm 1^{\circ}C$ . O volume de água escoado através do hidrômetro deve ser determinado por medidas de capacidade aferidas ou por qualquer outro método de aferição aceito pelo INMETRO, com erro inferior a  $\pm 0,2\%$  do volume escoado. Os erros máximos admissíveis na indicação do volume escoado dos hidrômetros são: i)  $\pm 5\%$  entre a vazão mínima  $Q_{min}$ , inclusive e vazão de transição  $Q_t$ , exclusive; e ii)  $\pm 2\%$  entre  $Q_t$ , inclusive e vazão máxima  $Q_{max}$ , exclusive (INMETRO, 2000). O erro relativo  $E$  apresentado pelo hidrômetro ensaiado é dado por:

$$E = \frac{(L_f - L_i) - V_e}{V_e} \cdot 100 \quad (3.3)$$

onde  $L_i$  é a leitura inicial do hidrômetro,  $L_f$  é a leitura final do hidrômetro,  $V_e$  é o volume escoado, recolhido na medida de capacidade aferida.

Na determinação da curva de erros são utilizadas, no mínimo as seguintes vazões de ensaio: i) entre  $Q_{min}$  e  $1,1 \cdot Q_{min}$ ; ii) entre  $Q_t$  e  $1,1 \cdot Q_t$ ; iii) entre  $0,225 \cdot Q_{max}$  e  $0,25 \cdot Q_{max}$ ; iv) entre  $0,45 \cdot Q_{max}$  e  $0,50 \cdot Q_{max}$  e v) entre  $0,90 \cdot Q_{max}$  e  $Q_{max}$ .  $Q_{min}$  e  $Q_t$  correspondem aos valores estabelecidos na Tabela 3.10, adaptada de INMETRO (2000).

### 3.3 Considerações

Este capítulo apresentou informações sobre os cálculos da tarifa de consumo de energia elétrica e de água. Estes conhecimentos são fundamentais para compreensão



Tabela 3.10 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores de  $Q_{min}$  e  $Q_t$ .

Classes metrológicas		Vazão nominal [ $m^3/h$ ]									
		0,6	0,75	1	1,5	2,5	3,5	5	6	10	15
A	Qmin [ $m^3/h$ ]	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,60
	Qt [ $m^3/h$ ]	0,06	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Qmin [ $m^3/h$ ]	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Qt [ $m^3/h$ ]	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Qmin [ $m^3/h$ ]	0,006	0,0075	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Qt [ $m^3/h$ ]	0,009	0,011	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

da metodologia adotada. O próximo capítulo descreve a metodologia estabelecendo critérios de escolha das unidades habitacionais, características técnicas dos sistemas instalados, dispositivos de medição do consumo de água e energia elétrica, a análise das lâmpadas instaladas e os parâmetros para a realização da coleta e análise dos dados.



## CAPÍTULO 4

### METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para análise comparativa do consumo de energia elétrica e água, utilizando tecnologias sustentáveis instaladas em habitação popular. São descritos: i) instalação dos sistemas, ii) dispositivos de medição, iii) análise elétrica das lâmpadas e iv) procedimentos de coleta e análise dos dados, estabelecendo parâmetros de avaliação comparativa entre os sistemas e os harmônicos inseridos na rede de energia elétrica.

#### 4.1 Metodologia para escolha do local da pesquisa

O local a ser escolhido deve ser residencial com casas populares unifamiliares, equipados com sistema de aquecimento solar para água e sistema fotovoltaico conectado a rede de energia da concessionária local. Para definir a quantidade de residências analisadas, utiliza-se o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* (PIMVP), que define o número de amostra necessária para realizar a medição e verificação (M&V) no espaço amostral (EVO, 2012). As amostras são homogêneas separadas por grupos com base em critérios como o número de moradores e renda familiar. O intuito da homogenização é reduzir a variabilidade das medições e as incertezas.

Como a metodologia parte de experimentos realizados em residências, necessita-se escolher as casas antes do início da coleta de dados. Desta forma, são realizadas entrevistas com os moradores nas próprias unidades habitacionais com o objetivo de esclarecer a proposta e processos da pesquisa. As famílias são informadas que a participação é de forma voluntária e a pesquisa não trará nenhum tipo de ônus ou privilégio aos participantes. Todos os participantes assinam o termo de autorização do uso de imagens, confirmação de participação voluntária e o questionário de costumes e hábitos, em duas vias, sendo todas informações de carácter sigiloso.

Algumas famílias voluntárias são convocadas para preencher o questionário de perguntas para escolha das mais aptas. Os estabelecidos para homogenização das amostras são: i) as moradias devem ser de programas habitacionais com rendimento familiar mensal de até três salários mínimos, ii) as famílias devem ser compostas com até quatro moradores de ambos os gêneros, iii) as habitações devem estar ocupadas e utilizadas, iv) as famílias selecionadas devem estar comprometidas com o desenvolvimento da pesquisa e serem contempladas com lâmpadas LED de alta eficiência,

sistema de aquecimento solar para água e sistema fotovoltaico conectado à rede da concessionária, v) as famílias preferencialmente devem possuir acesso a internet e vi) os hábitos e costumes de todos os moradores devem ser mantidos durante a pesquisa.

Após análise dos questionários, famílias são selecionadas para realização das análises. Ao iniciar a etapa de instalação dos equipamentos medidores, é reforçado o compromisso de respeitar todas as condições apresentadas de utilização dos sistemas instalados.

## **4.2 Instalação dos sistemas nas unidades habitacionais**

Todas as unidades habitacionais possuem os mesmos equipamentos e parâmetros de utilização. As soluções utilizadas são: i) chuveiro elétrico, ii) aquecedor solar para água, iii) sistema fotovoltaico associado ao chuveiro elétrico e iv) aquecedor solar para água associado ao sistema fotovoltaico.

### **4.2.1 Chuveiro elétrico e aquecedor solar para água**

O chuveiro elétrico é utilizado para as avaliações de consumo como parte integrante da análise de todos os sistemas propostos e deve atender as normas técnicas brasileiras estabelecidas para o equipamento.

O sistema de aquecimento solar utilizado nas unidades habitacionais deve ser do modelo com coletores solares planos, constituído de caixa externa isolada termicamente, tubos internos para escoamento do fluido e placa absorvedora da energia solar irradiada.

### **4.2.2 Sistema fotovoltaico**

O sistema fotovoltaico utilizado é conectado à rede de energia da concessionária local. Todo dimensionamento de circuitos e proteção dos projetos implantados no estado de Goiás, atendem aos critérios de análise e aprovação da Instrução Técnica de Distribuição 14 da CELG/ENEL (CELG, 2007), também obedecem às normas específicas da ABNT: i) NBR 16149 - Sistemas fotovoltaicos (ABNT, 2013a), ii) NBR 16150 - Sistemas fotovoltaicos - Procedimento de ensaio de conformidade (ABNT, 2013b), iii) NBR IEC 62116 - Procedimento de ensaio anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (ABNT, 2012), iv) NBR 16274 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho (ABNT, 2014). O projeto do sistema fotovoltaico é desenvolvido considerando a Norma Técnica 71 da

CELG/ENEL (CELG, 2016).

O sistema fotovoltaico é composto basicamente por: i) módulos fotovoltaicos, ii) microinversor, iii) quadro de distribuição, iv) medidor bidirecional que registra a energia consumida e o excedente de energia gerada entregue à rede de distribuição de energia e v) padrão de entrada que é o ponto de conexão da unidade consumidora com a concessionária de energia. A Figura 4.1 ilustra os componentes do sistema fotovoltaico conectado à rede de energia da concessionária local e os fluxos de energia.

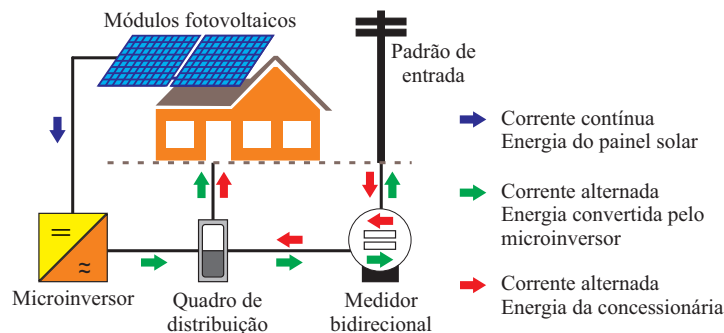


Figura 4.1 - Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica da concessionária e os fluxos de energia.

### 4.3 Dispositivos medidores do consumo de energia elétrica e água

Para análise comparativa do consumo de energia elétrica e água é necessário instalar dispositivos de medição para a coleta de dados e estabelecer parâmetros de avaliação. Os medidores de consumo de energia elétrica adquiridos no mercado fornecem os dados necessários para a pesquisa. No entanto, o medidor do consumo de água necessita ser construído especialmente para a finalidade desta pesquisa, devido a especificidade dos parâmetros a serem coletados, como: i) volume de água consumido por banho, ii) volume total de água consumido, iii) hora de início e fim do banho, iv) quantidade de banhos.

#### 4.3.1 Medidor do consumo de energia elétrica

O *data logger* do analisador de energia é instalado no quadro de distribuição de energia elétrica e registra os eventos elétricos dos circuitos, como: i) alimentação geral, ii) chuveiro elétrico e iii) sistema fotovoltaico. Desta forma, é possível analisar o comportamento do consumo da energia elétrica e as influências do sistema fotovoltaico, utilização do chuveiro elétrico e do *retrofit*. Inclusive avaliar o comportamento

dos harmônicos gerados pelos sistemas instalados com base no fator de potência e a potência reativa (ADEMARO, 2009). O modelo do *data logger* registra ainda a temperatura ambiente através de sensor específico e possui sistema de coleta de dados remoto via internet, possibilitando a identificação de possíveis erros dos sistemas instalados, verificando se os participantes da pesquisa estão seguindo as orientações fornecidas. A Figura 4.2 ilustra o esquema de ligação do analisador de energia no quadro de distribuição e a Figura 4.3 ilustra o diagrama de blocos do *data logger* e analisador de energia para monitoramento remoto via internet do consumo e análise da energia elétrica.

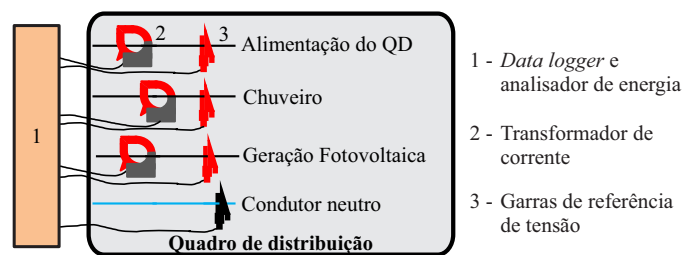


Figura 4.2 - Instalação do analisador de energia no quadro de distribuição da residência.

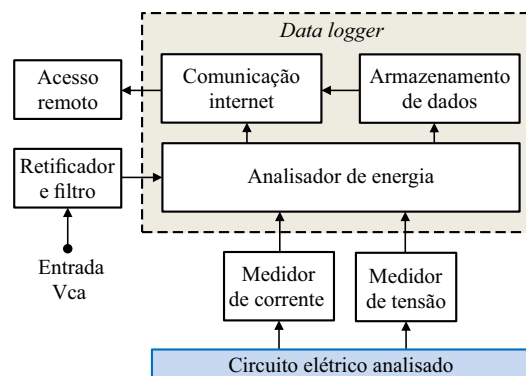


Figura 4.3 - Diagrama de blocos do *data logger* e analisador de energia.

Outro *data logger* é colocado para registrar o consumo de energia elétrica do chuveiro e é instalado diretamente no circuito de alimentação do dispositivo. Ele armazena os dados de consumo total mesmo em casos de interrupções do fornecimento elétrico, cumprindo a função de *backup* do *data logger* do analisador de energia.

### 4.3.2 Medidor do consumo de água

O *data logger* para medir o consumo de água é construído com as funções: i) medidor de fluxo de água, ii) cronômetro em tempo real com calendário, iii) módulo carregador de bateria de lítio, iv) microcontrolador, v) dispositivo de armazenamento de dados e vi) gabinete hermeticamente fechado para conter a umidade. A Figura 4.4, ilustra o diagrama de blocos do modelo proposto de *data logger* para mensurar o consumo de água do chuveiro.

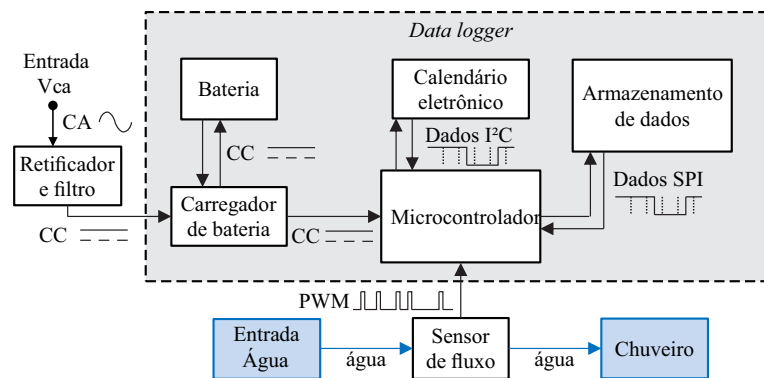


Figura 4.4 - Diagrama de blocos do dispositivo de medição do consumo de água.

O microcontrolador processa os pulsos gerados pelo sensor de fluxo de água, converter em volume de água consumido e registra as informações no cartão de memória juntamente com os dados do calendário eletrônico. O dispositivo sensor de fluxo de água é instalado diretamente na tubulação do chuveiro, possibilitando medir a vazão de água como hidrômetro e com eficiência na faixa de  $1L/minuto$  a  $30L/minuto$ . Segundo o Centro Internacional de Referência em Reuso de Água as vazões de água por sistema de aquecimento para banho variam de  $4L/minuto$  (chuveiro elétrico) até  $9,1L/minuto$  (aquecedor solar para água) (CIRRA, 2009). O calendário eletrônico com relógio de tempo real é associado ao circuito que detecte e acione automaticamente a bateria para evitar perda de dados, sendo capaz de transferir informações ao microcontrolador, como: i) segundo, ii) minuto, iii) dia, iv) mês e v) ano. O módulo carregador da bateria possibilita que a bateria de lítio com LED indicador de carga, seja recarregada sem a necessidade de removê-la do circuito, promovendo a alimentação ininterrupta.

O dispositivo medidor de água é submetido à calibração e verificação. Os componentes fixados próximo ao chuveiro são acondicionados e acoplados a gabinetes plásticos

devidamente vedados da umidade do ambiente externo. A Figura 4.5, ilustra esquematicamente o modelo de instalação dos equipamentos de medição do consumo de energia elétrica e consumo/vazão de água no chuveiro.

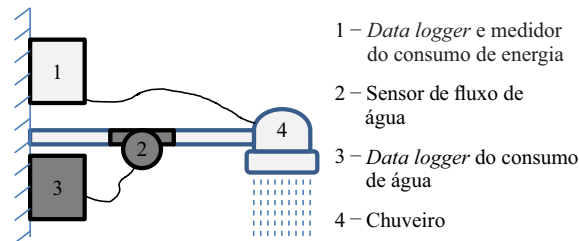


Figura 4.5 - Equipamentos de medição do consumo de energia elétrica e água do chuveiro.

