



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

MATEUS DA SILVA TONON

**ANÁLISE DE CENÁRIOS UTILIZANDO FONTES DE
ENERGIA DE ORIGEM SOLAR EM CONSUMIDORES
DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA**

Ilha Solteira
2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MATEUS DA SILVA TONON

**ANÁLISE DE CENÁRIOS UTILIZANDO FONTES DE
ENERGIA DE ORIGEM SOLAR EM CONSUMIDORES
DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área do Conhecimento: Automação.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Borges de Souza

Ilha Solteira
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T666a Tonon, Mateus da Silva.
Análise de cenários utilizando fontes de energia de origem solar em consumidores do assentamento Estrela da Ilha / Mateus da Silva Tonon. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
105 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2016

Orientador: Júlio Borges de Souza
Inclui bibliografia

1. Energia solar. 2. Áreas rurais. 3. Retorno financeiro. 4. Assentamento Estrela da Ilha. 5. Fator de demanda rural. 6. Sistemas fotovoltaicos.

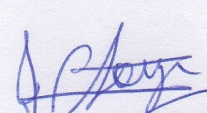
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

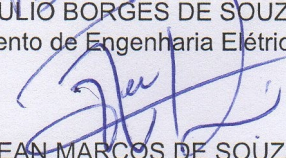
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DE CENÁRIOS UTILIZANDO FONTES DE ENERGIA DE ORIGEM SOLAR EM CONSUMIDORES DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA

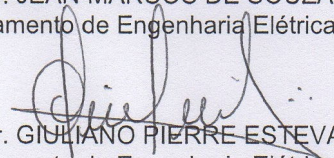
AUTOR: MATEUS DA SILVA TONON

ORIENTADOR: JULIO BORGES DE SOUZA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA ELÉTRICA, área: AUTOMAÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JULIO BORGES DE SOUZA
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JEAN MARCOS DE SOUZA RIBEIRO
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. GIULIANO PIERRE-ESTEVAM
Departamento de Engenharia Elétrica / FATEC Araçatuba

Ilha Solteira, 21 de outubro de 2016

Agradecimentos

A Deus, por me proporcionar a vida e saúde para realizar tudo que fiz até hoje em meu caminho.

A minha família, meus pais, Clóvis e Maria José, que nunca mediram esforços para oferecer o melhor para seus filhos, a minha avó, Laisse, e a meu irmão, Daniel. Por todo amor, carinho e educação, que me transformaram na pessoa que sou.

A minha namorada, Sirlene, pela ajuda, afeto e companheirismo durante essa etapa de minha vida.

Ao professor e orientador Júlio Borges de Souza, pela oportunidade e preocupação durante a realização deste trabalho.

Por fim, a todos aqueles que me auxiliaram de alguma forma na conclusão desta etapa de minha vida.

Resumo

O Brasil apresenta um cenário propício à utilização em larga escala das chamadas energias renováveis, tanto das provenientes de fontes solares quanto das de fontes eólicas. Ressaltando, ainda, o uso da biomassa como outra alternativa nacional na produção de energia elétrica, em especial a produzida pela queima do bagaço da cana-de-açúcar. Há uma ampla possibilidade de utilização dos sistemas que aproveitam a energia solar de alguma forma, aplicáveis aos setores residencial, comercial ou industrial. O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos ocasionados pelos usos de sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento de água, tanto na conta de energia elétrica como no sistema elétrico em si, na região do Assentamento Estrela da Ilha, em Ilha Solteira – SP. Para tal, foi necessário realizar um levantamento das características de carga das residências presentes no local. A metodologia aplicada nas avaliações de retorno financeiro dos projetos foi escolhida de modo a proporcionar que sua aplicação possa ser realizada por qualquer pessoa que se interesse em avaliar a viabilidade de projetos semelhantes em suas residências ou quaisquer estabelecimentos. No levantamento das características de carga do local houve a divisão em três faixas de consumidores, separadas pelo consumo bruto mensal. A faixa de 0 à 200 kWh apresentou um fator de demanda de 0,0577, a de 200,01 à 400 kWh um de 0,1271 e a de 400,01 kWh ou mais um de 0,1540. Nas avaliações de retorno financeiro nenhum dos sistemas propostos apresentou atratividade em seu custo-benefício final. No estudo do impacto ocasionado pelo uso de painéis fotovoltaicos, no sistema de alimentação presente, não houve mudança significativa no perfil de tensão dos secundários dos transformadores, mesmo quando do uso de altos percentuais de geração fotovoltaica. Essa não mudança deve-se ao fato do sistema rural, em estudo, não apresentar uma grande concentração de consumidores conectados a um mesmo transformador e tampouco uma carga tão diversificada nas residências do local.

Palavras-chave: Energia solar. Áreas rurais. Retorno financeiro. Assentamento Estrela da Ilha. Fator de demanda rural. Sistemas fotovoltaicos. Sistemas de aquecimento solar.

Abstract

The Brazil present an auspicious scenery in the massive scale use of renewable sources, thus the derived for solar sources as for wind sources. Emphasizing the use of biomass like a national alternative in the electrical energy production, specially when produced by the burn of the bagasse for sugar cane. There are great potentialities in the use of systems than exploit the solar energy by anyway and applicables to residential, commercial and industrial sectors. The aim of this work was evaluate the impacts of the use of photovoltaic systems and solar water heating systems, thus in the electrical energy bill as in the electrical systems itself, in the zone of Assentamento Estrela da Ilha located in Ilha Solteira – SP. A load basic features making was realized in the residences belong in local. The applied methodology for financial return evaluation of the projects was selected for propitiate that its application could be realized by any people who has concern in evaluated the avaiability of similar projects in his residences or any other establishments. There are a division of the consumers in 3 streaks after the load basic features making, separated by the monthly consumption. The streak of 0 to 200 kWh presents a demand coefficient of 0.0577, in the streak of 200.01 to 400 kWh a demand coefficient of 0.1271 and the streak of 400.01 kWh or more a demand coefficient of 0.1540. The financial return evaluations shows that none of the systems had attractive when compared cost and final gains. The impact study of the use of photovoltaic panels in the existent electrical grid shows no significant changes in transformers secondary voltage levels even when used high perceptuals of photovoltaic generation. This result for the system analyzed be a rural one where there are low conected consumers concentration in a same transformer and few diversity of load in the local residences.

Keywords: Solar energy. Rural zones. Financial return. Assentamento Estrela da Ilha. Rural coefficient demand. Photovoltaic systems. Solar water heating systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração básica de um sistema FV isolado.....	26
Figura 2 - Configuração básica de um SFCR.....	27
Figura 3 - Esquema simplificado de uma célula fotovoltaica.....	28
Figura 4 - Ilustração dos componentes (a) célula fotovoltaica, (b) módulo fotovoltaico e (c) painel fotovoltaico.....	30
Figura 5 - Diagrama da estrutura básica de um inversor.....	30
Figura 6 - Estrutura básica do Conversor Half-Bridge.....	31
Figura 7 - Estrutura básica do Conversor Full-Bridge.....	32
Figura 8 - Topologia do inversor central.....	38
Figura 9 - Topologia do inversor string.....	39
Figura 10 - Topologia do inversor multi-string.....	39
Figura 11 - Topologia do inversor com módulo CA.....	40
Figura 12 - Diagrama de blocos, componentes de um medidor inteligente.....	44
Figura 13 - Esquema de um sistema de aquecimento solar residencial.....	47
Figura 14 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 1.....	66
Figura 15 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 1, considerando a utilização do chuveiro elétrico.....	67
Figura 16 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 2.....	68
Figura 17 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 2, considerando a utilização do chuveiro elétrico.....	68
Figura 18 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 3.....	69
Figura 19 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 3, considerando a utilização do chuveiro elétrico.....	70
Figura 20 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores do assentamento, média geral.....	71
Figura 21 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores do assentamento, média geral, considerando a utilização do chuveiro elétrico.....	71
Figura 22 - Ambiente de trabalho do software PowerFactory. O circuito apresen-	

tado não se relaciona ao trabalho, sendo meramente para ilustrar a aparência de uma montagem.....	80
Figura 23 - Divisão em setores da planta elétrica do assentamento Estrela da Ilha. Em verde temos o setor 2, em laranja o setor 3, em azul o setor 4, em roxo o setor 5, os demais transformadores são integrantes do setor 1..	81
Figura 24 - Diagrama unifilar do setor 1.....	83
Figura 25 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 1 (parte 1).....	83
Figura 26 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 1 (parte 2).....	84
Figura 27 - Diagrama unifilar do setor 2.....	84
Figura 28 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 2 (parte 1).....	85
Figura 29 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 2 (parte 2).....	85
Figura 30 - Diagrama unifilar do setor 3.....	86
Figura 31 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 3 (ramo 1).....	86
Figura 32 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 3 (ramo 2).....	87
Figura 33 - Diagrama unifilar do setor 4.....	88
Figura 34 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho inicial).....	89
Figura 35 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1).....	89
Figura 36 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1-1).....	90
Figura 37 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1-2).....	90
Figura 38 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 2).....	91
Figura 39 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 2-1).....	91
Figura 40 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (tre-	