#### 4.4 Análise elétrica das lâmpadas instaladas

O *retrofit* é realizado em todas as residências participantes para obter as condições da análise em triplicata do comportamento elétrico. As lâmpadas LED são submetidas a análise com a aplicação do procedimento *Electrical and Photometric Measurements of Solid State Lighting Products* (LM-79-08), que é o teste para determinar as características de desempenho (DOWLING et al., 2007). Devem atender as normas técnicas brasileiras estabelecidas. A Figura 4.6, ilustra o dispositivo para monitoramento dos distúrbios e análises da qualidade de energia elétrica das lâmpadas.

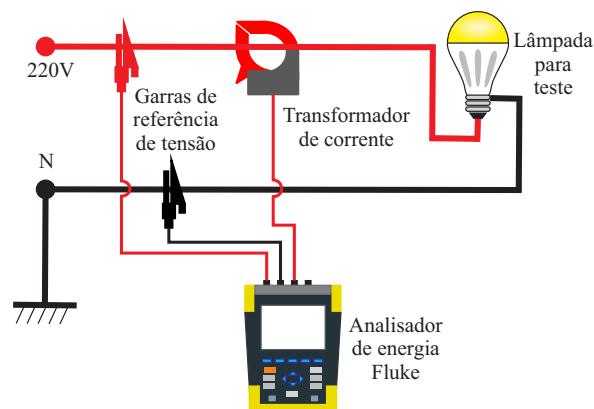


Figura 4.6 - Diagrama de ligação do analisador de energia nas lâmpadas LED.



## 4.5 Coleta e análise dos dados

A coleta de dados é realizada de forma que cada tecnologia seja mensurada isoladamente, uma a uma, em períodos equivalentes. Desta forma são adotados ciclos múltiplos semanais, para que a ocorrência de mudanças comportamentais observados aos finais de semana sejam equivalentes para todas as tecnologias avaliadas.

Após cada período de medição realizado pelos *data logger*, os dados de consumo de água são obtidos através da coleta dos dados registrados nos cartões de memória e os dados de consumo de energia elétrica são obtidos através do acesso remoto via internet. Realiza-se a análise do consumo dos insumos utilizados durante o banho e os impactos proporcionados pela instalação do sistema aquecedor solar para água, lâmpadas LED de alta eficiência e do sistema fotovoltaico em habitações de interesse social. Estes são analisados com o intuito de identificar a melhor tecnologia, a mais eficiente e sustentável.

O sistema fotovoltaico conectado à rede e as cargas elétricas não-lineares, como as lâmpadas LED, criam novos problemas relacionados com a segurança e proteção, especialmente, quanto à qualidade da energia elétrica. As correntes harmônicas geradas fluem através do sistema de distribuição, que sofrem variação de acordo com a frequência imposta, podendo provocar distorções na tensão da rede elétrica. É importante avaliar os efeitos ocasionados pelos sistemas instalados nas unidades habitacionais, particularmente o impacto das harmônicas injetadas à rede de distribuição de energia elétrica, baseados na coleta de informações através do analisador de energia.

As análises dos harmônicos considera a influência de todos os sistemas avaliados sobre o circuito geral de alimentação, apresentando o comportamento da energia de toda a carga instalada simultaneamente. Os resultados são baseados nas avaliações do fator de potência e da potência reativa em sistemas não-lineares, de acordo com [Ademaro \(2009\)](#). Nestes casos o fator de potência  $F_p$  é definido pelo tetraedro de potências ilustrado na Figura 4.7, dado por:

$$F_p = \cos\Phi \cdot \cos\lambda \quad (4.1)$$

onde  $S$  representa a potência aparente relativa à soma da corrente fundamental com as correntes em outras frequências harmônicas,  $S'$  é a potência aparente relativa à corrente fundamental,  $P$  é a potência ativa para carga linear,  $Q$  é a potência

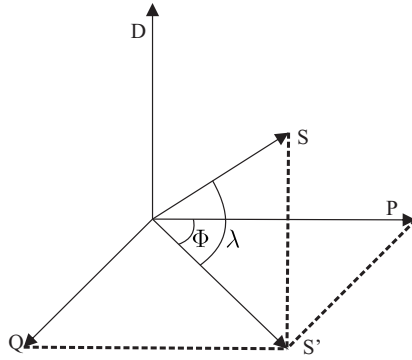


Figura 4.7 - Tetraedro das potências.

reativa para carga linear e  $D$  é a distorção em função das presenças das correntes harmônicas.

Para análise estatística e cálculo das correlações, utiliza-se o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* (PIMVP) em conjunto com a estatística descritiva (EVO, 2012). A definição do número de amostras consiste na estimativa calculada a partir de:

$$n_0 = \frac{st_{\infty}^2 \cdot cv^2}{e^2} \quad (4.2)$$

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \quad (4.3)$$

onde  $n_0$  é o número inicial de amostras,  $st_{\infty}^2$  é o valor padrão de distribuição normal definido na Tabela- $t$  disponível no PIMVP,  $cv$  é o coeficiente de variação,  $e$  é o nível de precisão,  $n$  é o número de amostras ajustado para pequenas populações e  $N$  é o tamanho da população.

A correlação é produzida com o intuito de associar as tecnologias utilizadas neste trabalho com base no comportamento simultâneo, obtidos a partir dos dados coletados. A análise de correlação busca identificar se valores elevados ou reduzidos de determinada variável implicam em valores elevados ou reduzidos das outras variáveis de interesse. O efeito causal não é o procurado, mas a associação correlacional do efeito linear ou não linear. Nas tecnologias analisadas os efeitos podem ser mensurados pelo coeficiente de correlação de Pearson, onde dados dois atributos,  $x$  e  $y$ , o coeficiente de correlação  $\rho(x, y)$  é dado por:

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.4)$$

onde  $x_i$  e  $y_i$  com  $i = 1, 2, \dots, n$  são os valores assumidos pelos atributos  $x$  e  $y$ , os valores  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias dos atributos. Se  $\rho \approx 0$  indica que as variáveis não estão correlacionadas, se  $\rho = -1$  é correlação perfeita negativa entre as variáveis e se  $\rho = 1$  é correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. O resultado  $\rho \approx 0$  indica que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra, no entanto, deve ser investigado para mensurar o efeito real.

#### 4.6 Análise econômica simples

A partir de análise econômica simples é possível identificar o sistema que representa a maior economia e melhor relação custo benefício. Com o objetivo único de comparar os sistemas estudados, são avaliados os parâmetros de: i) consumo de água, ii) consumo de energia elétrica, iii) valor do sistema instalado e iv) tempo de vida útil dos equipamentos.

#### 4.7 Considerações

Com o procedimento metodológico proposto é possível realizar medição investigativa e detalhada do consumo de água e de energia elétrica dos usuários de baixa renda, sendo possível a análise dos dados coletados a partir de parâmetros estabelecidos, verificar os impactos e as economias proporcionadas com o uso das tecnologias de aquecimento solar de água, sistema fotovoltaico e lâmpadas de alta eficiência em habitações de interesse social. No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos decorrentes da metodologia apresentada.



## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS

Neste capítulo são dispostos os resultados obtidos utilizando a metodologia proposta. Este capítulo está dividido em: i) definição do local da pesquisa, ii) instalação dos sistemas nas unidades, iii) definição dos equipamentos de medição do consumo de energia elétrica e construção do sistema para medição do consumo de água, iv) procedimentos de coleta e análise de dados, v) comparativo do consumo de água e energia e vi) análise dos harmônicos inseridos na rede de distribuição de energia elétrica pelos sistemas instalados.

#### 5.1 Local da pesquisa e escolha das famílias voluntárias

As unidades habitacionais escolhidas fazem parte do programa habitacional do Governo Federal, através do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), operacionalizada com os recursos advindos de cotas do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR) contratadas no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) (BRASIL, 2011). As residências estão localizadas no município de Palmeiras de Goiás, residencial Maria Pires Perillo, possuem sistema de aquecimento solar para água e foram atendidos pelo Programa Casa Solar da AGEHAB, que adota medidas para redução do impacto ambiental e social através da implantação do sistema fotovoltaico e de lâmpadas LED de alta eficiência, para redução da despesa familiar com energia elétrica. A Figura 5.1 e Figura 5.2, apresentam respectivamente a localização do município e do residencial.

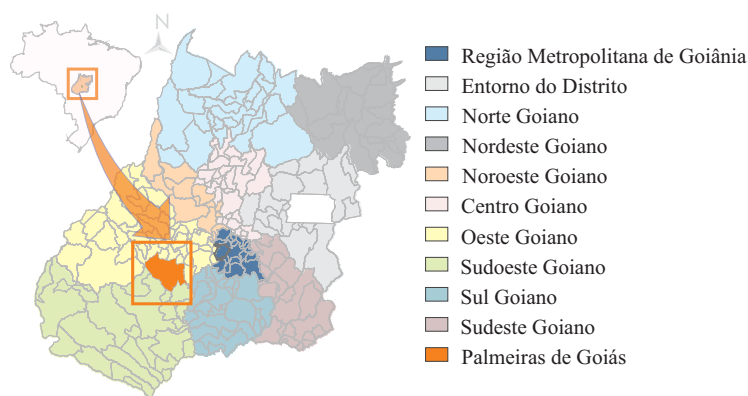


Figura 5.1 - Localização do município de Palmeiras de Goiás.

A identificação das famílias que utilizam os sistemas de aquecimento solar para água

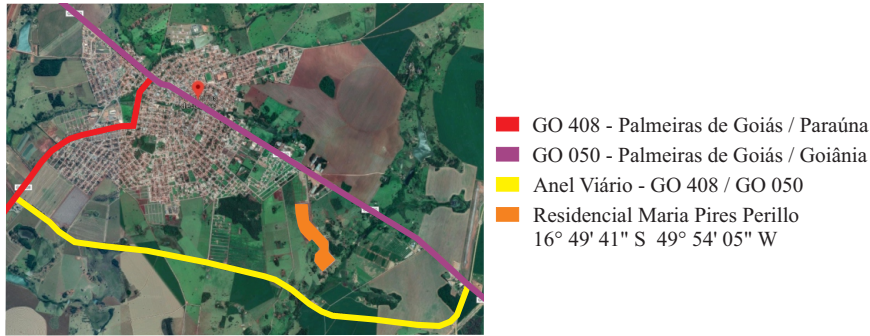


Figura 5.2 - Localização do Residencial Maria Pires Perillo e as principais vias de acesso.

foi realizada através de entrevista com os próprios moradores do loteamento. Dentre os relatos coletados várias famílias se declararam insatisfeitos com o sistema de aquecimento solar para água, com os principais pontos de insatisfação: i) dificuldade com o ajuste da temperatura da água para banho, ii) valor da tarifa de energia que não sofreu reduções perceptíveis e iii) os problemas de instalação, como a interrupção do fluxo de água quente devido a falta do suporte de fixação do reservatório, que tornava o sistema inoperante para o aquecimento da água.

### 5.1.1 Procedimentos para escolha das famílias e coleta de dados

Para realizar a escolha das famílias, foi necessário definir primeiramente o número de amostras a ser analisada. Para isto, foi utilizado o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* (PIMVP) (EVO, 2012). O residencial Maria Pires Perillo possui 300 residências com sistema de aquecimento solar para água e sistema fotovoltaico. Das expressões (4.2) e (4.3) e utilizando os valores retirados do PIMVP:  $st_{\infty}^2 = 3,84$ ,  $cv^2 = 0,25$ ,  $e^2 = 0,01$  e  $N = 300$ , obtêm-se  $n = 72,75$  *residência · dia*. A partir destas estimativas e considerando números inteiros, a amostra inicial consiste em 84 *residência · dia*, que equivale a três residências com 28 dias de coletas. Foi adotado o período de 28 dias, para que a ocorrência de mudanças comportamentais observados aos finais de semana fossem equivalentes para todas as tecnologias avaliadas.

Após definido o número de residência, foi realizada entrevistas com grupo de oito famílias voluntárias, onde foram selecionadas três famílias com maior aptidão para realização da pesquisa proposta, identificadas como: Casa 1, Casa 2 e Casa 3. Os critérios estabelecidos para a escolha foram: i) participem de programas habitacionais com rendimento familiar mensal de até três salários mínimos, ii) as famílias fossem compostas com até quatro moradores de ambos os gêneros, iii) as habitações sejam

ocupadas e utilizadas continuamente durante a pesquisa, iv) haja o comprometimento com o desenvolvimento da pesquisa, v) serem contempladas com lâmpadas de alta eficiência LED, sistema de aquecimento solar para água e sistema fotovoltaico conectado à rede da concessionária, vi) possuir acesso a internet e vii) os hábitos e costumes de todos os moradores devem ser mantidos durante a pesquisa.

As famílias escolhidas assinaram o termo de autorização do uso de imagens, a confirmação de participação voluntária e o questionário de hábitos, exemplificado no Apêndice A. A Tabela 5.1 dispõe as características básicas das residências selecionadas. A coleta de dados foi realizada de forma que cada tecnologia fosse mensurada isoladamente, uma a uma, em períodos equivalentes.

Tabela 5.1 - Características das unidades habitacionais selecionadas.

Descrição		Observação	Casa 1	Casa 2	Casa 3
Quantidade de moradores	semana	adulto	3	2	2
		criança	1	1	1
	final de semana	adulto	5	0	2
		criança	1	0	1
Equipamentos de consumo de água e energia elétrica	torneira	diversos	5	4	5
	bacia sanitária	caixa acoplada	1	1	1
	máquina de lavar	diversos	1	0	1
	chuveiro	elétrico	1	1	1
	lâmpada	diversos	7	7	7

Foram realizadas ações educativas junto as famílias do residencial, com explicação sobre os benefícios sociais, econômicos e ambientais. Houve a distribuição de material informativo e explicativo impresso como *folders* e cartilhas, bem como a divulgação do projeto em diversas mídias, de forma a dar ciência à sociedade das ações adotadas. Foram ofertadas capacitações profissionais através de cursos para trabalho com: i) segurança em instalações e serviços em eletricidade NR10 (MTE, 2016a), ii) segurança em altura NR35 (MTE, 2016b) e iii) montagem e manutenção de sistemas solares (AGEHAB, 2017).

## 5.2 Instalação dos sistemas nas unidades habitacionais

Foram instalados nas unidades habitacionais selecionadas os mesmos equipamentos, que são: i) chuveiro elétrico, ii) sistema de aquecimento solar para água, iii) sistema fotovoltaico e iv) lâmpadas de alta eficiência LED. A Figura 5.3 apresenta a disposição do sistema de aquecimento solar para água e dos painéis fotovoltaicos instalados sobre os telhados das residências, observa-se que não houve correções de inclinação e de direção, foram mantidas a inclinação do telhado de 33% e orientação a noroeste

com azimute de 320°. A Tabela 5.2 dispõe as cargas elétricas previstas nas unidades habitacionais entregues pela AGEHAB.



Figura 5.3 - Sistemas solares instalados com inclinação de 33% e azimute de 320°.

Tabela 5.2 - Quadro de carga das unidades habitacionais.

Circuito	Descrição	Iluminação [W]		Tomadas [W]						Total [W]
		13	20	100	185	186	200	312	4400	
1	Iluminação	5	2							105
2	Chuveiro								1	4400
3	Tomada de uso geral (TUG)			6			1			800
4	Tomada de uso específico (TUE)			2	1	1		1		883
<b>TOTAL</b>		5	2	8	1	1	1	1	1	6188

Os valores de aquisição dos equipamentos foram estabelecidos na Portaria n° 643, de 13 de novembro de 2017 do Ministério de Estado das Cidades, que incentiva a utilização dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar para água (CIDADES, 2017). Para o chuveiro elétrico foi adotado o valor médio de aquisição de mercado. Todos os valores foram convertidos em dólar. A Tabela 5.3 dispõe os custos de aquisição dos equipamentos, o tempo de vida útil estimado e o custo dos equipamentos referente ao período analisado.

Tabela 5.3 - Custo de utilização dos equipamentos instalados nas unidades habitacionais.

Descrição	Unidade	Chuveiro elétrico	Sistema fotovoltaico	Aquecimento solar para água
Custo de aquisição	U\$	15,61	897,67	897,67
Vida útil estimada	ano	4	25	20
Custo do equipamento por 28 dias	U\$	0,304	2,793	3,491



### 5.2.1 Aquecimento de água

Os chuveiros elétricos instalados nas unidades habitacionais atendem as normas técnicas brasileiras estabelecidas. A Tabela 5.4, dispõe as características técnicas do dispositivo e a sugestão do fabricante quanto ao dimensionamento dos condutores e disjuntor a serem utilizados.

Tabela 5.4 - Características técnicas do chuveiro elétrico instalado.

Descrição	Dados
Tensão	220V
Potência 1	3000W
Potência 2	5500W
Condutor para instalação	4mm <sup>2</sup>
Pressão de funcionamento	10 a 400kPa (1 a 40mca)
Disjuntor	30A
Grau de proteção	IP24

Os sistemas de aquecimento solar para água instalados nas unidades habitacionais são do modelo que utilizam coletores solares planos e atendem as normas técnicas brasileiras estabelecidas. A Tabela 5.5, dispõe os dados técnicos divulgados pelo fabricante destes dispositivos.

Tabela 5.5 - Características técnicas do aquecedor solar instalado.

Descrição	Dados
Reservatório de água fria (Caixa quebra pressão)	25L
Reservatório térmico de água quente	200L
Coletor solar	2m <sup>2</sup>
Pressão de trabalho	5mca
Produção de energia térmica	150, 4kWh/mês

### 5.2.2 Sistema fotovoltaico instalado

Os sistemas fotovoltaicos instalados atendem as normas técnicas brasileiras estabelecidas. Todo dimensionamento de circuito, proteção e geração, foi realizado pela AGEHAB (2017). A Tabela 5.6 dispõe as características técnicas dos equipamentos instalados e a Figura 5.4 apresenta o diagrama unifilar do sistema fotovoltaico.

O microinversor utilizado possui entradas individuais para dois painéis fotovoltaicos, que são conectados diretamente ao dispositivo. A estrutura de fixação foi montada sobre a cobertura das casas permitindo a instalação do microinversor junto aos pai-

Tabela 5.6 - Características técnicas do sistema fotovoltaico instalado.

Descrição	Quantidade
Microinversor	1 de 500W
Módulo fotovoltaico	2 de 260W <sub>p</sub>
Kits de estrutura de fixação	2
Disjuntor Monopolar	1 de 6A
DPS	2 de 20kA
Placas de sinalização	2
Kit de cabos de conexão	1

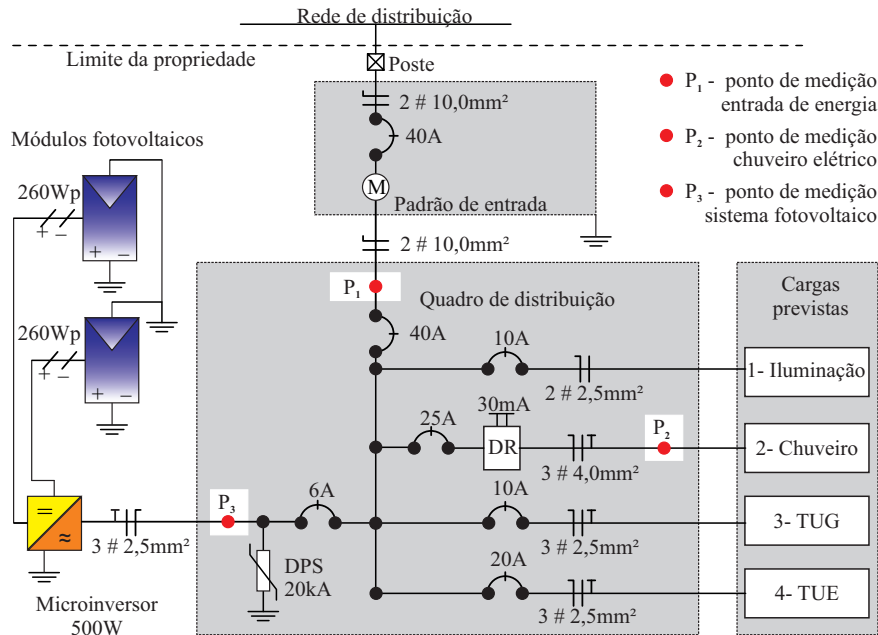


Figura 5.4 - Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico instalado.

neis. A Figura 5.5 apresenta o modelo de microinversor utilizado e a conexão nos painéis fotovoltaicos. A Tabela 5.7 dispõe as características técnicas do microinversor.

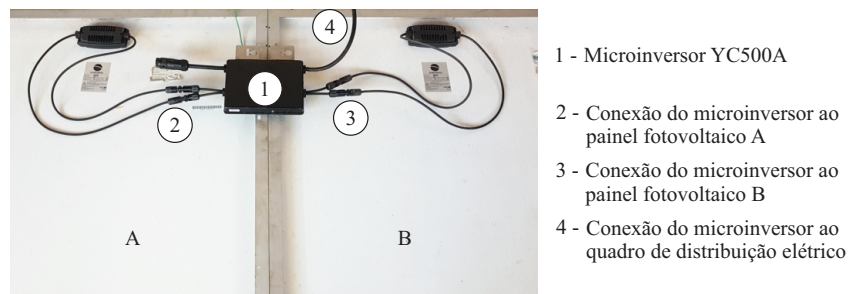


Figura 5.5 - Microinversor utilizado e a conexão nos painéis fotovoltaicos.

Tabela 5.7 - Características técnicas do microinversor instalado.

Dados	Descrição	Valor
<b>Entrada (CC)</b>	Faixa de tensão de MPPT	22V a 45V
	Faixa de tensão de operação	16V a 52V
	Máxima tensão	55V
	Tensão de ligamento	22V
	Máxima corrente por entrada	12A
<b>Saída (AC)</b>	Potência nominal	500W
	Tensão nominal	220V
	Corrente nominal	2,27A
	Faixa de tensão padrão	176V a 242V
	Faixa de tensão estendida	150V a 298V
	Saída de frequência nominal	60Hz
	Faixa de frequência padrão	57,5Hz a 62Hz
	Faixa de frequência estendida	55,1Hz a 64,9Hz
	Fator de potência	> 0,99
Distorção harmônica total	< 3%	
<b>Eficiência</b>	Eficiência pico	95,5%
	Consumo de energia à noite	120mW
<b>Faixa de operação</b>	Temperatura ambiente	-40°C a +65°C
<b>Dados mecânicos</b>	Classificação	IP67

### 5.2.3 Retrofit das lâmpadas

Foi realizado o *retrofit* de iluminação nas unidades habitacionais selecionadas com a instalação de lâmpadas de LED que atendem as normas técnicas brasileiras estabelecidas. A Tabela 5.8 dispõe as descrições das lâmpadas instaladas.

Tabela 5.8 - Características técnicas das lâmpadas instaladas.

Descrição	Dados
<b>Potência</b>	4,5W
<b>Temperatura de cor</b>	6.500K
<b>Fluxo Luminoso</b>	480lumens
<b>Eficiência Energética</b>	106lumens/W
<b>Base</b>	E27
<b>Ângulo de abertura</b>	200°
<b>Índice de reprodução de cor</b>	≥ 80
<b>Fator de potência</b>	≥ 0,4
<b>Vida útil</b>	25.000h
<b>Dimensões</b>	109x60mm

### 5.3 Dispositivos medidores do consumo de água e energia elétrica

Para análise comparativa do consumo de energia elétrica e água foram instalados os dispositivos de medição para a coleta de dados. Os medidores de consumo elétrico foram adquiridos no mercado ao custo de U\$ 388,99 cada. O medidor do consumo de água foi projetado e construído especialmente com a finalidade de obter os parâmetros necessários à esta aplicação.

### 5.3.1 Instalação do medidor de grandezas elétricas

Foi instalado para monitorar o consumo das grandezas elétricas o multimedidor e analisador modelo DMI T40T, do fabricante ISSO Tecnologia. Este multimedidor é equipamento de medição indireta e tem acurácia dos seus componentes de 1% de tolerância, composto por: três transformadores de corrente, quatro garras para referência de tensão e neutro, sensor de temperatura e cumpre a função de *data logger* integrada, com possibilidade de acesso remoto dos dados coletados por meio de conexão via cabo no roteador de internet. O DMI T40T coletou dados dos três circuitos em análise: i) chuveiro, ii) geração fotovoltaica e iii) circuito principal da residência. A Figura 5.6 apresenta o multimedidor DMI T40T instalado nos quadros de distribuição elétrico.



Figura 5.6 - Sistema com multimedidor e analisador DMI T40T.

O multimedidor é capaz de coletar as grandezas elétricas: i) tensão individual de cada fase, ii) frequência individual de cada fase, iii) corrente individual de cada fase, iv) corrente total do circuito, v) potência ativa  $[W]$  individual de cada fase, vi) potência ativa  $[W]$  total das três fases, vii) potência reativa  $[VAr]$  individual de cada fase, viii) potência reativa  $[VAr]$  total das três fases, ix) potência aparente  $[VA]$  individual de cada fase, x) potência aparente  $[VA]$  total das três fases, xi) consumo acumulado em  $[kWh]$  de cada fase, xii) consumo acumulado  $[kWh]$  total do circuito, xiii) fator de potência individual de cada fase, xiv) média do fator de potência das três fases, xv) temperatura do ambiente, xvi) análise do  $[kVAr]$  necessário para correção do fator de potência do circuito, xvii) análise de harmônicas até a 31º ordem e xviii) análise do deslocamento de onda.

### 5.3.2 Construção e instalação do medidor do consumo de água

Foi construído medidor de consumo de água para atender as condições propostas na pesquisa/projeto. Para medir somente o consumo de água do chuveiro, foi escolhido o dispositivo sensor de fluxo de líquido modelo YF S201, instalado diretamente na tubulação do chuveiro. Este medidor é composto por estrutura plástica e válvula em formato de catavento com ímã acoplado, que trabalha em conjunto com o sensor *hall* e envia sinal PWM ao microcontrolador. O YF S201 atua com precisão na faixa de consumo de  $1L/min$  a  $30L/min$ .

O microcontrolador utilizado foi o ATmega328 de 8 *bits* com arquitetura *Harvard* modificada. Os pulsos gerados pelo YF S201 são convertidos em volume de água consumido. As informações são armazenadas no cartão SD junto aos dados do relógio de tempo real RTC DS1307 e são transferidas via protocolo I2C para o microcontrolador. A Figura 5.7 apresenta o esquemático elétrico da conexão do microcontrolador e a Figura 5.8 apresenta o esquemático elétrico da conexão do cartão SD, interface para programação via computador e da fonte de alimentação de 3,3V.

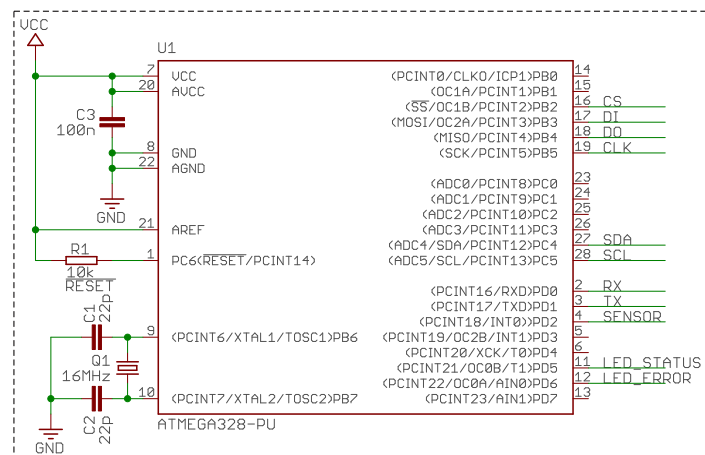


Figura 5.7 - Esquema elétrico da conexão do microcontrolador.

O relógio de tempo real RTC DS1307 tem a função completa de calendário (dia, mês, ano, hora, minuto e segundo). O sistema construído tem circuito contra falhas de energia com bateria para evitar perda de dados. A Figura 5.9 apresenta o esquemático elétrico da conexão do RTC DS1307, YF S201 e das luzes de indicação de *status* do sistema. O fornecimento contínuo de energia é realizado pelo módulo carregador de bateria TP 4056 com LED indicador de carga em conjunto com a bateria de lítio, possibilitando que a bateria seja recarregada sem a necessidade de removê-

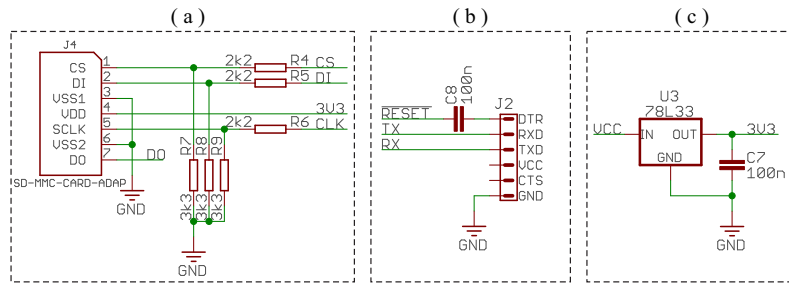


Figura 5.8 - Esquema elétrico da conexão: (a) cartão SD, (b) interface de comunicação externa e (c) fonte de alimentação.

la do circuito, promovendo a alimentação ininterrupta. A Figura 5.10 apresenta o esquemático elétrico da instalação do módulo TP 4056.

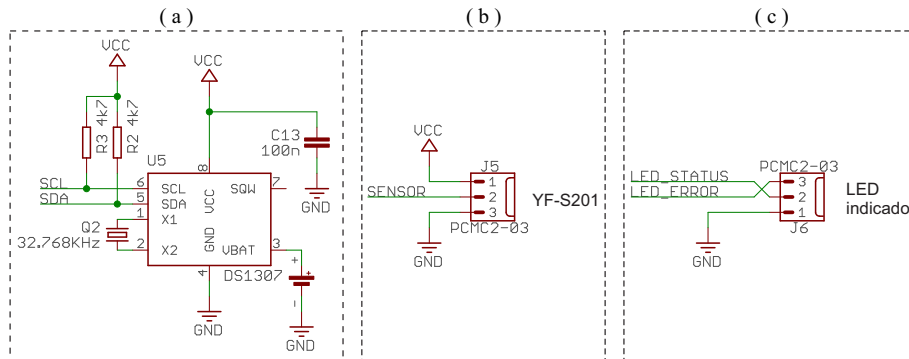


Figura 5.9 - Esquema elétrico da conexão: (a) RTC DS1307, (b) YF S201 e (c) luzes de indicação de *status* do sistema.

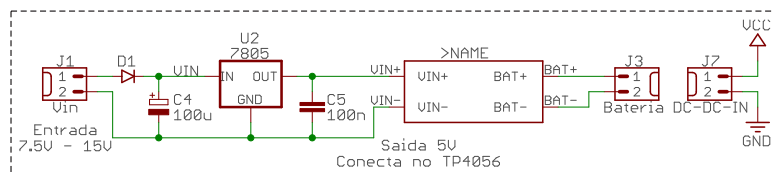


Figura 5.10 - Esquema elétrico da instalação do TP4056.