cho 2-2).....	92
Figura 41 - Diagrama unifilar do setor 5.....	93
Figura 42 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho inicial).....	94
Figura 43 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho 1).....	94
Figura 44 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho 2).....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de baterias recarregáveis.....	41
Tabela 2 - Equipamentos e suas respectivas potências.....	59
Tabela 3 - Distribuição dos consumidores do Assentamento Estrela da Ilha.....	62
Tabela 4 - Fatores de Demanda para os consumidores do Assentamento Estrela da Ilha.....	64
Tabela 5 - Tabela de resumo dos percentuais de consumo, sem e com o uso do chuveiro elétrico.....	72
Tabela 6 - Tempos médios de banho e aumento de consumo por faixa de consumidor.....	74
Tabela 7 - Economia média com o uso do SAS.....	75
Tabela 8 - Payback SAS nas residências da faixa 1 do assentamento, considerando 3 meses de uso do chuveiro elétrico.....	76
Tabela 9 - Avaliação do SAS, chuveiro 3 meses por ano.....	76
Tabela 10 - Avaliação do SAS, chuveiro o ano todo.....	76
Tabela 11 - Análise sistema fotovoltaico, exemplo.....	78
Tabela 12 - Viabilidade da unidade microgeradora.....	79

LISTA DE SIGLAS

a-Si:H	Sílicio amorfo Hidrogenado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BMU	Ministério do Meio Ambiente Alemão (Tradução)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre Índio e Gálio
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CRAS	Centro de Referência de Assistência Social
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
DRC	Duração relativa da transgressão de tensão crítica
DRP	Duração relativa da transgressão de tensão precária
DSSC	Dye Sensitized Solar Cells
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
FV	Fotovoltaicos
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEM	Interferência Eletromagnética
Li-ion	Íon de Lítio
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Tradução)
MME	Ministério de Minas e Energia
MST	Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra
NaNiCl	Cloreto de Níquel de Sódio
NiCd	Níquel-Cádmio
NiMH	Níquel-hidreto metálico
ONG	Organização Não-Governamental

ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
Pb-ácido	Chumbo-ácido
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Alcalina Recarregável de Manganês (Tradução)
SAS	Sistemas de Aquecimento Solar
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
Si-fitas	Silício crescido em fitas
SPMP	Seguidor de Ponto de Máxima Potência
TIR	Taxa Interna de Retorno
TR	Taxa Referencial
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
μc-Si	Silício microcristalino

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO.....	22
1.2	METODOLOGIA.....	22
1.3	A ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
2	AS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS	24
2.1	A ENERGIA SOLAR.....	25
2.2	OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	26
2.2.1	Células, módulos e painéis fotovoltaicos	27
2.2.2	O inversor	30
2.2.2.1	<i>A eficiência do inversor</i>	32
2.2.2.2	<i>Principais funções de controle incorporadas em inversores para SFCR</i>	33
2.2.2.3	<i>Classificações dos inversores</i>	36
2.2.3	As baterias	40
2.2.4	Controlador de carga	42
2.2.5	Os medidores	42
2.2.5.1	<i>Medidores inteligentes</i>	43
2.2.6	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	45
2.3	OS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS).....	45
2.3.1	Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar	48
3	ÁREA DE ESTUDO E SIMULAÇÕES	50
3.1	BREVE HISTÓRICO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA.....	50
3.2	O USO DAS SIMULAÇÕES NA ANÁLISE DE SISTEMAS ELÉTRICOS.....	51
3.2.1	Desvio de tensão	52
4	QUESTÃO FINANCEIRA E ANÁLISES UTILIZADAS	54
4.1	O VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	55
4.2	A TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	55
4.3	MÉTODO DO PAYBACK DESCONTADO.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58

5.1	O LEVANTAMENTO DOS DADOS DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA.....	58
5.2	DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO NO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA.....	64
5.3	ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO DOS SISTEMAS PROPOSTOS....	73
5.3.1	Análise dos Sistemas de Aquecimento Solar (SAS).....	73
5.3.2	Análise dos sistemas fotovoltaicos.....	77
5.4	SIMULAÇÕES DO IMPACTO DECORRENTE DO USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO PERFIL DE TENSÃO DOS TRANSFORMADORES.....	79
6	CONCLUSÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Energia (SEE) é um sistema de grande porte, no qual engloba-se desde as unidades geradoras, classicamente de grande porte e afastadas dos centros de consumo, até o consumidor final. Inúmeros componentes e serviços são utilizados nesse trajeto, sejam de natureza pública ou privada, dos quais deve-se ressaltar a comercialização da energia como o de maior interesse por parte da população de modo geral (WEEDY et al., 2012; CORDEIRO et al., 2010).

Outro aspecto do SEE é o fato que a propagação de falhas, sejam totais ou parciais, acontece de modo muito rápido. Independente das distâncias envolvidas, qualquer falha em uma unidade geradora ou no transporte da energia até o consumidor é sentida quase que imediatamente por este (REN; DOBSON, 2008; DOBSON; CARRERAS, 2007).

Pode-se dividir o SEE em três setores distintos, decorrentes de suas funções e características, são eles:

- **Geração** – Historicamente a geração de energia elétrica é realizada em usinas de grande porte, geralmente, afastadas dos grandes centros urbanos;
- **Transmissão** – Setor responsável pelo deslocamento de grandes quantidades de energia, feito em tensões de centenas de quilo volts, entre a Geração e os grandes centros consumidores;
- **Distribuição** – Responsável pelo deslocamento da energia dentro dos centros urbanos, feito em tensões de dezenas de quilo volts. Podendo ser reduzidas para algumas centenas de volts no caso do abastecimento residencial, por exemplo.

A fim de garantir um funcionamento satisfatório, órgãos de fiscalização são criados pelos governos. No caso brasileiro os órgãos atuantes no setor elétrico são a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e o próprio Ministério de Minas e Energia (MME) (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA

ELÉTRICA – ANEEL, 2016).

A geração de energia elétrica no cenário mundial, no ano de 2012, era distribuída em: 67,2% da energia elétrica advinda de combustíveis fósseis, 16,9% de hidrelétricas, 10,9% de origem nuclear e 5% de outras fontes renováveis. É interessante destacar-se o investimento em fontes renováveis ocorrido de 2008 à 2012, antes responsável por 2,9% da produção de energia mundial e 4 anos depois saltou para 5%, com aumentos consideráveis nos percentuais de energia geradas por fontes eólicas e solares (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2016).

Impactos ambientais, significativos em termos globais, são provocados pelo uso intensivo de fontes de energia de origem fóssil. Em estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente Alemão (BMU) avalia que, do total de 1 trilhão de toneladas de CO₂ liberados à atmosfera, desde o início da industrialização, 80% ocorreram nos últimos 50 anos. Tal fato pode ter relação direta com a elevação da temperatura média do planeta, verificada no mesmo período, visto que o efeito do Dióxido de Carbono na atmosfera (efeito estufa) é bem conhecido (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE ALEMÃO – BMU, 2008).

No campo político-econômico, incertezas na disponibilidade de reservas futuras e instabilidades políticas em alguns países exportadores têm influenciado a alta dos preços da eletricidade produzida a partir de combustíveis fósseis. Com isso, muitos países têm buscado fontes alternativas de energia, que sejam, simultaneamente, abundantes, pouco agressivas ao meio ambiente e, principalmente, economicamente viáveis (BENEDITO, 2009).

O aproveitamento da energia solar se apresenta como uma excelente alternativa à iminente diminuição da produção de combustíveis tradicionais, atualmente um dos principais provedores energéticos do mundo. Convertendo-se apenas uma pequena fração da energia solar diária incidente sobre a terra em energia elétrica tais problemas energéticos poderiam ser mitigados, sendo uma energia gratuita, renovável e não poluente (DEMONTI, 1998).

A conversão fotovoltaica da energia solar, especialmente, nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), apresenta-se como opção a ser analisada. Em termos ambientais e técnicos, esses sistemas apresentam inúmeras vantagens em relação às fontes tradicionais. São capazes de produzir eletricidade

de forma silenciosa, sem emitir poluentes e aproveitando a energia solar incidente no próprio local da instalação. A energia gerada pode ser destinada ao consumo próprio e, quando excedente, podem ser injetados diretamente na rede elétrica de distribuição, visto que, tais sistemas não utilizam baterias para armazenamento da energia gerada (BENEDITO, 2009).

Os sistemas fotovoltaicos apresentam como vantagens: estarem disponíveis quase o ano todo, dado que seu combustível é a presença de sol, terem ausência de partes rotativas ou gerarem poluição, requererem pouca manutenção, possuírem longa vida útil, sendo facilmente expansíveis e realocáveis (PINHO; GALDINO, 2014). A integração dos painéis solares à arquitetura urbana não ocasionaria grandes transtornos, uma vez que os sistemas são de pequeno porte e potência, sendo muitas vezes do tipo modular, podendo ser instalados em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias, cada qual contribuindo com pequenas parcelas da energia total consumida. Por estarem instalados nos próprios locais de consumo estes sistemas reduzem as perdas na transmissão e como consequência reduzem os investimentos em novas linhas de transmissão (DEMONTI, 1998).

A tecnologia para obtenção de energia solar fotovoltaica está em constante aprimoramento. Existem vários estudos com a finalidade de obter a maior eficiência possível das células fotovoltaicas. Em 2010, por exemplo, engenheiros do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos EUA, descobriram que usando nanotubos de carbono é possível concentrar a energia solar 100 vezes mais do que uma célula fotovoltaica de silício é capaz de capturar (ARAMIZU, 2010).

Mesmo com tantas vantagens essas tecnologias ainda se apresentam economicamente não viáveis quando confrontadas com os sistemas tradicionais. Buscando contornar essa falta de competitividade, muitos países criam incentivos para a aquisição e produção de energia fotovoltaica. Esses mecanismos tem dado resultados, especialmente, em países europeus.

De acordo com Pascalicchio (2011) e Cunha (2011), vários países estabeleceram políticas para modernização de suas redes elétricas, adotando conceitos de Geração Distribuída (GD) e ampliação do uso de fontes de energia alternativas de carácter renovável. Podendo-se citar os Estados Unidos da América (EUA), que buscam uma maior segurança no fornecimento e suprimento de energia em virtude de ataques terroristas. A Comunidade Europeia, que em 2005 lançou seu

pacote de clima e energia (*climate and energy package*), visando uma redução de 20% nas emissões de CO₂, um aumento de 20% da eficiência energética e um incremento de 20% nas fontes de geração renováveis. Outros países que atualmente aplicam políticas análogas são: Alemanha, Austrália, Canadá, China, Espanha, Inglaterra, Itália, Japão e Portugal.

O SEE brasileiro é atípico quando comparado ao de países europeus, ao do Japão e até mesmo ao do EUA, onde grande parte da eletricidade é gerada a partir de fontes de energia não renováveis, pelo consumo de carvão ou material radioativo, em processos térmicos. Parte majoritária da energia elétrica consumida no território brasileiro é gerada a partir de fontes de energia renováveis, em usinas hidrelétricas. Complementarmente, há usinas termoelétricas à gás natural, normalmente, despachadas para compensar condições anômalas (BERMANN, 2008), como a baixa nos reservatórios ocorrida no ano de 2015.

O crescimento da demanda de energia elétrica projetado pela EPE em maio de 2010 foi de 5,1% ao ano no período de 2010-2019, o que torna necessário aumentar em, aproximadamente, 6300 MW de nova capacidade geradora ao ano. Os investimentos nesse período deverão ser totalizados em R\$ 214 bilhões, sendo R\$ 175 bilhões na geração e R\$ 39 bilhões na transmissão. A economia com eficiência energética representa o equivalente a evitar a construção de uma usina hidrelétrica de 5 GW. Aumentar a oferta de energia é a prioridade do planejamento do setor elétrico brasileiro (PASCALICCHIO, 2011).

O Brasil tem um cenário propício à utilização em larga escala das chamadas energias renováveis, tanto das provenientes de fontes solares quanto das de fontes eólicas, essa última aplicável, quase que restritamente, as regiões litorâneas do país. Ressaltando-se o uso da biomassa, como alternativa nacional na produção de energia elétrica, em especial a produzida pela queima do bagaço da cana-de-açúcar.

A utilização da energia solar traz benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes na atmosfera (TOLMASQUIM, 2012). Existe um grande leque de possibilidades a médio e longo prazo para aproveitamento dessa abundante forma de energia

renovável, que vai desde pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos até as grandes centrais que empregam energia solar concentrada. Porém, devido principalmente aos altos custos dos sistemas fotovoltaicos de produção de energia, hoje essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira. A energia solar térmica para aquecimento de água, de forma modesta, tem despertado interesse no mercado nacional, principalmente para o emprego entre as classes A e B da sociedade, na indústria e nos serviços de hotelaria (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO - CRESESB, 2006). No ano de 2001, quando a demanda por energia elétrica superou a oferta e houve a necessidade de racionar energia elétrica, o aquecimento solar de água experimentou um crescimento de 80% em relação ao verificado nos anos anteriores (ABRAVA, 2008).

Como citado anteriormente, a aplicabilidade dos sistemas que aproveitam a energia solar de alguma forma pode ser tanto nos setores residencial como comercial ou industrial. No setor residencial, ainda existem dois tipos bem distintos de consumidores: o residencial urbano e o residencial rural. As características de sistemas urbanos diferem consideravelmente dos sistemas rurais, já que esses últimos não possuem, usualmente, uma grande concentração de consumidores conectados a um mesmo transformador e tampouco uma carga tão diversificada em suas residências individualmente.

O Brasil pode não estar preparado para aproveitar plenamente os SFCR. Tecnicamente, as experiências com esses sistemas desenvolvidas nacionalmente permitem assegurar o domínio da tecnologia e a sua melhor configuração de acordo com os mais variados climas. No entanto, os investimentos no setor são muito baixos, e geralmente, ligados a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) realizados por universidades, centros de pesquisa e concessionárias de energia, com uma tímida participação da iniciativa privada. Para se ter uma ideia, entre 1995 e 2009, foram instalados 39 SFCR em território brasileiro, dos quais restam 35 em operação, totalizando 161,32 kWp, enquanto nos países membros do *Photovoltaic Power Systems Programme* (PVPS), a potência acumulada em SFCR, ao final de 2008, era de 12,7 GWp (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2009).

Dos 35 SFCR em operação no Brasil, 15 foram implementações de universidades e centros de pesquisa, com recursos de P&D disponibilizados por

órgãos estaduais, federais e mesmo internacionais. Outros 12 foram projetos de concessionárias de energia, com o apoio técnico de universidades. Dos restantes, 5 foram instalados por empresas privadas ligadas à energia solar, 2 foram financiados por pessoas físicas em suas residências particulares e 1 por uma organização não-governamental (ONG) (BENEDITO, 2009).

A regulação de instalação e operação de SFCR é feita pelo PRODIST desde 17 de abril de 2012, pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. É permitido o uso de qualquer fonte renovável, desde uma microgeração distribuída (potência instalada até 75 quilowatts) até uma minigeração distribuída (potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, 3 MW para a fonte hídrica). Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes, válidos por 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento da mesma distribuidora (ANEEL, 2016).

A aplicabilidade de simulações na análise de circuitos elétricos, seja focado na Geração, Transmissão ou Distribuição, é amplamente utilizado na avaliação de projetos (MARINI; ROSSI, 2005). Vários *softwares* são utilizados nessas análises, onde podem-se citar algumas iniciativas em *softwares* como FVCONNECT, desenvolvido por Krenzinger et al. (2007) em sequência a outros estudos, o System Dynamics usado por Porras et al. (2016) e em outros trabalhos citados pelo mesmo, *softwares* privados como Matlab/Simulink, usado por Mikati et al. (2012) e o DIgSilent PowerFactory.

Estudos semelhantes ao realizado nesse trabalho, como os de Demonti (1998), Benedito (2009) e Aramizu (2010) são realizados com relação às tarifas de consumidores urbanos e, usualmente, em capitais ou grandes cidades brasileiras. Quando há trabalhos avaliando o uso de sistemas fotovoltaicos em áreas rurais, como é o caso de Marini (2001), Giampietro e Racy (2004), Vanni (2008) e Silva et al. (2012), de maneira geral, há uma comparação do uso dos mesmos em detrimento ao sistema tradicional, sendo realizados para comunidades isoladas e que não possuem eletrificação.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi, com base no sistema do assentamento Estrela da Ilha, área rural do município de Ilha Solteira – SP, e nas características de carga das residências presentes no local, as quais foram levantadas como parte do trabalho realizado, avaliar o uso de sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento de água e os impactos ocasionados pelos mesmos, tanto na conta de energia elétrica como no sistema elétrico em si. Na metodologia aplicada às avaliações de retorno financeiro buscou-se aliar eficácia e simplicidade. Para, eventualmente, ser aplicada por qualquer pessoa que se interesse em avaliar a viabilidade de projetos semelhantes em suas residências ou quaisquer estabelecimentos, ou ainda, em decorrência de alguma mudança no cenário, mudança considerável de preços, ou algum incentivo governamental futuro.