Todos os componentes do sistema proposto para medição do consumo de água foram organizados de forma que ficassem com o menor volume possível e distribuídos em caixa plástica hermeticamente fechada para proteção contra umidade. A Figura 5.11 apresenta o sistema proposto para medição do consumo de água. Este sistema mede a vazão instantânea em mililitros por segundo e o consumo total por banho em litros.

Os arquivos são gerados diariamente e armazenados no dispositivo, que foi instalado próximo ao chuveiro elétrico. A Figura 5.12 apresenta a disposição do medidor de consumo de água instalado na proximidade do chuveiro.

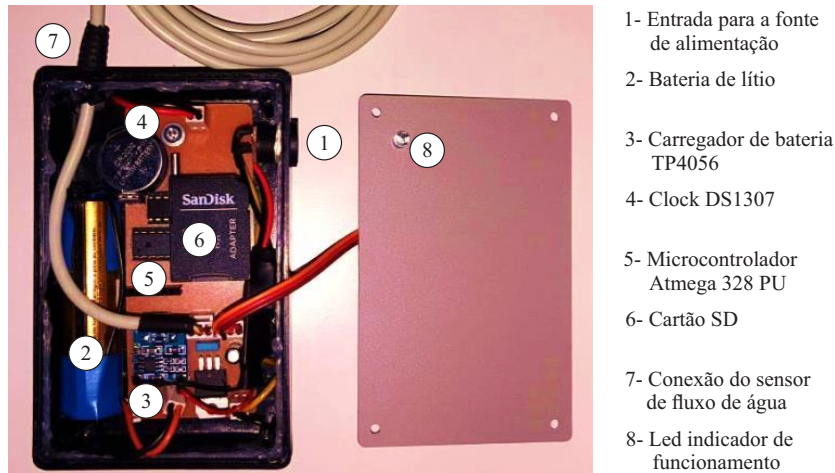


Figura 5.11 - Sistema proposto para medição do consumo de água.

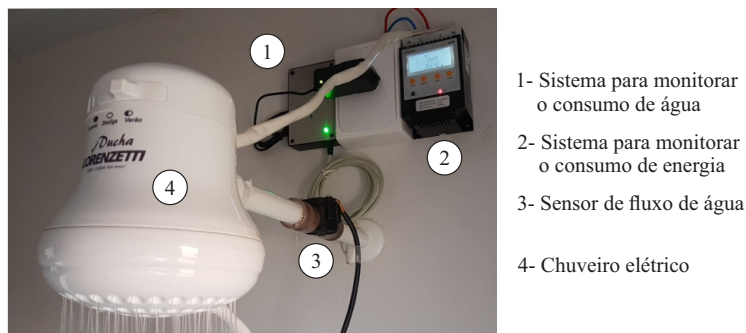


Figura 5.12 - Dispositivos de medição de consumo instalados junto ao chuveiro elétrico.

### 5.3.2.1 Calibração do sistema de medição de água

O dispositivo construído para medição do consumo de água foi submetido a calibração e verificação no laboratório de hidrômetros da Companhia de Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO). A aferição foi realizada em bancada, como apresentado na Figura 5.13, através da passagem da água com vazão média controlada e pressão constante no sensor de fluxo, como apresentado na Figura 5.14. A vazão desejada é obtida por meio de ajustes realizados em registros do sistema alimentado por reservatório especificamente construído, como apresentado na Figura 5.15. O re-

cipiente previamente aferido pelo INMETRO com capacidade de 100L foi utilizado para verificar o volume registrado pelo sistema proposto. A Figura 5.16 apresenta o diagrama de blocos da bancada de aferição de hidrômetros.

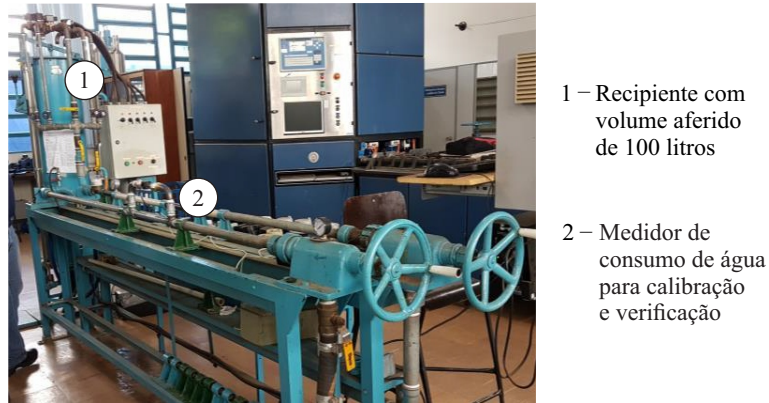


Figura 5.13 - Procedimento de calibração e verificação.

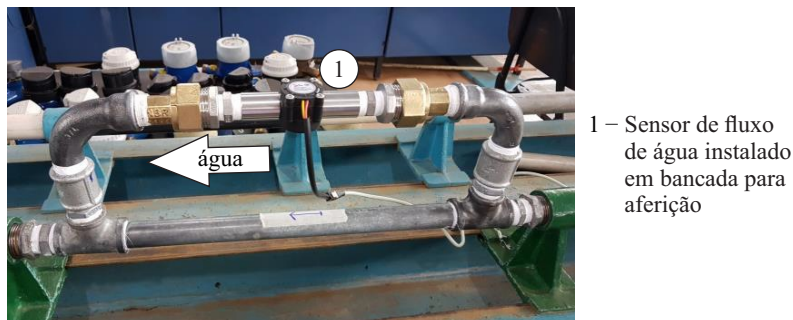


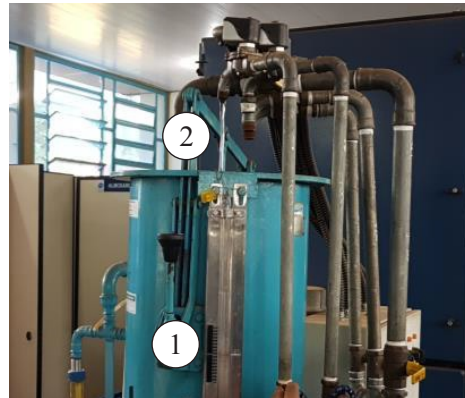
Figura 5.14 - Sensor de fluxo de água instalado em bancada com vazão média controlada.

Após aplicar a vazão média utilizada em banho  $\approx 9L/min$  e os procedimentos de calibração utilizados pela SANEAGO, o resultado obtido nos testes apresentaram erro de no máximo 2,35%. Este valor é menor que a metade do valor aceito pela SANEAGO para hidrômetros novos, que é 5% de erro. A Tabela 5.9 dispõe os resultados obtidos após a calibração dos três equipamentos (uma para cada residência estudada) de medição do consumo de água.

#### 5.4 Análise elétrica das lâmpadas instaladas

Para análise comparativa das lâmpadas foram selecionadas lâmpadas fluorescentes compactas, de diversos fabricantes disponíveis no mercado, com potência nominal





- 1 – Recipiente com volume aferido de 100 litros
- 2 – Vazão média de água controlada

Figura 5.15 - Procedimento de ajuste da vazão média para a realização da aferição do medidor de consumo de água.

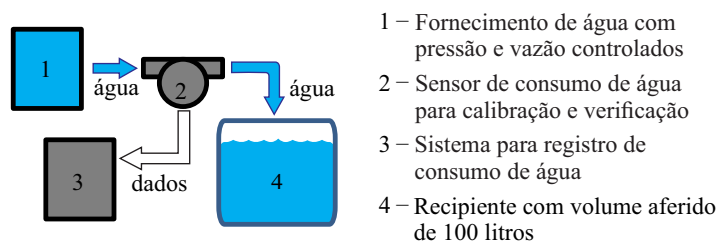


Figura 5.16 - Diagrama de blocos do procedimento utilizado para calibração.

Tabela 5.9 - Valores obtidos nos testes de calibração do medidor de consumo de água.

Descrição	Unidade	1	2	3
Tempo de teste	<i>min</i>	10'58"	10'48"	10'59"
Vazão	<i>L/h</i>	547,1	555,6	546,3
Vazão	<i>L/min</i>	9,1	9,3	9,1
Volume registrado	<i>L</i>	98,89	100,96	102,35
Máximo de erro	<i>%</i>	-1,11%	0,96%	2,35%

de 15W, modelo 3U, tensão nominal de 220V, e temperatura de cor considerada de luz branca (entre 5000K e 6000K), modelo encontrado na maioria das moradias populares. Os dados luminotécnicos obtidos através da descrição na embalagem dos produtos, foram sumarizados e submetidas a simulações com cada uma das lâmpadas, para verificar o índice de iluminação (*lux*). A escolha das lâmpadas diodo emissor de luz (LED) foi baseada na potência elétrica equivalente das lâmpadas incandescentes. Os fabricantes sugerem que a lâmpada fluorescente compacta (LFC) de 15W substitui a lâmpada incandescente de 50W (Tabela 2.1). Desta formas, as lâmpadas LED selecionadas devem ter a mesma equivalência.

A Tabela 5.10, dispõe os dados luminotécnicos encontrados nas embalagens de todos

os dezessete tipos de lâmpadas LFC e LED analisadas. Para os casos no qual nas embalagens não haviam informações suficientes ou divergentes, foi utilizado valores definidos na Tabela 2.1.

Tabela 5.10 - Dados luminotécnicos das lâmpadas analisadas.

Modelo	Potência [W]	Equivalente incandescente [W]	Fluxo luminoso [lm]	Eficiência luminosa [lm · W <sup>-1</sup> ]
LFC A	15	75	960	64
LFC B	15	60	840	56
LFC C	15	60	840	56
LFC D	15	60	820	54,67
LFC E	15	60	815	54
LFC F	15	60	750	50
LED A	9	60	806	89,55
LED B	10	75	1089	110,00
LED C	10	60	860	86,00
LED D	10	60	806	80,60
LED E	9,5	60	820	86,31
LED F	9	60	900	100,00
LED G	9	60	900	100,00
LED H	9	60	806	89,55
LED I	9	60	860	95,55
LED J	9	60	803	89,22
Utilizado	4,5	35	480	106,00

As lâmpadas avaliadas foram submetidas a simulação para verificação do índice de iluminação utilizando o software **DIALux evo 6.2**. Foram preservadas as mesmas configurações para todas as simulações, modificando somente os parâmetros elétricos e físicos de cada lâmpada. O ambiente simulado foi uma área sem móveis com dimensões de 2,40m de largura 3,20m de comprimento e 2,80m de altura com uma porta, uma janela, pintura interna na cor branca fosca, luminária central do tipo sobrepor (sem recorte no teto) com vidro leitoso e a lâmpada analisada.

Os resultados luminotécnicos obtidos pela simulação demonstram que lâmpadas de mesma potência elétrica apresentam desempenho luminosos diferentes. O modelo LFC A apresentou distribuição luminosa acima dos 100lux na maior parte do ambiente. O modelo LFC F apresentou distribuição entre 70lux e 110lux e o modelo utilizado nas residências estudadas foi o de menor desempenho entre as lâmpadas avaliadas, com distribuição luminosa entre 50lux e 70lux. A Figura 5.17 apresenta as curvas isoluminosas geradas através das simulações para os três modelos: LFC A, LFC F e o utilizado nas residências estudadas.

A avaliação dos parâmetros elétricos foi realizada utilizando o analisador de energia modelo Fluke 434. Todas as lâmpadas LED e LFC passaram pelos testes práticos, onde os resultados compõem os argumentos favoráveis para substituição de uma

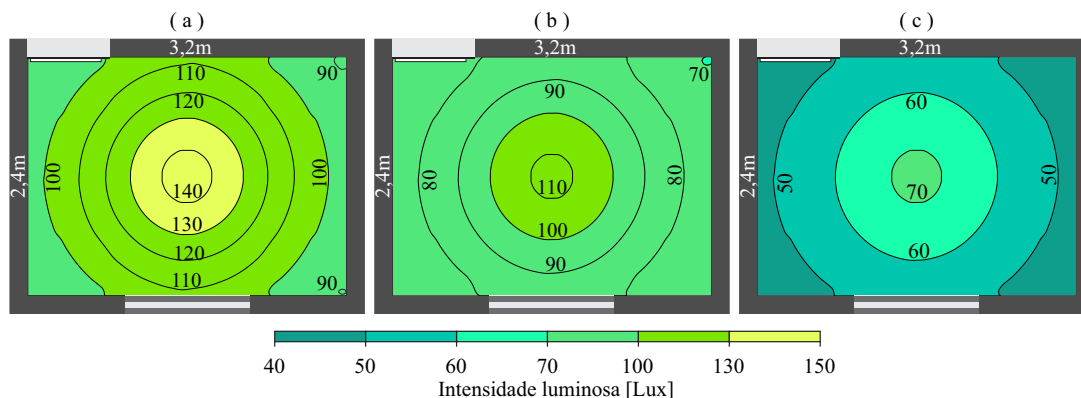


Figura 5.17 - Simulação do desempenho luminotécnico: (a) com o modelo LFC A, (b) com o modelo LFC F e (c) modelo utilizado nas residências estudadas.

lâmpada por outra, com o objetivo de contribuir para redução do consumo de energia nas habitações.

No que se refere à distorção harmônica de tensão, observa-se que lâmpadas de LED e lâmpadas LFC mantiveram o mesmo padrão, tendo  $THD_v$  de todos inferiores a 3%. Estes valores são aceitáveis comparando com os limites das taxas de distorção harmônicas total de tensão dispostas na Tabela 2.2. A Tabela 5.11, dispõe os valores de parâmetros elétricos medidos de todas as lâmpadas analisadas.

Tabela 5.11 - Parâmetros elétricos obtidos a partir dos ensaios das lâmpadas analisadas.

Modelo	Potência nominal [W]	Potência ativa [W]	Tensão elétrica [V]	Corrente elétrica [mA]	$THD_v$ [%]	$THD_i$ [%]	$F_p$
LFC A	15	14,00	217,93	101,00	2,08	104,11	0,63
LFC B	15	13,20	218,76	93,00	2,25	98,66	0,65
LFC C	15	14,00	218,91	99,00	2,09	100,41	0,64
LFC D	15	13,00	217,91	92,00	2,23	97,03	0,65
LFC E	15	13,80	219,37	98,00	2,24	102,80	0,64
LFC F	15	9,60	218,75	70,00	2,14	103,14	0,63
LED A	9	8,60	218,12	48,00	1,89	37,50	0,81
LED B	10	8,00	216,51	73,00	1,82	161,31	0,51
LED C	10	8,80	216,98	73,00	1,93	141,17	0,56
LED D	10	9,30	216,84	85,00	1,75	155,19	0,51
LED E	9,5	8,40	217,98	84,00	2,05	181,42	0,46
LED F	9	8,80	216,09	85,00	1,88	166,99	0,48
LED G	9	7,90	218,04	68,00	1,96	147,54	0,53
LED H	9	8,60	217,96	66,00	2,04	124,83	0,59
LED I	9	8,90	217,71	45,00	1,93	24,98	0,91
LED J	9	9,00	217,85	47,00	1,79	24,08	0,88
Utilizado	4,5	4,40	215,29	34,00	2,80	126,50	0,61

A Tabela 5.12 dispõe as componentes individuais de distorção harmônica de tensão  $TDH_v$  de 3ª, 5ª e 7ª ordem das lâmpadas LFC e LED analisadas. Os resultados

apresentaram baixos níveis harmônicos de tensão, estando assim em conformidade com as referências dispostas na Tabela 2.3, que estabelece para a classe de tensão das lâmpadas o valor limite de 5,0%.

Tabela 5.12 - Componentes individuais de distorção harmônica de tensão [%].