1.2 METODOLOGIA

Primeiramente, levantaram-se dados referentes ao consumo de energia elétrica dos consumidores rurais residentes no assentamento Estrela da Ilha, que foi objeto de estudo para as análises que se seguiram. Os dados foram agrupados em três faixas distintas buscando preservar ao máximo as características de consumo de cada uma, e por fim gerou-se uma característica de consumo média representando os consumidores rurais presentes no assentamento globalmente.

A partir das características levantadas, avaliou-se a utilização de equipamentos de aquecimento de água e painéis fotovoltaicos, tomando-se como aspecto primário o retorno financeiro subsequente dos montantes que devem ser investidos em tais projetos, visto que esses equipamentos tem por finalidade amortizações futuras nas contas de energia elétrica.

Por fim, o sistema elétrico do assentamento foi simulado em sua situação atual, sem fontes distribuídas de geração de energia elétrica, utilizando-se o software PowerFactory, usado em simulações de sistemas elétricos. Em seguida, utilizando de fontes distribuídas, espalhadas arbitrariamente pelos lotes do assentamento,

repetiu-se as simulações a fim de avaliar o impacto que tais equipamentos acarretariam nos perfis de tensão dos transformadores.

Desejava-se realizar as avaliações de impacto em situações nas quais houvesse rentabilidade no aspecto financeiro previamente calculados, no entanto, tais situações não ocorreram devido, principalmente, ao carácter tarifário aplicado aos consumidores da classe avaliada. Os cenários usados para a avaliação de impactos foram simulados de maneira a abranger a faixa das mais prováveis situações de implementação.

1.3 A ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado em 6 capítulos. No primeiro capítulo foi realizada uma introdução aos temas estudados buscando apresentar o leitor aos principais tópicos e situando o trabalho no contexto.

No Capítulo 2, são apresentadas informações importantes relacionadas as fontes de energia renováveis, em especial as de origem solar. Os assuntos abordados são os sistemas fotovoltaicos e os sistemas de aquecimento solar, sendo apresentados seus principais componentes e características.

No Capítulo 3, há uma explanação da área de estudo, com um breve histórico sobre a mesma, e a apresentação do *software* utilizado. No Capítulo 4, são explicados os termos e métodos utilizados nos cálculos de retorno financeiro adotados.

No Capítulo 5, apresentam-se os resultados obtidos durante o decorrer do trabalho. E finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões pertinentes, obtidas através do trabalho desenvolvido.

2 AS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

A definição de fontes de energia renováveis é dada em decorrência do carácter perpétuo das mesmas. São elas a energia geotérmica, hidráulica, solar, eólica e os biocombustíveis. Outra maneira de analisá-las seria partindo das fontes de energia não renováveis: carvão, petróleo, gás natural e urânio (energia nuclear), as quais são materiais finitos no planeta (VICHI; MANSOR, 2009).

Com o aumento da demanda energética, somada à possibilidade de redução da oferta de combustíveis fósseis e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente impulsionou a pesquisa e desenvolvimento, por parte da comunidade científica, de fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB, 2006).

No caso brasileiro, além do não explorado potencial hidráulico, observa-se um grande potencial nas energias solares e eólicas. O país possui uma tecnologia para a utilização do álcool, que foi e é muito promissora, na geração de energia mecânica para a movimentação dos veículos no país, ainda considerando o ciclo de produção do álcool, vê-se hoje uma produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar em muitas das usinas sucroalcooleiras desse setor (GIAMPIETRO; RACY, 2004).

Os grandes problemas hoje para o uso intensivo das energias renováveis dos tipos solar e eólica, vem dos altos custos na sua captação, painéis/aerogeradores e inversores, além de seu carácter intermitente. Buscando aproveitar seus potenciais da melhor maneira possível, a partir dos conceitos de GD, implicaria em uma reestruturação completa do sistema legado. Tal afirmação decorre da necessidade de conexão com o sistema elétrico, utilizando essas fontes quando as mesmas estiverem disponíveis e deixando para a Geração Centralizada (GC) suprir as demais situações (MIKATI et al., 2012).

Alternativamente, pode-se valer dos sistemas isolados na utilização dessas fontes, empregando baterias para armazenar essa energia produzida de maneira intermitente. No entanto, essa solução também apresenta agravantes, em especial, os custos dos outros equipamentos envolvidos, tais como inversores e controladores

de carga, e as questões ambientais dos descartes das baterias após o final de sua vida útil, segundo o Pinho e Galdino (2014), hoje em torno de 20 à 25 anos.

Uma outra aplicação da energia solar são os chamados Sistemas de Aquecimento Solar (SAS), usados especialmente no aquecimento de água para banho. Sua vantagem em relação aos sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica é o fato de serem uma tecnologia mais simples e de domínio nacional, tornando-o mais viável ao cenário brasileiro. Tais sistemas são constituídos basicamente por um reservatório para armazenamento da água aquecida e um painel constituído de tubos para circulação de água e aquecimento da mesma (MARTINS; PEREIRA, 2011).

2.1 A ENERGIA SOLAR

A incidência de energia solar sobre o planeta é 166 PW, dos quais 30% são refletidos de volta para o espaço e 19% são absorvidos pelas nuvens, deixando um total de 85 PW que podem ser absorvidos por coletores solares sobre a superfície do planeta. Considerando que o consumo de energia mundial se encontra em torno de 15 TW, temos ao nosso dispor uma fonte de energia mais de 5000 vezes superior ao consumo mundial (ABBOTT, 2010).

O aproveitamento da energia solar, inesgotável na escala de tempo terrestre, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Deve-se lembrar de que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra, ou seja, as fontes de energia são derivadas, em sua maioria, da ação do sol (PINHO; GALDINO, 2014).

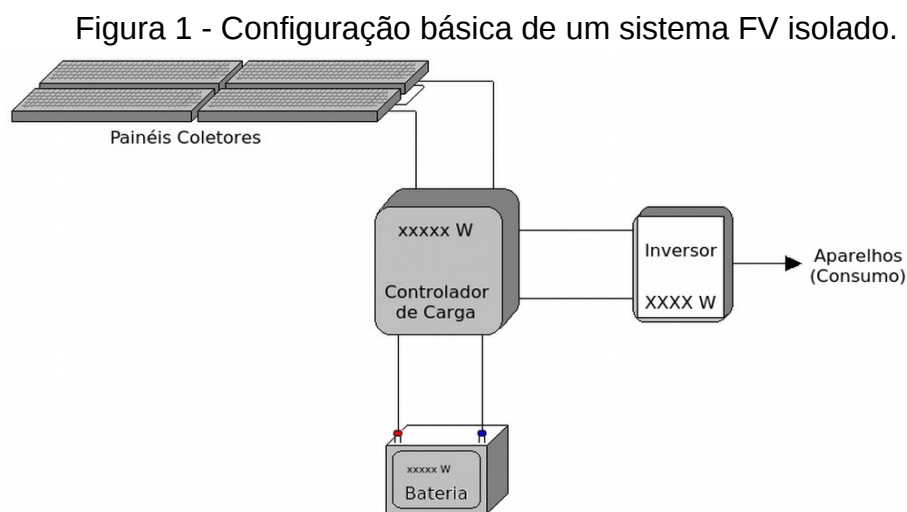
O Brasil possui um grande potencial de produção de energia de fontes solares, devido ao fato do país ser majoritariamente de clima tropical, tendo um índice de radiação solar global horizontal mínimo de 5,2 kWh/m², referente as áreas da Região Sul do país, que por sua vez se localizam na zona temperada sul do planeta. Esse mínimo é superior ao melhor índice de radiação solar global horizontal da Alemanha, cerca de 3,6 kWh/m², que é atualmente o país que mais investe nesse tipo de

geração, produzindo por volta de 34 TWh/ano de energia elétrica, tendo cerca de 4,2% da extensão territorial brasileira (BURGER, 2014).

2.2 OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos (sistemas FV) podem ser classificados em dois tipos: Sistemas FV Isolados e os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR).