Modelo	3 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
<b>LFC A</b>	0,95	1,59	0,82
<b>LFC B</b>	1,02	1,52	0,85
<b>LFC C</b>	1,01	1,58	0,89
<b>LFC D</b>	1,01	1,69	0,98
<b>LFC E</b>	1,02	1,63	0,93
<b>LFC F</b>	0,95	1,60	0,81
<b>LED A</b>	0,90	1,37	0,69
<b>LED B</b>	0,87	1,39	0,68
<b>LED C</b>	0,89	1,38	0,71
<b>LED D</b>	0,86	1,31	0,62
<b>LED E</b>	0,97	1,43	0,73
<b>LED F</b>	0,88	1,35	0,68
<b>LED G</b>	0,95	1,40	0,69
<b>LED H</b>	1,02	1,55	0,92
<b>LED I</b>	0,96	1,38	0,71
<b>LED J</b>	0,87	1,32	0,67
<b>Utilizado</b>	1,20	2,10	0,80

A Tabela 5.13 dispõe as componentes individuais de distorção harmônica de corrente  $TDH_i$  de 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> ordem para todas as lâmpadas analisadas. Os resultados obtidos apresentam taxas  $THD_i$  superior ao aceitável para as lâmpadas: LFC F, LED B, LED C, LED D, LED E, LED F, LED G e LED H.

Tabela 5.13 - Componentes individuais de distorção harmônica de corrente [%].

Modelo	3 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>
<b>LFC A</b>	76,87	46,72	26,09	20,34	14,79	11,41
<b>LFC B</b>	74,24	42,07	24,73	22,08	15,54	12,45
<b>LFC C</b>	74,37	42,39	25,20	22,11	14,86	11,87
<b>LFC D</b>	71,45	37,93	24,89	22,23	14,50	15,38
<b>LFC E</b>	76,66	46,51	27,31	23,04	16,42	9,07
<b>LFC F</b>	75,51	44,71	25,29	20,27	14,28	12,25
<b>LED A</b>	29,13	18,89	7,97	7,06	0,35	4,21
<b>LED B</b>	90,80	78,44	62,94	47,72	35,74	29,05
<b>LED C</b>	89,21	73,76	54,75	36,73	24,06	19,37
<b>LED D</b>	88,98	73,87	56,68	42,23	33,60	29,62
<b>LED E</b>	92,64	82,95	70,37	57,12	45,06	36,22
<b>LED F</b>	91,05	79,02	64,18	49,83	38,70	32,27
<b>LED G</b>	88,43	72,68	54,79	39,97	31,31	27,23
<b>LED H</b>	84,09	61,99	40,36	28,40	25,35	21,88
<b>LED I</b>	18,98	13,49	6,79	3,56	0,87	2,05
<b>LED J</b>	16,24	13,61	8,06	4,80	1,37	2,50
<b>Utilizado</b>	87,50	67,20	43,40	24,90	15,40	14,20

Os resultados obtidos pela lâmpada LED B demonstram que é a de maior fluxo

luminoso dentre os modelos avaliados (Tabela 5.10), com eficiência luminosa de  $110lm \cdot W^{-1}$ , porém não atendeu as limitações, obtendo  $THD_i = 161,31\%$ , bem acima dos 105% aceitável (UDDIN et al., 2013). Dos modelos testados, a lâmpada LED I, que possui certificação, é um dos modelo que atendeu aos limites harmônicos e possui o melhor índice de eficiência luminosa.

## 5.5 Procedimento para coleta de dados

Os dados de consumo de água foram coletados a cada duas semanas. Os dados de consumo de energia elétrica foram coletados por meio de monitoramento remoto contínuo via internet, o que permitiu identificar imediatamente as ocorrências como o uso indevido do chuveiro elétrico durante o período de análise. Foi realizada análise econômica simples para verificação, dentre os sistemas avaliados, qual representa a maior economia e melhor relação custo benefício.

### 5.5.1 Análise dos dados coletados do consumo de água e energia

Ao final de cada período de 28 dias, foram obtidos os totais de consumo de água e os totais de consumo de energia elétrica, separados por tecnologia. Para o cálculo dos custos de consumo foi considerado o valor real da tarifa de utilização de água e energia elétrica pela unidade habitacional durante o período de avaliação. A Tabela 5.14 dispõe o cálculo dos custos de equipamento para utilização no período de 28 dias, baseados nos valores de aquisição e tempo de vida útil. A Figura 5.18 apresenta o comportamento da energia nos circuitos de alimentação geral (consumo considerando a geração fotovoltaica), chuveiro elétrico e sistema fotovoltaico, onde foi observado no dia 6 de fevereiro de 2018 (dia frio e ensolarado) em que a energia gerada superou o consumo da Casa 3. A Figura 5.19 apresenta o comportamento da temperatura ambiente registrada na Casa 3.

Tabela 5.14 - Custo de utilização por 28 dias de cada sistema analisado.

Custo de sistema (28 dias)	Unidade	Aquecedor solar	Chuveiro elétrico	Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Aquecedor solar + sistema fotovoltaico
aquecedor solar	U\$	3,491			3,491
chuveiro	U\$	0,304	0,304	0,304	0,304
fotovoltaica	U\$			2,793	2,793
total	U\$	3,794	0,304	3,096	6,587

Para a obtenção dos valores foram considerados: i) consumo total de água, ii) con-

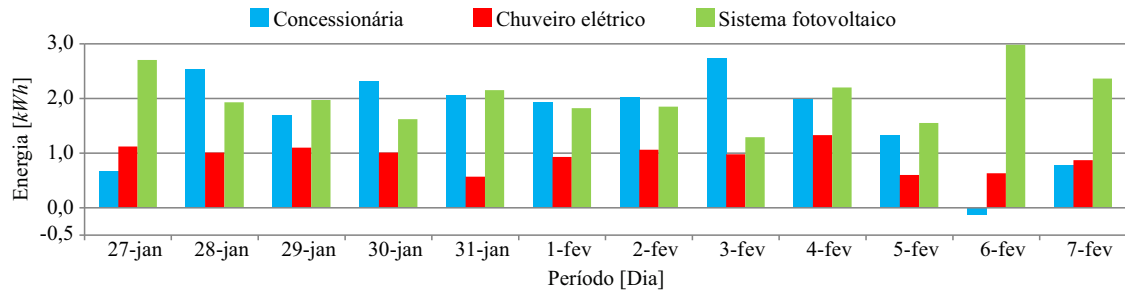


Figura 5.18 - Análise da energia na Casa 3.

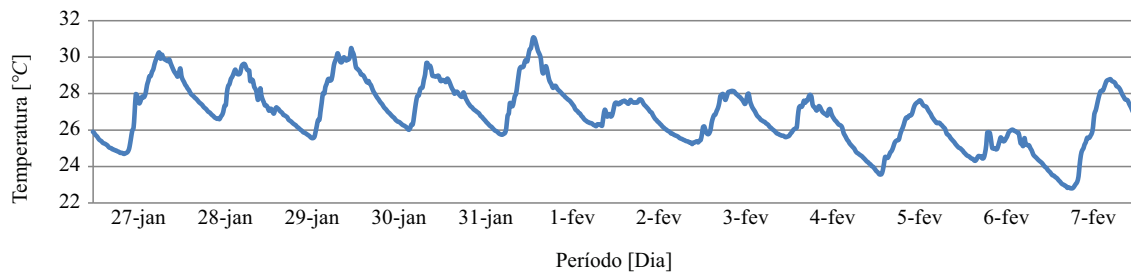


Figura 5.19 - Análise da temperatura ambiente na Casa 3.

sumo total de energia, iii) energia fotovoltaica gerada, iv) quantidade de banhos, v) tempo médio de banho. Os valores apresentados de: i) água, ii) energia e iii) sistema fotovoltaico, são resultados dos cálculos do produto consumido pela tarifa paga, para a água foi o consumo pela tarifa de  $0,001571U\$/Litro$ , para a energia o consumo pela tarifa de  $0,228124U\$/kWh$  e para o sistema fotovoltaico a geração pela mesma tarifa paga de energia elétrica. Os valores destas tarifas foram obtidos das faturas de consumo pagas pela unidade consumidora em dezembro de 2018 convertido pela cotação do dólar no período. O valor total foi calculado pela soma dos valores de consumo de água e energia subtraídos do valor da geração do sistema fotovoltaico. A média por banho representa o valor total obtido dividido pela quantidade de banhos.

A Tabela 5.15 dispõe os dados coletados durante o período de análise do sistema de aquecimento solar para água. Como exemplo, a Casa 1 apresentou consumo de água no valor de  $U\$3,79$  que equivale ao consumo de  $2.412Litros$ , como não houve consumo de energia o valor zero foi atribuído, também não houve geração pelo sistema fotovoltaico que recebeu valor zero, o total calculado foi de  $U\$3,79$  e o valor médio por banho de  $U\$0,040$ , de um total de 95 banhos.

A Tabela 5.16 dispõe dos dados coletados durante o período de análise do chuveiro

Tabela 5.15 - Dados de consumo utilizando aquecimento solar para água, obtida no período de 21 de novembro de 2017 a 18 de dezembro de 2017.

Aquecimento solar	Unidade	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Média
<b>Total de banhos</b>	un	95	61	90	82
<b>Duração média</b>	min	06:10	04:33	06:29	05:53
<b>água</b>	<i>Litros</i>	2412	1216	3156	2261
	<i>U\$/Litro</i>	0,001571			
	<i>U\$</i>	3,79	1,91	4,96	3,55
<b>energia</b>	<i>kWh</i>	0	0	0	0
	<i>U\$/kWh</i>	0,228124			
	<i>U\$</i>	0	0	0	0
<b>sistema fotovoltaico</b>	<i>kWh</i>	0	0	0	0
	<i>U\$</i>	0	0	0	0
<b>Total</b>	<i>U\$</i>	3,79	1,91	4,96	3,55
<b>Média por banho</b>	<i>U\$</i>	0,040	0,031	0,055	0,043

elétrico. Como exemplo, a Casa 1 apresentou consumo de água no valor de  $U\$2,14$  que equivale ao consumo de  $1.361\text{Litros}$ , a energia elétrica consumida foi de  $U\$3,38$  que equivale ao consumo de  $14,8\text{kWh}$ , não houve geração pelo sistema fotovoltaico que recebeu valor zero, o total obtido foi  $U\$5,51$  e o valor médio por banho de  $U\$0,063$ , do total de 87 banhos.

Tabela 5.16 - Dados de consumo utilizando chuveiro elétrico, obtida no período de 19 de dezembro de 2017 a 16 de janeiro de 2018.

Chuveiro elétrico	Unidade	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Média
<b>Total de banhos</b>	un	87	4	102	64
<b>Duração média</b>	min	04:33	03:32	05:46	05:10
<b>água</b>	<i>Litros</i>	1361	40	2198	1200
	<i>U\$/Litro</i>	0,001571			
	<i>U\$</i>	2,14	0,06	3,45	1,88
<b>energia</b>	<i>kWh</i>	14,8	0,51	26,17	13,8
	<i>U\$/kWh</i>	0,228124			
	<i>U\$</i>	3,38	0,12	5,97	3,15
<b>sistema fotovoltaico</b>	<i>kWh</i>	0	0	0	0
	<i>U\$</i>	0	0	0	0
<b>Total</b>	<i>U\$</i>	5,51	0,18	9,42	5,04
<b>Média por banho</b>	<i>U\$</i>	0,063	0,045	0,092	0,067

A Tabela 5.17 dispõe os dados coletados durante o período de análise do sistema fotovoltaico em conjunto com o chuveiro elétrico. Como exemplo, a Casa 1 apresentou consumo de água no valor de  $U\$4,95$  que equivale ao consumo de  $3.153\text{Litros}$ , a energia elétrica consumida foi de  $U\$7,59$  equivalente ao consumo de  $33,26\text{kWh}$ , o sistema fotovoltaico obteve  $U\$17,04$  equivalente a geração de  $74,68\text{kWh}$ , o total obtido foi  $-U\$4,50$  e o valor médio por banho de  $-U\$0,023$ , do total de 195 banhos. Neste caso, o resultado negativo foi devido ao valor gerado pelo sistema fotovoltaico ter sido maior que a soma dos demais consumos no mesmo período.

Tabela 5.17 - Dados de consumo utilizando chuveiro elétrico associado ao sistema fotovoltaico, obtida no período de 17 de janeiro de 2017 a 14 de fevereiro de 2018.

Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Unidade	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Média
<b>Total de banhos</b>	un	195	42	110	116
<b>Duração média</b>	min	04:50	03:14	06:16	05:05
<b>água</b>	<i>Litros</i>	3153	440	2578	2057
	<i>U\$/Litro</i>	0,001571			
	<i>U\$</i>	4,95	0,69	4,05	3,23
<b>energia</b>	<i>kWh</i>	33,26	6,37	26,64	22,1
	<i>U\$/kWh</i>	0,228124			
	<i>U\$</i>	7,59	1,45	6,08	5,04
<b>sistema fotovoltaico</b>	<i>kWh</i>	74,68	74,99	63,9	71,19
	<i>U\$</i>	17,04	17,11	14,58	16,24
<b>Total</b>	<i>U\$</i>	-4,50	-14,96	-4,45	-7,97
<b>Média por banho</b>	<i>U\$</i>	-0,023	-0,356	-0,040	-0,140

A Tabela 5.18 dispõe os dados coletados durante o período de análise do sistema fotovoltaico em conjunto com o aquecimento solar para água. Como exemplo, a Casa 1 apresentou consumo de água no valor  $U\$6,05$  que equivale ao consumo de  $3.852\text{Litros}$ , como não houve energia elétrica consumida o valor zero foi atribuído para este item, o sistema fotovoltaico obteve  $U\$15,76$  equivalente a geração de  $69,08\text{kWh}$ , o total obtido foi  $-U\$9,71$  e o valor médio por banho de  $-U\$0,058$ , do total de 167 banhos. Neste caso, o resultado negativo foi devido ao valor gerado pelo sistema fotovoltaico ser maior que a soma dos demais consumos no mesmo período.

Tabela 5.18 - Dados de consumo utilizando o aquecimento solar para água associado ao sistema fotovoltaico, obtida no período de 15 de fevereiro de 2018 a 13 de março de 2018.

Aquecimento solar + sistema fotovoltaico	Unidade	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Média
<b>Total de banhos</b>	un	167	48	115	110
<b>Duração média</b>	min	06:20	03:45	08:20	06:39
<b>água</b>	<i>Litros</i>	3852	561	4430	2948
	<i>U\$/Litro</i>	0,001571			
	<i>U\$</i>	6,05	0,88	6,96	4,63
<b>energia</b>	<i>kWh</i>	0	0	0	0
	<i>U\$/kWh</i>	0,228124			
	<i>U\$</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>sistema fotovoltaico</b>	<i>kWh</i>	69,08	63,81	59,13	64,01
	<i>U\$</i>	15,76	14,56	13,49	14,60
<b>Total</b>	<i>U\$</i>	-9,71	-13,68	-6,53	-9,97
<b>Média por banho</b>	<i>U\$</i>	-0,058	-0,285	-0,057	-0,133

A Tabela 5.19 dispõe o resumo dos resultados obtidos nas medições, considerado a média das 3 casas, na qual é possível observar que o chuveiro elétrico associado



ao sistema fotovoltaico é o que proporcionou maior economia, correspondendo a  $-U\$0,0109$  por banho. O chuveiro elétrico apresenta resultado de  $U\$0,070$ , o aquecimento solar para água com  $U\$0,081$  e o aquecimento solar para água em conjunto com o sistema fotovoltaico com resultado de  $-U\$0,067$ . Para o cálculo do custo médio de utilização dos equipamentos durante o período de 28 dias, foi considerado o número fixo de 100 banhos para todas as tecnologias avaliadas, eliminando as divergências devido os diferentes números de banhos registrados em cada período.

Tabela 5.19 - Resultados considerando o consumo médio final por banho somado ao custo de utilização dos equipamentos.

Sistemas avaliados/custos (por banho)	Unidade	Aquecimento solar	Chuveiro elétrico	Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Aquecimento solar + sistema fotovoltaico
Consumo médio final	U\$	0,043	0,067	-0,140	-0,133
Utilização de equipamentos	U\$	0,038	0,003	0,031	0,066
Custo final por banho	U\$	0,081	0,070	-0,109	-0,067

A Tabela 5.20 dispõe os resultados da previsão de consumo mensal dos sistemas avaliados e a economia obtida por tecnologia utilizada em comparação ao chuveiro elétrico. Observa-se que uma família composta por quatro pessoas, onde cada pessoa toma um banho por dia, totalizando 120 banhos em 30 dias, que optar pelo sistema fotovoltaico associado ao chuveiro elétrico deverá economizar em média,  $U\$14,35$  por mês, se comparar ao uso somente do chuveiro elétrico.

Tabela 5.20 - Previsão de consumo mensal dos sistemas avaliados e a economia obtida por cada solução em comparação ao chuveiro elétrico.

Sistemas avaliados/custos (30 dias e 120 banhos)	Unidade	Aquecimento solar	Chuveiro elétrico	Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Aquecimento solar + sistema fotovoltaico
Consumo de água	U\$	5,20	3,52	3,35	5,05
Consumo de energia	U\$	0,00	5,88	5,23	0,00
Energia gerada	U\$	0,00	0,00	16,52	16,52
Utilização de equipamentos	U\$	4,07	0,33	3,32	7,06
Custo total	U\$	9,26	9,72	-4,62	-4,41
Economia obtida	U\$	0,46	0,00	14,35	14,14

### 5.5.2 Influência dos hábitos dos usuários na economia

Em relação ao consumo de água, foi observada a maior economia nos dois casos em que houve a utilização do chuveiro elétrico (chuveiro elétrico sozinho e chuveiro

elétrico + sistema fotovoltaico). Foi observado o maior consumo de água nos dois casos em que o aquecedor solar foi utilizado (aquecimento solar e aquecimento solar + sistema fotovoltaico). Na avaliação da duração média do tempo de banho, baseados nos resultados medidos, foi observado que com a utilização do aquecimento solar para água o tempo médio ficou em aproximadamente  $6min$  e com a utilização do chuveiro elétrico este tempo médio ficou em aproximadamente  $5min$ . A Tabela 5.21 dispõe os resultados das vazões médias de água, na qual pode-se observar que as maiores vazões ocorreram com a utilização do sistema de aquecimento solar para água.

Tabela 5.21 - Vazão média da água por sistema avaliado.

Sistemas avaliados/ vazão de água (28 dias)	Unidade	Aquecimento solar	Chuveiro elétrico	Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Aquecimento solar + sistema fotovoltaico
Consumo total	<i>Litros</i>	2261	1200	2057	2948
Total de banhos	<i>Un</i>	82	64	116	110
Consumo médio por banho	<i>Litros</i>	27,57	18,75	17,73	26,80
Tempo médio de banho	<i>min</i>	05:53	05:10	05:05	06:39
Vazão média	<i>Litro/min</i>	4,7	3,6	3,5	4,0

Na tentativa de relacionar os hábitos dos usuários às tecnologias utilizadas, partindo do pressuposto que pode haver mudanças na utilização de acordo com a tecnologia, realiza-se o estudo da correlação. Foi analisado o tempo médio de banho no período de 28 dias para cada tecnologia, tendo como referência o chuveiro elétrico. A Tabela 5.22 dispõe os resultados da correlação entre as tecnologias avaliadas. Foi observado que existe correlação entre todas as tecnologias, no entanto, as tecnologias que utilizam o aquecimento solar para água tem menor correlação, indicando maior mudança nos hábitos dos usuários quando estas estão ativas.

Tabela 5.22 - Correlação entre as tecnologias avaliadas.

Coefficiente de correlação linear $\rho(x, y)$	Chuveiro elétrico + fotovoltaica	Aquecimento solar + fotovoltaica	Aquecimento solar + fotovoltaica
Chuveiro elétrico	0,9559	0,9018	<b>0,7994</b>

### 5.5.3 Análise dos harmônicos

A avaliação dos efeitos ocasionados pelas tecnologias instaladas nas unidades habitacionais, particularmente o impacto das harmônicas injetadas à rede de distribuição de energia elétrica, foram realizados a partir dos dados coletados através do ana-

lisador de energia. As análises dos harmônicos considerou a influência de todos os sistemas avaliados sobre o circuito geral de alimentação, representando o comportamento da energia de toda a carga instalada simultaneamente. Os resultados foram baseados nas avaliações do fator de potência e da potência reativa para sistemas não-lineares.

A Tabela 5.23 dispõe os resultados registrados pelo analisador de energia no ponto  $P_1$  da Figura 5.4. Os valores médios de potência ativa  $[W]$ , potência aparente  $[VA]$ , potência reativa  $[VAr]$  e fator de potência  $F_p$ , estão dispostos de forma que para cada sistema estudado são apresentados os dados lidos em cada Casa.

Tabela 5.23 - Dados do comportamento da potência por sistema avaliado.

Sistemas avaliados/potência (valor médio de 28 dias)		Aquecimento solar	Chuveiro elétrico	Chuveiro elétrico + sistema fotovoltaico	Aquecimento solar + sistema fotovoltaico
<b>Ativa</b> [W]	Casa 1	146,63	284,98	<b>264,55</b>	<b>76,30</b>
	Casa 2	<b>149,07</b>	161,39	88,04	27,69
	Casa 3	143,69	<b>292,20</b>	256,76	30,40
<b>Aparente</b> [VA]	Casa 1	166,33	303,76	382,32	<b>220,42</b>
	Casa 2	<b>182,40</b>	194,18	269,89	200,16
	Casa 3	155,86	<b>305,97</b>	<b>386,07</b>	159,27
<b>Reativa</b> [VAr]	Casa 1	75,84	84,41	<b>105,40</b>	89,95
	Casa 2	<b>94,47</b>	<b>97,86</b>	100,92	<b>96,70</b>
	Casa 3	56,48	76,35	96,74	68,50
$F_p$	Casa 1	0,87	0,87	0,77	0,74
	Casa 2	0,71	0,78	0,68	0,67
	Casa 3	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,81</b>

Observa-se que o sistema fotovoltaico interfere nos valores obtidos do fator de potência, reduzindo o  $F_p$  nos períodos em que o sistema fotovoltaico estava conectado à rede de energia elétrica. A Figura 5.20 apresenta as curvas com o comportamento do fator de potência e sua relação com a potência ativa injetada pelo sistema fotovoltaico nas unidades habitacionais, é possível deduzir que a Casa 2 e Casa 3 têm comportamento energético semelhante.

A Figura 5.21 apresenta as características elétricas da Casa 1 com as curvas do fator de potência, da potência ativa e da potência reativa medido no ponto  $P_1$  da Figura 5.4 e da potência ativa medida no ponto  $P_3$ , durante o dia 08/03/2018. Os valores apresentados nas curvas da Figura 5.21 são resultados da divisão dos valores medidos no período pelo maior valor registrado, uniformizando os dados para serem plotados em único gráfico. Este dia teve a característica de ser nublado e com ocorrência de chuva no período da tarde, foi observado que durante a maior parte do período de geração, a energia gerada teve baixo fator de potência  $F_p$ .

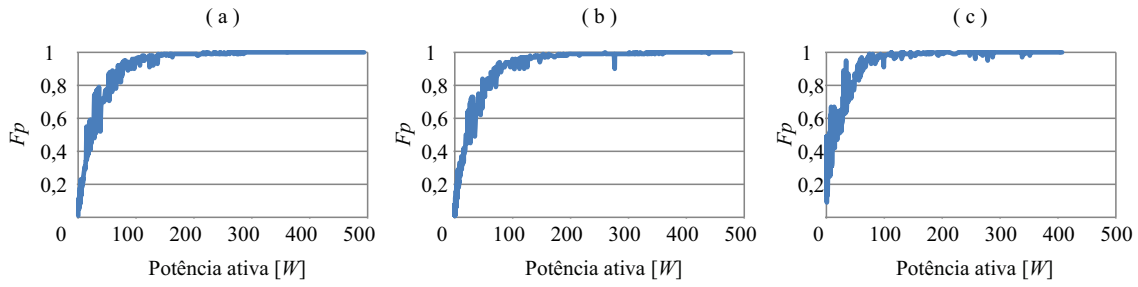


Figura 5.20 - Curva da energia ativa  $\times$  fator de potência na: (a) Casa 1, (b) Casa 2 e (c) Casa 3.

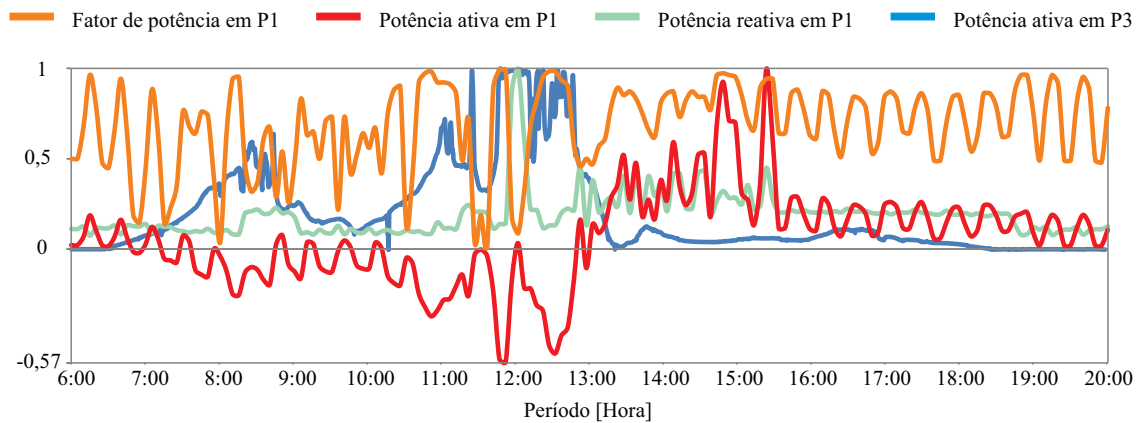


Figura 5.21 - Características elétricas da Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso.

A Figura 5.21 foi apresentada separada para realizar análise sem a uniformização, na qual a Figura 5.22 apresenta as curvas da potência ativa da Casa 1 medido no ponto  $P_3$  da Figura 5.4, injetada pelo sistema fotovoltaico durante o dia 08/03/2018. A Figura 5.23 apresenta a curva do fator de potência da Casa 1 medido no ponto  $P_1$  durante o dia 08/03/2018. Foram observados momentos onde o fator de potência medido era igual a zero. Foi observado ainda que a potência ativa em  $P_1$ , Figura 5.24, a geração fotovoltaica também passava pelo valor zero. A Figura 5.25 apresenta a curva da potência reativa da Casa 1 medido no ponto  $P_1$  durante o dia 08/03/2018.

## 5.6 Comentários

A primeira problemática da realização da parte experimental deste trabalho foi encontrar as famílias voluntárias que atendessem aos requisitos mínimos, pois a maioria das famílias no residencial escolhido não utilizavam o aquecimento solar para água. O acesso a internet foi incluído às exigências iniciais, pois não estava disponível em todas as casas e durante a pesquisa ocorreu caso em que houve a

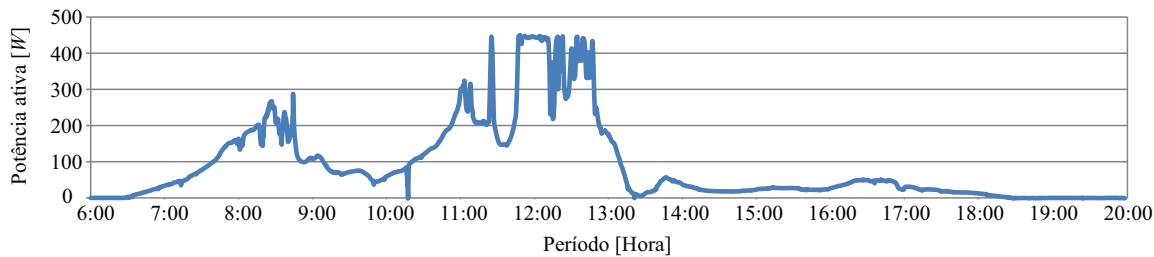


Figura 5.22 - Característica da **geração fotovoltaica** na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso.

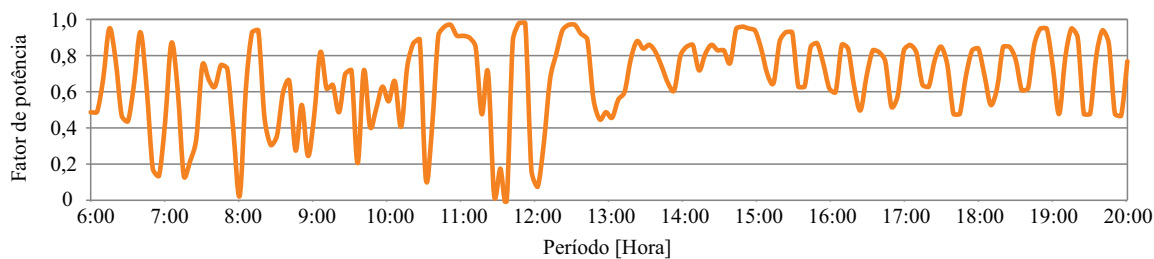


Figura 5.23 - Característica do **fator de potência** na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso.

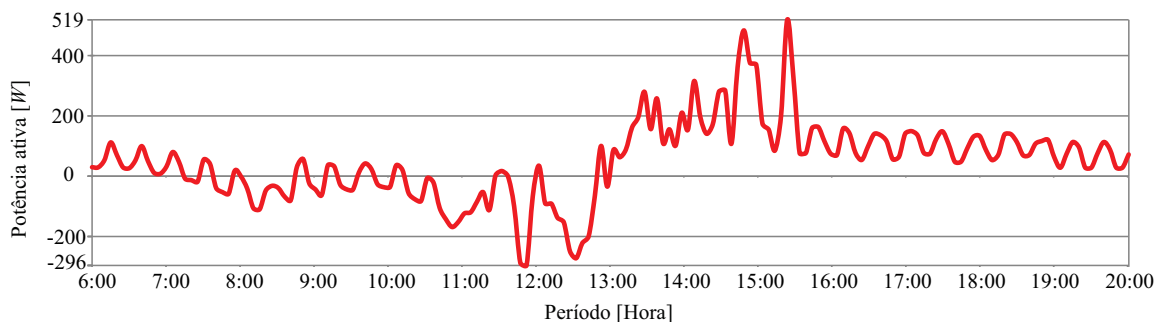


Figura 5.24 - Característica do **potência ativa** na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso.