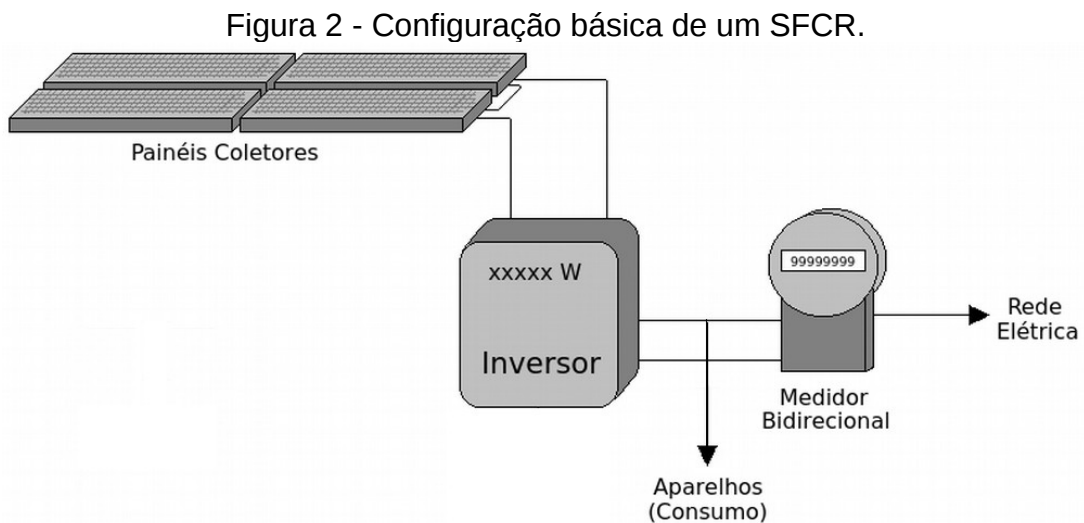
Os sistemas FV isolados são caracterizados por não estarem conectados à rede elétrica, abastecendo as cargas localmente. São utilizados, principalmente, para atender um propósito específico, como atender locais remotos, sendo a maneira mais econômica e prática de fornecer energia nesses lugares. É composto por painéis solares, controladores de carga, baterias e inversores. Por não estarem conectados à rede de energia elétrica, a energia produzida tem que ser armazenada nas baterias, o que garante o abastecimento em períodos sem sol. Os controladores de carga são responsáveis pelo correto abastecimento das baterias, evitando sobrecargas e grandes descargas, aumentando sua vida útil. Os inversores são responsáveis por transformar a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) e elevar a tensão a níveis adequados (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Na Figura Erro: Origem da referência não encontrada, apresenta-se um sistema FV isolado.



Fonte: Adaptado de Villalva e Gazoli (2012).

Os SFCR são caracterizados por integrar o sistema FV com a rede elétrica de abastecimento de energia. Sua principal vantagem, em relação aos sistemas

isolados, é o não uso de baterias e controladores de carga, garantindo uma maior eficiência e a certeza que toda a energia será utilizada, seja local ou remotamente. É composto por painéis solares, inversores e medidores bidirecionais. Aos inversores de SFGR são atribuídas, não só a transformação da corrente contínua em alternada e a elevação da tensão, mas também a sincronização do sistema com a rede elétrica, o que exige uma maior tecnologia aplicada nos mesmos (PEREIRA; GONÇALVES, 2008). Na Figura 2, apresenta-se um SFGR básico.



Fonte: Adaptado de Villalva e Gazoli (2012).

2.2.1 Células, módulos e painéis fotovoltaicos

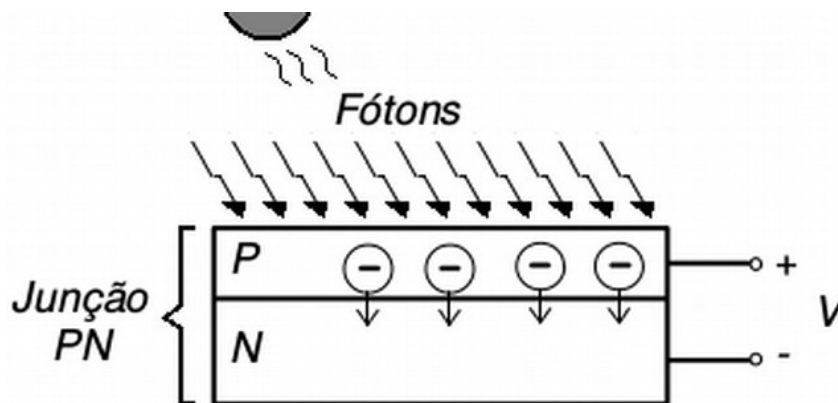
A descoberta do fenômeno de conversão fotovoltaica remonta ao século XIX, quando, em 1839, Alexandre-Edmond Becquerel percebeu que uma solução de um eletrólito com eletrodos de metal tinha sua condutividade aumentada quando exposta a radiação luminosa. Em 1873, Willoughby Smith descobre a fotocondutividade do selênio sólido. Em 1876, Adams e Day percebem que uma junção de selênio e platina desenvolve o efeito fotovoltaico quando exposta a luz solar. O desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores, século XX, tornou possível o crescimento da indústria fotovoltaica. Sua expansão no mercado mundial foi acelerada com a utilização desta tecnologia em aplicações aeroespaciais, militares e, posteriormente, para geração de eletricidade, tanto na forma distribuída

como em grandes centrais (ZILLES et al., 2012).

O efeito fotovoltaico, que é a capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente e transformá-la em eletricidade, ocorre em certos materiais semicondutores. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas para a realização de trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõe os dispositivos de conversão fotovoltaica (ZILLES et al., 2012).

Uma célula fotovoltaica, apresentada na Figura 3, normalmente, é constituída por duas camadas de material semicondutor dopadas de maneiras opostas, uma grade de coletores metálicos, uma base metálica e uma camada de material antirreflexivo, necessária para aumentar a absorção de luz (GAZOLI et al., 2012).

Figura 3 - Esquema simplificado de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de Demonti (1998).

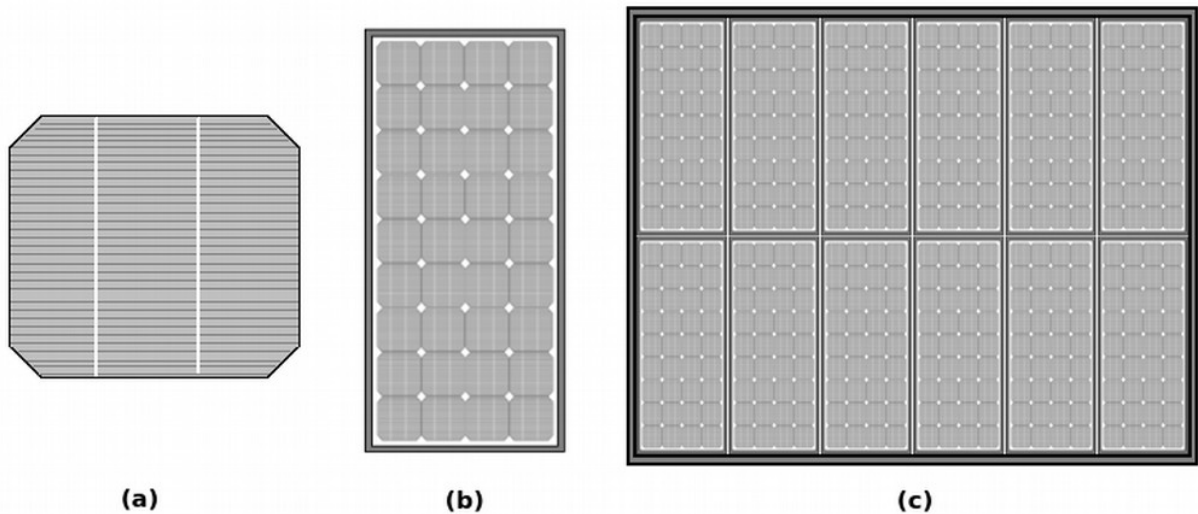
Nos últimos 60 anos, diversas tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas foram desenvolvidas. As células fotovoltaicas fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino dominam o mercado mundial atualmente, respondendo por 87,9% em 2011. As demais tecnologias comercializadas são baseadas em filmes finos de telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício microcristalino ($\mu\text{-Si}$) e silício crescido em fitas (Si-fitas). Células fotovoltaicas multijunção de alta eficiência, células baseadas em corantes (DSSC – Dye Sensitized Solar Cells) ou polímeros também estão sendo desenvolvidas (PINHO; GALDINO, 2014).

A eficiência de conversão de células fotovoltaicas pode chegar a até 30%,

porém, é muito dependente das tecnologias de manufatura das células. Comercialmente as eficiências das células fotovoltaicas costumam variar entre 10 e 15%, valores acima dessa faixa são, normalmente, obtidos apenas laboratorialmente ou em demonstrações controladas. Existem atualmente 3 tipos de células de silício, suas diferenças residem nos métodos de manufatura do silício, que altera a pureza final do mesmo, são elas: células de silício monocristalino com eficiência em torno de 15% (feita a partir de um entrelaçamento perfeito dos átomos de silício, obtendo a maior pureza possível e sendo o método mais caro), células policristalinas com eficiência entre 10 e 15% (feita a partir do embalamento aleatório de vários grãos de cristais únicos de silício, produção mais simples e barata que a monocristalina) e células de silício amorfo com eficiência entre 5 e 10% (feita a partir de silício com estrutura atômica desordenada depositado em camadas finas e cortadas a laser, utiliza menos material e tem, portanto, um custo menor, porém, sua eficiência diminui ao longo do tempo de exposição à luz) (HINRICHS et al., 2011).

Os módulos fotovoltaicos são conjuntos de células conectadas em série, a fim de obter a soma de suas tensões, para formarem uma unidade de tensão suficiente para o carregamento de baterias de 12 V de tensão nominal, por exemplo. Para obter essa tensão, já computado os efeitos de temperatura nos módulos (o aumento da temperatura provoca um pequeno aumento da corrente e redução da tensão), são necessários, pelo menos, 30 células de silício monocristalino conectadas em série (no ponto de máxima potência têm-se cerca de 0,5 V de saída por célula, aproximadamente). Comercialmente são produzidos módulos de 30, 32, 33 e 36 células em série, dependendo da aplicação. Os painéis fotovoltaicos são associações em série e paralelo dos módulos fotovoltaicos (TOLMASQUIM, 2003). Na Figura 4, apresenta-se uma ilustração que busca elucidar melhor os componentes descritos: células, Figura 4(a), módulos, Figura 4(b) e painéis fotovoltaicos, Figura 4(c).

Figura 4 - Ilustração dos componentes (a) célula fotovoltaica, (b) módulo fotovoltaico e (c) painel fotovoltaico.



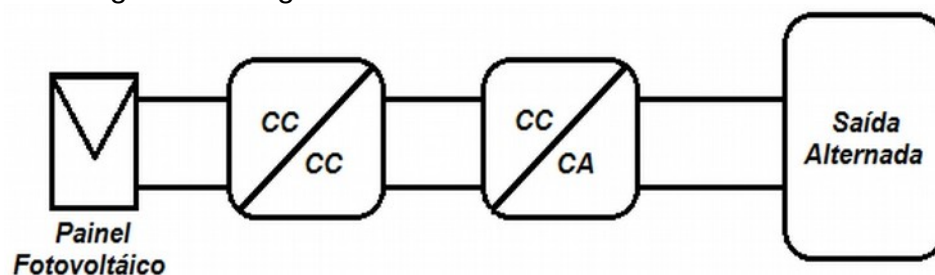
Fonte: Adaptado de Aramizu (2010).

2.2.2 O inversor

O inversor é um equipamento que tem como função básica obter uma forma de onda alternada, de valor médio nulo, simétrica em amplitude e frequência constante a partir de uma fonte contínua, seja esta de tensão ou corrente. Sendo, ainda, que os níveis de tensão, ou corrente, de saída podem ser fixos ou variáveis, tal como sua frequência de operação (MARTINS; BARBI, 2005).

Um inversor teria como estrutura genérica o casamento entre um conversor CC-CC e um conversor CC-CA, como apresentado na Figura 5. O conversor CC-CC atua basicamente como um amplificador a fim de tornar o nível de tensão (ou corrente) adequada para ser injetada no lado contínuo no conversor CC-CA.

Figura 5 - Diagrama da estrutura básica de um inversor.



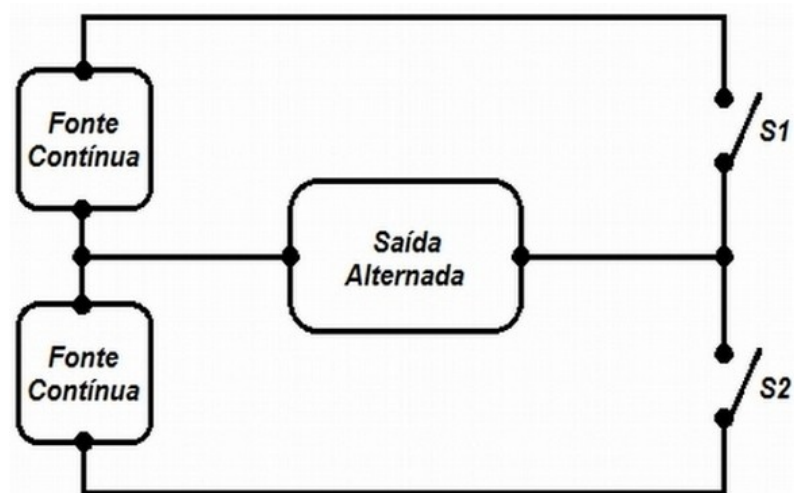
Fonte: Adaptado de Alves (2013).

Os conversores CC-CA utilizados em inversores de instalações fotovoltaicas utilizam como método de comutação das chaves a modulação em largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) em alta frequência, tanto para sistemas isolados quanto para sistemas conectados à rede. Esse método de modulação proporciona alto fator de potência e baixa distorção harmônica do sinal (MACÊDO, 2006).

O conversor *Half-Bridge*

O conversor *Half-Bridge* (Meia-Ponte, em português) também é chamado de conversor de ponto médio. Sua estrutura básica é apresentada na Figura 6. É o mais simples no aspecto construtivo, utilizando apenas duas chaves comandadas para a conversão contínua-alternada. Seu uso se limita, em geral, à aplicações em inversores de baixas potências, inferiores a 1 kW, pelo esforço implicado sobre as chaves semicondutoras. Outra desvantagem é a necessidade de sua tensão de entrada ser no mínimo duas vezes maior que a tensão de pico desejada na saída, implicando em esforços de tensão sobre as chaves (ALVES, 2013).

Figura 6 - Estrutura básica do Conversor *Half-Bridge*.



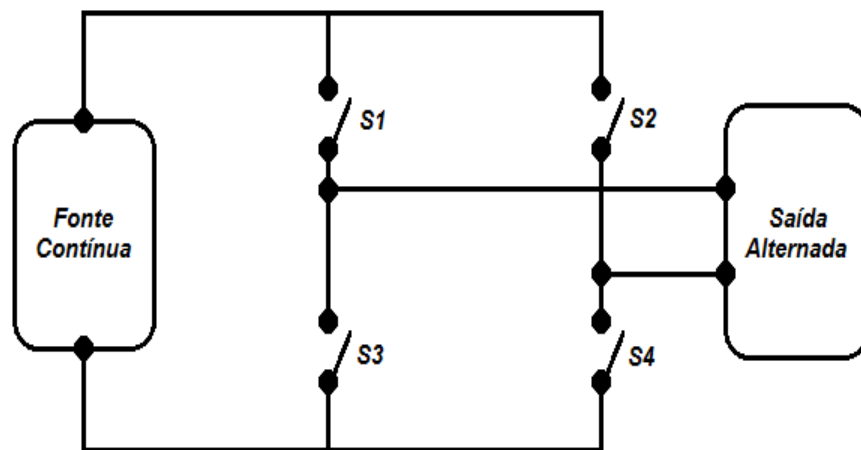
Fonte: Adaptado de Martins e Barbi (2005).

O conversor *Full-Bridge*

O conversor *Full-Bridge* (Ponte-Completa, em português) consiste de dois braços inversores compostos por um par de chaves comandadas cada. Sua estrutura é apresentada na Figura 7. É recomendado para altas potências, sendo

que o nível da tensão alternada de saída é elevado, em comparação com outras topologias monofásicas. Possui correntes de saída baixas, assim como as correntes nas chaves, o que caracteriza uma grande vantagem dessa estrutura. Se comparado com a estrutura de meia-ponte, para uma mesma potência, as correntes nos semicondutores para a estrutura de ponte-completa é da ordem de metade das correntes em meia-ponte. Como desvantagem deve-se citar o maior número chaves estáticas, que pode ocasionar um alto custo do conversor, dependendo da situação (MARTINS; BARBI, 2005).

Figura 7 - Estrutura básica do Conversor *Full-Bridge*.



Fonte: Adaptado de Martins e Barbi (2005).