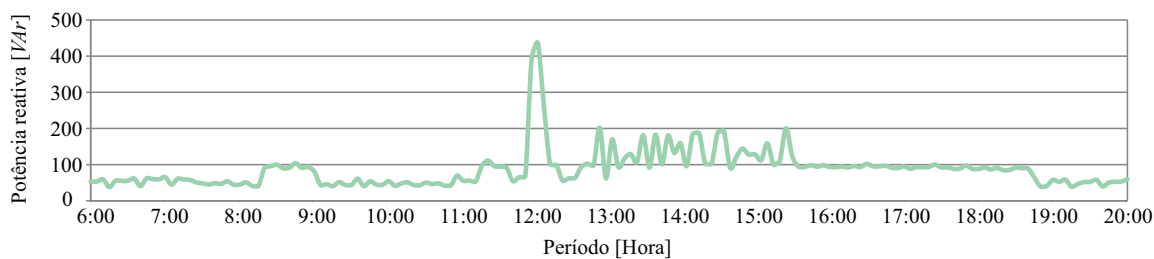


Figura 5.25 - Característica do **potência reativa** na Casa 1 em 08/03/2018, no período diurno nublado e chuvoso.

necessidade de pagar pela reativação do serviço, pois o morador não tinha condições financeiras para manter a internet. O formato para realizar a coleta dos dados é fato a ser destacado, pois dentro da rotina diária que não poderia ser alterada, haviam casos em que a família trabalha a noite e dormia até tarde, outra que só tinha o horário do almoço disponível e ainda houve casos em que a visita de monitoramento dos equipamentos teria que ser realizada por mulher, pois somente meninas ficavam durante o dia na casa.

O equipamento para medir o consumo de água não contava com acesso remoto e para monitorar todos os eventos sem perda de registros as coletas locais eram frequentes. Várias visitas ocorreram para correção das falhas identificadas pelos moradores através do aviso luminoso presente no equipamento. Para a instalação dos equipamentos de medição, adaptações foram necessárias e ajustadas ao longo da pesquisa, pois não havia previsão inicial para esta finalidade e ao final da pesquisa a casa deveria ser entregue em ordem.

Ao analisar os dados, surgiram dúvidas acerca das interrupções registradas durante o banho, houve necessidade de estabelecer critérios para definir se a interrupção era referente a continuidade do mesmo banho ou se outra pessoa iniciou novo banho, desta forma foi adotado o parâmetro de intervalo limite de 30 segundos como limiar para considerar o início de novo banho. A compatibilização dos dados coletados do consumo de água e energia elétrica serviam para identificar erros quanto ao cumprimento das instruções de utilização, ocorreram eventos em que o usuário ligou o chuveiro elétrico indevidamente e este evento teve que ser descartado da análise do período. Houve casos em que foi necessário o corte do circuito de alimentação do chuveiro elétrico para evitar o acionamento por parte de usuários que insistiram em descumprir as instruções.

As ações de eficiência energética implementadas em habitação popular em Goiás, principalmente em relação à geração fotovoltaica, proporcionaram redução no consumo médio de 145,0 *kWh* para 55,5 *kWh* por casa, redução de 61,7% (AGEHAB, 2017). Isto corresponde a economia de U\$20,42 por mês por casa. Nos casos de associação de tecnologias fotovoltaicas e aquecimento solar, observa-se que se o investimento total for aplicado somente na geração fotovoltaica, o resultado econômico para o usuário será maior. De acordo com a metodologia proposta pela UNFCCC (2006) e os dados do MCTIC (2016) de 0,0927tCO<sub>2</sub>/MWh, com o sistema fotovoltaico proposto tende a reduzir o impacto ambiental em aproximadamente 83,43kgCO<sub>2</sub> anuais por casa, baseado na geração média de 75kWh/mês ou 0,9MWh/ano.

Considerando o consumo de energia elétrica e água, bem como o custo do equipamento pelo tempo de vida útil, observa-se que a solução com menor custo por banho é a energia fotovoltaica associada ao chuveiro elétrico, resultado econômico favorável em relação ao aquecimento solar para água. O resultado foi determinado pelos fatores de volume médio de água usado em cada tecnologia, tempo médio de banho e tempo de vida útil do equipamento. O modelo de chuveiro elétrico apresentou menor vazão de água quando comparado às duchas utilizadas em sistemas de aquecimento solar para água. Na utilização do sistema fotovoltaico, a sobra da energia é aproveitada pela unidade consumidora e no caso do aquecimento solar para água o excedente produzido não é aproveitado.

Na avaliação do fator de potência, com os resultados dispostos na Tabela 5.23, em todos os cenários a Casa 3 apresentou os melhores índices e a Casa 2 os piores. Através das informações coletadas no questionário de hábitos, pode-se supor que a Casa 3 não possui equipamentos como microondas e computador, utiliza-se tanquinho para lavar roupa e a casa fica ocupada o dia todo. A Casa 2 não possui equipamento para lavar roupa e boa parte do dia a residência fica desocupada. O comportamento dos moradores e os equipamentos utilizados podem ser estudados com maior detalhe para identificar os fatores que influenciam no fator de potência destes sistemas elétricos.

Com a aplicação da metodologia proposta, foram obtidas as medições investigativas e detalhadas do consumo de água e de energia elétrica dos usuários de baixa renda, possibilitando a análise dos dados coletados, verificação dos impactos e as economias proporcionadas com o uso das tecnologias de aquecimento solar para água, sistema fotovoltaico e lâmpadas de alta eficiência em habitações de interesse social.





## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

O principal objetivo desta pesquisa foi a análise do consumo de energia elétrica e água utilizando tecnologias sustentáveis instaladas em habitações populares e as interferências provocadas no sistema de fornecimento de energia elétrica. O *retrofit* do sistema de iluminação, substituindo as lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas com diodo emissor de luz demonstrou que é viável, pois tomando como referência a potência de 60W da iluminação incandescentes e substituindo dois modelos de lâmpadas LFC (D e E) por respectivamente outros dois modelos de lâmpadas LED (I e J), observa-se que as lâmpadas com diodo emissor de luz apresentam consumo inferior de energia elétrica em função dos valores obtidos por outros modelos. Tem-se ainda baixo índice de distorção harmônica de corrente inserido na rede. Ressalta-se a importância da certificação, pois dentre os modelos analisados a lâmpada certificada atendeu aos limites harmônicos e possuiu a melhor eficiência luminosa.

Diante dos resultados obtidos pela análise comparativa dos impactos da adoção de tecnologias que visam inicialmente a redução do consumo de energia elétrica, quando da utilização do sistema de aquecimento solar para água em comparação ao chuveiro elétrico, observou-se aumento do consumo de água e do tempo de duração do banho. Destaca-se a importância da promoção de ações de conscientização quanto ao uso racional junto às comunidades que recebem os sistemas de aquecimento solar para água.

A implantação do sistema fotovoltaico para atendimento à demanda do chuveiro elétrico se destacou como solução que proporciona melhor custo benefício, maior economia tanto no consumo de energia elétrica quanto no consumo de água. Neste contexto, este estudo buscou contribuir com a análise da implantação em moradias populares, sob a ótica da redução do consumo de insumos esgotáveis, buscando conscientizar e promover mudanças comportamentais das populações beneficiada a cerca dos problemas ambientais.

Avaliando o aspecto da qualidade da energia, foi observado que no cenário com o uso do sistema fotovoltaico conectado à rede de fornecimento de energia elétrica, apresentou resultados inferiores aos obtidos antes da sua implantação. O microinversor apresentou resultados desejados quanto a qualidade de energia, com fator de potência próximo a 1 na maioria da faixa de funcionamento, porém nos casos em que o sistema operou abaixo dos 20% da sua capacidade total de geração, baixos

índices do fator de potência foram registrados.

## 6.1 Contribuições do trabalho

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas as contribuições:

- Demonstrou a viabilidade da aplicação das tecnologias sustentáveis em habitações populares;
- Comprovou a eficiência de pequenos sistemas de geração fotovoltaica, oferecidos pelos programas públicos de incentivo às novas tecnologias;
- Demonstrou que/ a alternativa do uso da geração fotovoltaica em substituição ao aquecedor solar de água;
- Informou a importância na racionalização do uso da água e seu impacto financeiro, nas situações da adoção de sistemas sustentáveis que oferecem economia no consumo de energia elétrica;
- Apresentou a importância das certificações, parâmetros elétricos e lumino-técnicos ao adquirir modelos de lâmpadas de alta eficiência para a realização de *retrofit*.

As contribuições na forma de publicações de artigos:

- 1- Tsuruda, L. K., Alves, A. J., Vitor, L. R., Souza, M. B, e Calixto, W. P. Evaluations of energy efficiency and economic impact of the application of retrofit lighting in popular housing. In: Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2017 CHILEAN Conference on. IEEE, 2017.
- 2- Tsuruda, L. K., Vitor, L.R, Salles, D. M., Alves, A. J., Souza, M. B. S., e Calixto, W. P. Energy efficiency, rationalization of energy and water consumption in popular houses. In: Electric Power Engineering (EPE), 2017 18th International Scientific Conference on. IEEE, 2017. p. 1-6.
- 3- Tsuruda, L. K., Mendes, T. A., Vitor, L. R., Silveira, M. B. A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social. In: International workshop advances in cleaner production "Ten years working together for a sustainable future". São Paulo, Brazil, 2017.

- 4- Tsuruda, L. K., Vitor, L.R, Souza, M. B. S., Reis, M. R. C., Fonseca V. P. Y., Calixto, W. P. Evaluation of technologies to reduce energy and water consumption in popular housing. International Conference on Environment and Electrical Engineering, Palermo, Itália, 2018.

## **6.2 Continuação do trabalho**

Para a continuação do trabalho, deve-se considerar a inclusão de novas metodologias de coletas e dados adicionais, como: i) inserir sistema de comunicação de internet ao medidor de fluxo de água, ii) medir a temperatura da água na saída do chuveiro e iii) automatizar a disciplina dos usuários de forma que não saibam a tecnologia que está sendo avaliada.



## APÊNDICE A

### Questionário de hábitos

#### DADOS PESSOAIS

1- Morador / Entrevistado: \_\_\_\_\_

2- Endereço: \_\_\_\_\_

3- Contato: \_\_\_\_\_

4- Quantidade de moradores: \_\_\_\_\_

5- Data da entrevista: \_\_\_\_\_

Item	Morador	Grau de parentesco	Sexo	Idade	Quanto tempo reside na casa (anos)	Ocupação durante o dia na casa (horas)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

6- Relatar a flutuação da população durante a pesquisa como: i) ausência por períodos consideráveis devido a viagens, entre outros, ii) visitas frequentes / eventuais.

7- Quantidade de cômodos (incluindo banheiro): \_\_\_\_\_

8- Tipo do piso: \_\_\_\_\_

9- Tipo da cobertura: \_\_\_\_\_

10- Pavimentação asfáltica da rua: ( )Sim ( )Não

11- Possui muro: ( )Sim ( )Não

## CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA

- 12- Chuveiro: Quantidade \_\_\_\_\_ Modelo \_\_\_\_\_
- 13- Torneiras: Quantidade \_\_\_\_\_ Modelo \_\_\_\_\_
- 14- Bacia sanitária: Quantidade: \_\_\_\_\_
- Modelo: ( )Caixa alta ( )Caixa acoplada ( )Válvula de descarga
- 15- Tanquinho: Quantidade \_\_\_\_\_ Modelo \_\_\_\_\_
- Quantidade de lavagem por semana ( )1 ( )2 ( )3
  - Reutiliza água ( )Sim ( )Não Onde? \_\_\_\_\_
- 16- Máquina de lavar roupa: Quantidade \_\_\_\_\_ Modelo \_\_\_\_\_
- Quantidade de lavagem por semana ( )1 ( )2 ( )3
  - Reutiliza água ( )Sim ( )Não Onde? \_\_\_\_\_
- 17- Quantidade de limpezas na casa por semana: ( )1 ( )2 ( )3
- 18- Abastecimento de água: ( )Rede pública ( )Cisterna ( )Poço artesiano
- 19- Cortes no fornecimento de água: ( )Frequente ( )Raramente ( )Nunca
- 20- Aproveitamento de água da chuva: ( )Sim ( )Não Onde? \_\_\_\_\_
- 21- Equipamentos que ficam ligados na tomada (stand by): ( )Geladeira ( )TV ( )DVD ( )Som ( )Outros \_\_\_\_\_
- 22- Faz uso consciente da água: ( )Sim ( )Não
- 23- Faz uso consciente da energia elétrica: ( )Sim ( )Não
- 24- Conhece sistema fotovoltaico: ( )Sim ( )Não
- 25- Conhece o sistema de aquecimento para água: ( )Sim ( )Não
- 26- Conhece lâmpadas LED de alta eficiência: ( )Sim ( )Não

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR IEC 62116: 2012**–Procedimento de Ensaio Anti-ilhamento para Inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a rede elétrica. 2012. Publicação. 62

\_\_\_\_\_. **NBR 16149: 2013**–Sistemas fotovoltaicos (FV)–Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. 2013. Programa Brasileiro de etiquetagem. Etiqueta nacional de conservação de energia - ENCE. 62

\_\_\_\_\_. **NBR 16150: 2013**–Sistemas fotovoltaicos (FV)-Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. 2013. Procedimento de ensaio de conformidade. 62

\_\_\_\_\_. **NBR IEC 62560: 2013**–Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50V. 2013. Especificações de segurança. 44

\_\_\_\_\_. **NBR IEC/PAS 62612: 2013**–Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral. 2013. Requisitos de desempenho. 44

\_\_\_\_\_. **NBR 16274: 2014**–Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede–Requisitos Mínimos para Documentação. 2014. Ensaio de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho. 62

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. **Electric Power Systems Research**, Elsevier, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001. 48

ADEMARO, C. **Instalações elétricas** . São Paulo: Pearson Educación, 2009. 64, 67

AGÊNCIA GOIANA DE HABITAÇÃO. **Projeto Casa Solar**. Goiânia, 2017. 73, 75, 96

AGÊNCIA GOIANA DE REGULAÇÃO, CONTROLE E FISCALIZAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS. **RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 0090/2017, DE 23 DE MAIO DE 2017**. 2017. Dispõe sobre a proposta de reajuste tarifário da empresa Saneamento de Goiás S/A - SANEAGO. 56

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ATLAS da Energia Elétrica no Brasil**. Brasília, 2008. 25, 46, 47

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 414/2010**. Brasília, 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. 52

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 649, de 27 de fevereiro de 2015**. Brasília, 2015. Aprova o submódulo 6.8 dos dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET, que trata das Bandeiras Tarifárias e dá outras providências. 30

\_\_\_\_\_. **Capacidade de Geração no Brasil**. Brasília, 2017. 30, 31, 32, 48

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST)**. Brasília, 2017. Módulo 5: Sistemas de Medição. 50, 55

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 759, de 7 de fevereiro de 2017**. Brasília, 2017. 55

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 2.392, de 24 de abril de 2018**. Brasília, 2018. Estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das bandeiras tarifárias, de que trata o submódulo 6.8 do PRORET, com vigência a partir de maio de 2018. 55

ALBUQUERQUE, Á. R. **Fluxo de Caixa em Risco: uma nova abordagem para o setor de distribuição de energia elétrica**. IX Encontro Brasileiro de Finanças. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, set 2008. 29

ANEEL. **Por dentro da conta de luz**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016. 49, 50, 51, 55

ARVIZU, D.; BALAYA, P.; CABEZA, L.; HOLLANDS, T.; JÄGER-WALDAU, A.; KONDO, M.; KONSEIBO, C.; MELESHKO, V.; STEIN, W.; TAMAURA, Y.; XU, H.; ZILLES, R. Direct solar energy. In: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 35

ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA. **Solar Generation V-2008**. 2008. Electricidad Solar para Más de Mil Millones de Personas y dos Millones de Puestos de Trabajo para el Año 2020. 36



ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE GOIÁS. **LEI Nº 14.542, DE 30 DE SETEMBRO DE 2003**. 2003. Autoriza a concessão de crédito outorgado do ICMS nas operações internas, com mercadorias destinadas a construções vinculadas ao Programa Habitar Melhor e dá outras providências. 34

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 14.939, DE 15 DE SETEMBRO DE 2004**. 2004. Institui o Marco Regulatório da Prestação de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, cria o Conselho Estadual de Saneamento - CESAM e dá outras providências. 56, 58

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12086 - Chuveiros Elétricos. Verificação da Resistência ao Desgaste ou Remoção da Marcação**. Brasília, 1991. CB-3, 2p, (MB-3423). 46

\_\_\_\_\_. **NBR 12087 - Chuveiros Elétricos. Determinação da Potência Elétrica**. Brasília, 1991. CB-3, 2p, (MB-3424). 46

\_\_\_\_\_. **NBR 12088 - Chuveiros Elétricos. Determinação da Pressão Mínima de Funcionamento**. Brasília, 1991. CB-3, 2p, (MB-3425). 46

\_\_\_\_\_. **NBR 12089 - Chuveiros Elétricos. Determinação da Consumo de Energia Elétrica**. Brasília, 1991. CB-3, 3p, (MB-3426). 46

\_\_\_\_\_. **NBR 12090 - Chuveiros Elétricos. Determinação da Corrente de Fuga**. Brasília, 1991. CB-3, 2p, (MB-3427). 46

\_\_\_\_\_. **NBR 12269 - Execução de Instalações de Sistemas de Energia Solar que Utilizam Coletores Solares Planos para Aquecimento de Água**. Rio de Janeiro, 1992. CB-4, CE-04:011.03. 43

\_\_\_\_\_. **NBR 8193 - Hidrômetros taquimétricos para água fria**. Brasília, 1992. 57

\_\_\_\_\_. **NBR 15569 - sistema de aquecimento solar de água em circuito elétrico direto: projeto e instalação**. Brasília, 2008. 39

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Portal Abrava**. São Paulo, 2001. 34

BERMANN, C. **Energia no Brasil, Para que? Para quem?: crise e alternativa para um país sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002. 26

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. **New energy outlook 2016**.