2.2.2.1 A eficiência do inversor

A eficiência do inversor é definida como a razão entre a energia disponibilizada na saída (rede elétrica) do mesmo pela energia de entrada (advinda dos painéis).

A eficiência de conversão máxima do inversor é um valor de eficiência correspondente a um único ponto de operação específico, sendo um dado de pouca utilidade, dada a dependência da eficiência com o carregamento e com tensão de entrada. Nesse cenário a eficiência europeia quanto a eficiência californiana foram mensuradas no início dos anos 90 (PRIEB, 2011). Elas são ponderações da eficiência do inversor para diferentes potências, ou carregamentos (RAMPINELLI, 2010).

Hoje os catálogos, da maioria, dos fabricantes de inversores disponibilizam os

valores de eficiência de conversão máxima, eficiência europeia e eficiência californiana. As equações 1 e 2 apresentam essas duas últimas, respectivamente.

$$\eta_{EU} = 0,03\eta_{5\%} + 0,06\eta_{10\%} + 0,13\eta_{20\%} + 0,10\eta_{30\%} + 0,48\eta_{50\%} + 0,20\eta_{100\%} \quad (1)$$

$$\eta_{CA} = 0,04\eta_{10\%} + 0,05\eta_{20\%} + 0,12\eta_{30\%} + 0,21\eta_{50\%} + 0,53\eta_{75\%} + 0,05\eta_{100\%} \quad (2)$$

Sendo:

- $\eta_{X\%}$ a eficiência correspondente ao carregamento a X% da potência nominal do inversor.

Em termos climáticos o Brasil se aproximaria mais ao clima californiano. No entanto, a ausência de uma eficiência nacional padrão dificulta um pouco nas escolhas de módulos. Pinto Neto (2012) definiu uma eficiência brasileira, considerando os coeficientes de ponderação baseados no perfil de radiação solar nacional, representando a contribuição de cada faixa de irradiância da média nacional para a irradiação anual, obtendo o apresentado em (3).

$$\eta_{BR} = 0,02\eta_{10\%} + 0,02\eta_{20\%} + 0,04\eta_{30\%} + 0,12\eta_{50\%} + 0,32\eta_{75\%} + 0,48\eta_{100\%} \quad (3)$$

A Equação 3 apresenta um aspecto muito interessante do potencial nacional de energia fotovoltaica: 80% do peso ponderado se encontra nos coeficientes correspondentes a potência entre 75 e 100% de carregamento.

2.2.2.2 Principais funções de controle incorporadas em inversores para SFCR

Os inversores utilizados em SFCR compartilham as mesmos princípios gerais de funcionamento dos dispositivos utilizados em sistemas isolados, no entanto, os mesmo são dotados de características específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia

injetada na rede (PINHO; GALDINO, 2014). Os inversores utilizados em SFCR, atualmente, incorporam funções de controle que influenciam no funcionamento do sistema, dentre as quais estão: Seguidor do Ponto de Máxima Potência (SPMP) e a capacidade de se desconectar da rede (Ilhamento), em função das condições da mesma ou da irradiância incidente sobre os painéis do arranjo (RAMPINELLI, 2010).

Seguidor de Ponto de Máxima Potência (SPMP)

Ocorrendo uma irradiância uniforme, ou seja, não havendo pontos de sombreamento sobre a placa e não havendo células ou módulos defeituosos, ter-se-á apenas um ponto de máxima potência (ponto no qual o produto corrente x tensão tem seu seu valor máximo). Porém, os valores de corrente e tensão são altamente dependentes das condições de irradiância e da temperatura da célula, respectivamente. As variações de temperatura nas células são, geralmente, lentas, o que não ocorre com a irradiância, que pode apresentar mudanças consideráveis em curtíssimos espaços de tempo, em virtude de sombreamentos devido a passagem de nuvens, árvores e edificações próximas, folhas e dejetos de pássaros depositados sobre o módulo. Tais ocorrências provocam distorções na curva característica do gerador FV, criando máximos locais (PRIEB, 2011).

É de interesse que o sistema sempre opere no ponto de máxima potência disponível. O dispositivo responsável pela alteração do ponto de operação do gerador FV é o Seguidor de Ponto de Máxima Potência (SPMP). Para implementação do SPMP utiliza-se conversores CC-CC com algum método de seguimento embutido, seja um método direto (que utiliza medições em tempo real da corrente e tensão disponíveis na entrada do inversor) ou indireto (baseados, em sua maioria, em modelos matemáticos obtidos a partir de dados empíricos, que não abrangem todas as condições climatológicas possíveis) (PINTO NETO, 2012).

Existem diversos métodos de SPMP, e eles podem ser comparados em relação à precisão do rastreamento do ponto ótimo em regime permanente, à velocidade da resposta, à facilidade e ao custo de implementação. Até mesmo os métodos mais lentos possuem velocidade de rastreamento suficiente para a maioria das aplicações. O custo está emparelhado ao número de sensores, no entanto, a melhora da eficiência de rastreamento pode compensar o custo do maior número de

sensores em alguns casos (GALOTTO JUNIOR, 2011).

Mais detalhes sobre os métodos de SPMP podem ser encontrados nos trabalhos de Galotto Junior (2011) e Brito (2013), onde os mesmos avaliam até mesmo a diferença de desempenho dos métodos.

Ilhamento

A condição chamada ilhamento em um inversor SFCR, ou em qualquer GD de maneira geral, ocorre quando parte do sistema elétrico, que contém geração e carga, permanece isoladamente energizado no sistema. Tal ocorrência pode se originar de uma falha na geração central ou mesmo no transporte da energia. A operação em ilha pode originar graves problemas de segurança, em especial para a equipe de manutenção acionada em uma eventual falha, e deve ser evitada (PINTO NETO, 2012).

Existem diversos algoritmos de detecção de ilhamentos, que tem como função desconectar a GD da rede de distribuição, mesmo que tenha que desligá-la completamente, a fim de atender os requisitos de segurança e normas específicas da concessionária. Alguns inversores são dotados de sistemas de desacoplamento da rede, porém, são capazes de continuar alimentando as cargas locais (GALOTTO JUNIOR, 2011).

Segundo Gonçalves (2011) as técnicas de detecção de ilhamento podem ser remotas ou locais (as quais trabalham no ponto de acoplamento do gerador), e estas últimas se dividem em métodos passivos e ativos:

- Técnicas Remotas – a partir de sistemas de comunicação entre a subestação e os geradores distribuídos, quando da ocorrência de uma falha, que ocasione a saída da GC, a GD é desconectada. É um método muito eficiente, porém de custo muito elevado, e considerando a atual expansão dos sistemas de distribuição, pode se tornar inviável;
- Técnica Local: Métodos Passivos – a partir do monitoramento de sinais medidos na rede atuam quando da variação destes em uma contingência. São fáceis de implementar, no entanto, de pouca eficiência devido principalmente ao tempo de identificação de um ilhamento e suas zonas

escuras de detecção (quando a energia gerada é igual a energia consumida pelas cargas locais);

- Técnica Local: Métodos Ativos – operam a partir da injeção e monitoramento de pequenos distúrbios ou sinais na rede elétrica. Quando da ocorrência de umilhamento o comportamento desses sinais se altera, possibilitando sua identificação. São eficientes, porém, a injeção de distúrbios na tensão da rede provoca instabilidade no sistema de distribuição, comprometendo, principalmente, a qualidade da energia fornecida para a carga.

Ainda pode-se ter métodos mistos, que utilizam características de métodos passivos e ativos. Mais detalhes dos métodos existentes para detecção de ilhamento podem ser encontrados nos trabalhos de Pinto Neto (2012) e Galotto Junior (2011), que apresentam estudos mais aprofundados das técnicas e suas vantagens e desvantagens. Em Gonçalves (2011) há a proposta do uso de Redes Neurais Artificiais na identificação de ilhamentos e Brito (2013) apresenta uma análise do tempo de resposta de algumas técnicas.

2.2.2.3 Classificações dos inversores

Existem várias classificações para os inversores atualmente, pode-se caracterizá-los por: número de fases, método de comutação, isolamento galvânica e topologia de ligação.

No que concerne ao número de fases, pode-se classificar os inversores em monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Num primeiro momento poder-se-ia pensar em dividi-los em abrangência de faixas de potência, o que seria lógico. No entanto, atualmente, muitos fabricantes disponibilizam em seus portfólios equipamentos de diferentes número de fases, mas de uma mesma potência, a fim de atender as demandas do mercado. Assim, tem-se faixas de potências muito indefinidas em relação à quantidade de fases e qualquer divisão feita aqui pode se tornar defasada num prazo de 3 ou 6 meses.