London: Global overview, 2016. 13 p. 31

BRASIL. **LEI Nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Brasília: Presidência da

República - Casa Civil, 2002. 46

BRITO, M. A. D.; LUIGI, G.; SAMPAIO, L. P.; CANESIN, C. A. Avaliação das principais técnicas para obtenção de mppt de painéis fotovoltaicos. In: IEEE.

**Industry Applications (INDUSCON), 2010 9th IEEE/IAS International Conference on**. São Paulo, 2010. p. 1–6. 38

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. **Energia Fotovoltaica: conversão de energia**

**solar em eletricidade**. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2009. 36

BRUNDTLAND, C. Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento: o nosso futuro comum. **Universidade de Oxford. Nova Iorque**, 1987. 29

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PROJETO DE LEI Nº 478330, DE 02 DE**

**JULHO DE 2007**. 2007. Cria a obrigatoriedade de utilização como fonte subsidiária de energia, sistema de aquecimento solar de água em imóveis financiados com recursos do SBPE, FGTS, FAT e do OGU - orçamento geral da união e dá outras providências. 40

CARVALHO, D. A.; JACÓ, R.; BEGOTTO, R. A. O. **Otimização do uso da**

**água em domicílios de baixo custo**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2005. 26

CBCS. Eficiência energética e habitação de interesse social no estado de são paulo.

In: SUSTAINABLE SOCIAL HOUSING INITIAIVE. **Sumário Técnico**

**Resumido**. São Paulo: PNUMA, 2010. 25

CELG DISTRIBUIÇÃO S.A. **ITD-14 - Critérios de Análise de Projetos**

**Prediais**. Goiás, 2007. 62

\_\_\_\_\_. **NTC-71 Rev.2 - Requisitos para Conexão de Microgeradores e**

**Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D**. Goiás, 2016. 63

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO

BRITO. **Energia Solar Fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2014. 36

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA.  
**Chuveiro Elétrico como opção mais econômica para banho.** São Paulo:  
Poli - USP, 2009. 65

COÊLHO, A. C. Medição de água política e prática. In: **Medição de água política e prática.** Recife: Comunicarte, 1996. 57

CONGRESSO CONSTITUINTE. **Art. 149a da Constituição Federal do Brasil de 1988.** 1988. Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III. 51

\_\_\_\_\_. **Art. 155 da Constituição Federal do Brasil de 1988.** 1988. Compete aos Estados e ao Distrito Federal instituir impostos sobre: II - operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação, ainda que as operações e as prestações se iniciem no exterior. 51

CONGRESSO NACIONAL. **LEI Nº 8.631, DE 04 DE MARÇO DE 1993.** 1993. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências. 49

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995.** 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal e dá outras providências. 49

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 11.445, DE 05 DE JANEIRO DE 2007.** Brasília, 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis N<sup>os</sup> 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei Nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. 56

\_\_\_\_\_. **LEI Nº 12.212, DE 20 DE JANEIRO DE 2010.** Brasília, 2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétricas; altera as Leis N<sup>os</sup> 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. 52

CONSELHO DE ALTOS ESTUDOS E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA.  
**Energias Renováveis, riqueza sustentável ao alcance da sociedade.**  
Brasília: Câmara dos Deputados, 2012. 33

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **CONVÊNIO ICMS 16, DE 22 DE ABRIL DE 2015**. 2015. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. 34

DANTAS, C.; JR, L. U.; POTIER, A.; ILHA, M. Caracterização do uso de água em residências de interesse social em itajubá. **XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, Florianópolis, v. 11, 2006. 27

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR. **Produção de Coletores Solares para Aquecimento de Água e Reservatórios Térmicos no Brasil**. São Paulo, 2014. 40

DOWLING, K.; OHNO, Y.; BERGER, R. et al. Ies lm-79-08. **Approved method: electrical and photometric measurements of solid-state lighting products**, p. 10–16, 2007. 44, 66

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance**. Toronto, 2012. 61, 68, 72

ELETROBRAS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: ano-base 2005, classe residencial. Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, julho 2007. 48

\_\_\_\_\_. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, agosto 2011. 49, 51, 52

ENEL. **Tarifas, Taxas e Impostos**. Goiânia, 2018. Tabela Tarifária da Distribuição S.A. - Enel Distribuição Goiás. 51, 53, 54

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Global Market Outlook for Photovoltaics. 2013-2017**. Brussels - Belgium, 2013. 12–32 p. 48

FABRI, A. **Ecovilas: uma análise comparativa a partir das dimensões da sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. 29

FADIGAS, E. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. **Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo**, 2012. 36

FONSECA, I.; VEIGA, S. Cooperativismo: uma revolução pacífica em ação. **DP&A Editora**, Rio de Janeiro, 2002. 29

FONTES, I.; CAGNON, J. A.; BASTOS, F. M.; MALARA, M. C.; LANDREOLI, A. Desenvolvimento de um hidrômetro eletrônico de baixo custo. **Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP, Bauru, SP**, 2004. 57

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. **DECRETO Nº 6.276, DE 17 DE OUTUBRO DE 2005**. Goiânia, 2005. Regulamenta a Lei Nº 14.939, de 15 de setembro de 2004, que dispõe sobre a criação do Marco Regulatório da Prestação de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário e cria o Conselho Estadual de Saneamento - CESAN. 56

GREEN, M. A. **Third generation photovoltaics: advanced solar energy conversion**. Sydney: Springer Science & Business Media, 2006. 36

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W. Solar cell efficiency tables (version 32). **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Wiley Online Library, v. 16, n. 5, p. 435–440, 8 2008. 36

IEC. 61000-4-30. **Electromagnetic compatibility (EMC)-Part**, v. 4, 2003. 44

\_\_\_\_\_. 61000-3-2: 2004, limits for harmonic current emissions. **International Electromechanical Commission. Geneva**, 2004. 44

IEEE. IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. **New York, NY, USA**, 1993. 44

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento técnico metrológico para hidrômetros utilizados para medição de água fria**. 2000. Portaria Nº 246, de 17 de outubro de 2000. 58

\_\_\_\_\_. **Etiquetagem RESP/002-AAQ, Linha de aparelhos elétricos fixos de aquecimento instantâneo de água - Chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos**. Rio de Janeiro, 2005. Programa Brasileiro de etiquetagem. Etiqueta nacional de conservação de energia - ENCE. Rev.8. 46

\_\_\_\_\_. **Etiquetagem RESP/006-SOL, Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água**. Rio de Janeiro, 2005. Programa Brasileiro de etiquetagem. Etiqueta nacional de conservação de energia - ENCE. 43

\_\_\_\_\_. **Regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado a base.** 2014. Portaria Nº 389, de 25 de agosto. 44

\_\_\_\_\_. **Requisitos de avaliação da Conformidade para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado a base.** 2015. Portaria Nº 144, de 13 de março. 44

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technical Concepts and Process.** Sydney, 2008. 36

\_\_\_\_\_. **Clean Energy, and Energy Efficiency Deployment and Policy Progress.** Sydney, 2011. 33

KENNY, R. P.; VIGANÓ, D.; SALIS, E.; BARDIZZA, G.; NORTON, M.; MÜLLEJANS, H.; ZAAIMAN, W. Power rating of photovoltaic modules including validation of procedures to implement iec 61853-1 on solar simulators and under natural sunlight. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Wiley Online Library, v. 21, n. 6, p. 1384–1399, 2013. 37

KJÆR, S. B. **Design and control of an inverter for photovoltaic applications.** Aalborg, Denmark: Institute of Energy Technology, Aalborg University, 2005. 37

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 26, 48

LANGELLA, R.; TESTA, A.; ALII, E. IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. IEEE, 2014. 44

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2003. 40

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> para utilização que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil.** Brasília, 2016. 96

MINISTÉRIO DE ESTADO DAS CIDADES. **PORTARIA N 643, de 13 de novembro de 2017.** Brasília, 2017. 33, 40, 74

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudos da Demanda de Energia**. Brasília, 2016. Demanda de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética - EPE. 46, 47

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília, 2016. 34, 73

\_\_\_\_\_. **NR 35 - Trabalho em altura**. Brasília, 2016. 34, 73

NERY, G. Protocolo de kyoto. **Democracia Digital e Governo Eletrônico**. Florianópolis, 2005. 29

OLIVEIRA, L. F.; FERREIRA, R. C.; ALMEIDA, R. A.; LOBATO, E. J. V.; MEDEIROS, A. M. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no Estado de Goiás. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, Directory of Open Access Journals, v. 28, n. 3, p. 406–416, jul./set. 2008. 26

OLIVEIRA, L. H.; SOUSA, L. C. de; SILVA, K. A. da; PAIXÃO, A. da. Caracterização do uso da água em habitações unifamiliares de interesse social. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Florianópolis, SC, 2006. 26

PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, SALVADOR, v. 149, p. 4–11, out 2006. SEI. 26

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 2010 world atlas & industry guide. In: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 33

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, S. L.; LIMA, F. J.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017. 25, 30, 31, 32, 35, 40, 41, 42, 43, 46

PEREIRA, E. M. et al. Energia solar térmica. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência–Cenergia, 2003. 39

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRAGEM DE DOMICÍLIOS. **Ocupação cresceu e rendimento ficou estável**. Rio de Janeiro: IBGE | Agência de Notícias, 2004. 48

\_\_\_\_\_. **População idosa cresce 16,0% frente a 2012 e chega a 29,6 milhões.** Rio de Janeiro: IBGE | Agência de Notícias, 2016. 48

PINHEIRO, P. C. d. C. **Análise comparativa dos sistemas de aquecimento de água residencial.** Belo Horizonte, 2006. 45

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar–GTES.** Rio de Janeiro: CEPEL–DTE–CRESESB, 2014. 35, 36, 39

PIOVESAN, F. **Direitos sociais, econômicos e culturais e direitos civis e políticos.** Emilio García Méndez, p. 20, 2004. 25

POZZEBON, F. B. **Aperfeiçoamento de um programa de simulação computacional para análise de sistemas térmicos de aquecimento de água por energia solar.** 2009. 41, 42

PRADO, R. **Gerenciamento da demanda e consumo de energia elétrica para aquecimento de água em habitações de interesse social.** Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. 26

PRESIDENTA DA REPÚBLICA. **DECRETO Nº 7.499, DE 16 DE JULHO DE 2011.** 2011. Regulamento dispositivos da Lei Nº 11.977, de 7 de julho de 2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida e dá outras providências. 71

\_\_\_\_\_. **DECRETO Nº 8.401, DE 04 DE FEVEREIRO DE 2015.** 2015. Dispõe sobre a criação da Conta Centralizadora dos Recursos de Bandeiras Tarifárias e altera o Decreto Nº 4.550, de 27 de dezembro de 2002, e o Decreto Nº 5.177, de 12 de agosto de 2004. 54

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água.** Brasília: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana, 1998. 27

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir.** In: **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir.** São Paulo: Vértice, 1986. 29

SUNKEL, O. **A sustentabilidade do desenvolvimento atual na América Latina. Razões e ficções do desenvolvimento.** São Paulo: Ed. UNESP: EDUSP, p. 267–309, 2001. 29



- THE DIPLOMAT. China: The green leap forward. In: **The diplomat emagazine**. Tokyo, 2015. 25
- THE ECONOMIST. Getting out of gas. In: **The Economist Newspaper Limited**. London: THE GUARDIAN, 2014. 25
- TSURUDA, L. K.; MENDES, T. A.; VITOR, L. R.; SOUZA, M. B. S. The importance of solar energy for sustainable and social development. In: ACPN. **6th International Workshop Advances in Cleaner Production on**. Goiânia, 2017. p. 212. 34
- TSURUDA, L. K.; RODRIGUES, L.; SALLES, D. M.; ALVES, A. J.; CALIXTO, W. P.; VITOR, L. R.; SOUZA, M. B. S. e. Energy efficiency, rationalization of energy and water consumption in popular houses. In: IEEE. **Electric Power Engineering (EPE), 2017 18th International Scientific Conference on**. Goiânia, 2017. p. 1–6. 25, 26, 27
- UDDIN, S.; SHAREEF, H.; MOHAMED, A. Power quality performance of energy-efficient low-wattage led lamps. **Measurement**, Elsevier, v. 46, n. 10, p. 3783–3795, 2013. 87
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources - Metodology ACM0002 Version 6. -**, 2006. 96
- VARELLA, F. K. d. O. M. et al. Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no distrito de barão geraldo-campinas. 2004. 39
- VERA, L. H. Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos. 2004. 38
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; FILHO, E. R. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. **IEEE Transactions on power electronics**, IEEE, v. 24, n. 5, p. 1198–1208, 2009. 38
- VIMIEIRO, G. V. Educação ambiental e emprego de equipamentos economizadores na redução do consumo de água em residências de famílias de baixa renda e em uma escola de ensino fundamental. **Belo Horizonte**, v. 106, 2005. 26
- YWASHIMA, L. A.; CAMPOS, M. A. S.; PIAIA, E.; LUCA, D. M. de; MARINA, S. d. O. Caracterização do uso de água em residências de interesse social em

Paulínia. **XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Florianópolis, v. 11, 2006. 27

## GLOSSÁRIO

***Data logger*** - é um coletor de dados também chamado de *datalogger* ou gravador de dados. É dispositivo eletrônico que registra os dados ao longo do tempo ou em relação a localização, construído com sensores externos. São baseados em processador digital com memórias internas para armazenamento de dados. São de uso geral para gama de aplicações em dispositivos de medição específicos, podem ser programáveis.