Os inversores comutados pela rede utilizam a tensão da própria rede para

sincronizar a mudança de estado de suas chaves, não sendo possível utilizá-los em sistema isolados. Hoje, sua utilização em sistemas fotovoltaicos é baixa devido principalmente ao fato de necessitar de elementos de filtragem para uma melhor modelagem da forma de onda, que onera e deixa o sistema mais volumoso (PINTO NETO, 2012).

Os inversores autocomutados operam independentemente da frequência da rede, a partir de uma fonte de potência na entrada. Este tipo de inversor pode operar em sistema isolados ou conectados à rede, visto que é capaz de sincronizar sua tensão alternada de saída com a tensão da rede elétrica. Esses inversores usam alta frequência para sua comutação, de maneira geral, sendo que o sinal de saída é senoidal de baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência. Sua única desvantagem é seu custo elevado, devido principalmente as tecnologias agregadas (RAMPINELLI, 2010).

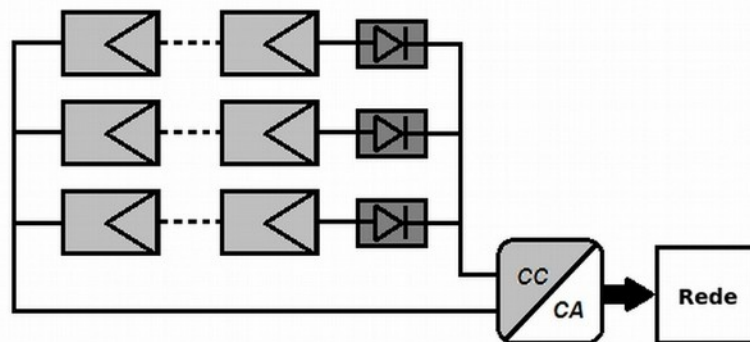
As vantagens dos inversores com transformador, ou isolação galvânica, são: isolamento entre os lados CC e CA, possibilidade de trabalhar com tensões CC (no painel FV) mais baixas, menor Interferência Eletromagnética (IEM) e menos requisitos de proteção. Suas desvantagens são: perdas ôhmicas e magnéticas no transformador (que resulta em uma menor eficiência) e maior peso e volume. Quanto aos inversores sem transformador tem-se como vantagens: possibilidade de trabalhar com tensões CC (no painel FV) altas, maior eficiência (principalmente na ausência de um estágio de conversão CC-CC) e menor peso e volume. Suas desvantagens: maior IEM e necessidade de utilizar dispositivos de proteção adicionais (dependendo do regulamentação aplicável à região) (PINHO; GALDINO, 2014).

Tratando-se de SFCR, existem quatro tipos importantes de topologias de ligação, que são: Inversor central, Inversor string, Inversor multi-string e Inversor com módulo CA.

A topologia chamada de inversor central caracteriza-se pela associação de um conjunto de painéis FV em série e paralelo, como apresentado na Figura 8. Usualmente, é um arranjo utilizado para potências de valores elevados, acima de 10 kW, e se torna necessário o uso de diodos de bloqueio nas associações série dos painéis, acarretando perdas. Outras limitações são a necessidade do uso de cabos

de CC de alta voltagem entre os módulos e o inversor, sua baixa confiabilidade, dado que todo sistema está conectado a um único inversor e em caso de falhas no mesmo ocorrerá um comprometimento de toda instalação, e a inviabilização do uso de um SPMP para cada painel, a fim de obter um desempenho ótimo em cada um, o que implica em uma diminuição da eficiência energética do arranjo (HASSAINE et al., 2014).

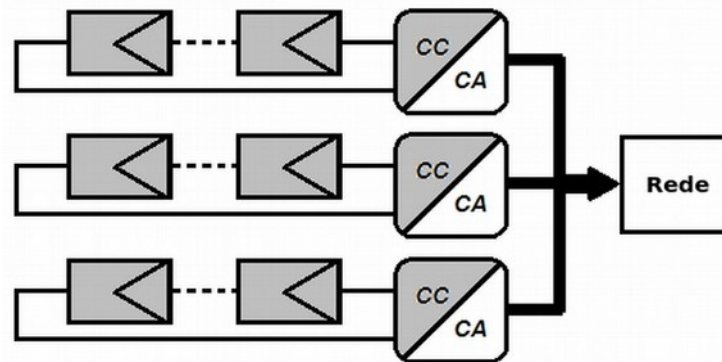
Figura 8 - Topologia do inversor central.



Fonte: Adaptado de Aganza-Torres et al. (2016).

A topologia chamada de inversor string pode ser entendida como uma versão menor da topologia centralizada, onde cada associação série de painéis FV está conectada a um inversor, como apresentado na Figura 9. Esse arranjo proporciona uma maior confiabilidade, reduz acoplamentos defeituosos, remove as perdas ocasionadas pelos diodos de bloqueio e aumenta a eficiência do SPMP, já que tem-se um inversor para cada associação série de painéis. Pode ser utilizado para potências a partir de 1,5 kW, sendo muito popular em instalações sobre telhados de residências e indústrias. Ainda faz-se necessário o uso de cabos de CC de alta voltagem e apresenta pouca flexibilidade para o aumento da capacidade instalada, que fica limitada aos parâmetros dos inversores, contudo a perda de um inversor não ocasiona uma saída total do sistema (AGANZA-TORRES et al., 2016).

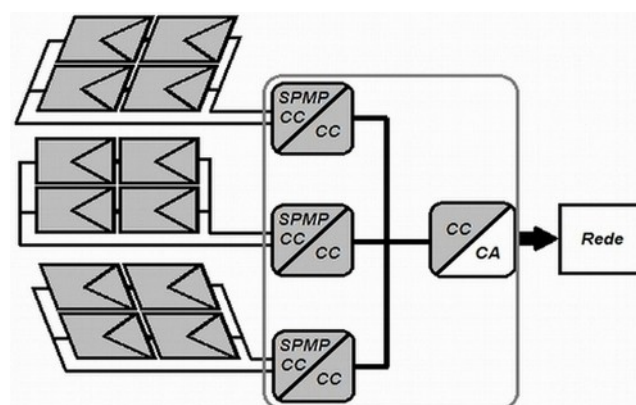
Figura 9 - Topologia do inversor string.



Fonte: Adaptado de Hassaine et al. (2014).

A topologia chamada de inversor multi-string é baseada diretamente na inversor string, no entanto, temos nossas associações série de painéis ligadas a conversores CC-CC individuais, com SPMP próprios, e ligados a um único inversor CC-CA, como apresentado na Figura 10. Esse arranjo proporciona uma solução compacta e de custo benefício interessante, combinando as vantagens das topologias central e string, permitindo a integração de diferentes tecnologias fotovoltaicas e orientações distintas dos painéis. Tais características permitem um melhor aproveitamento da energia solar durante o dia, otimizando a eficiência de cada associação série separadamente. Essa topologia é aplicada, geralmente, em plantas FV de 3 à 10 kW (HASSAINE et al., 2014).

Figura 10 - Topologia do inversor multi-string.

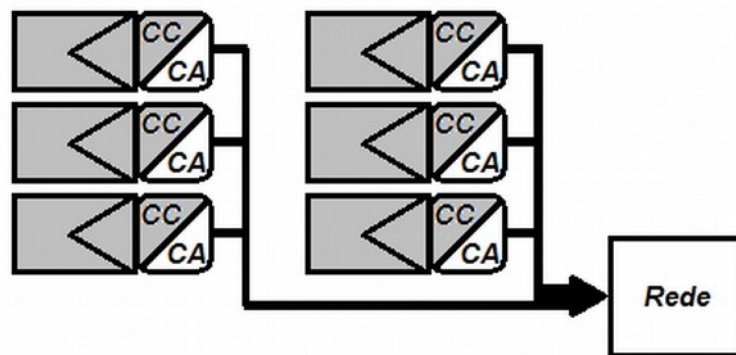


Fonte: Adaptado de Aganza-Torres et al. (2016).

Por fim, tem-se a topologia de módulo CA, ou de microinversor, que consiste em um inversor acoplado a cada painel FV do sistema, como apresentado na Figura 11. Esse arranjo é o que apresenta o maior custo por Watt, mas é compensado pela alta

precisão do SPMP e virtual redução de custos em uma produção em massa, devido a padronização dos inversores, em geral com potências comerciais em torno de 300 W. É muito usado em sistemas de pequena escala e em telhados com arquiteturas complexas. Dado seu carácter flexível, em estruturas modulares, o aumento da capacidade instalada é mais fácil de ser realizado que nas outras topologias e mais independente das tecnologias dos painéis já existentes. Não apresenta um ponto de falha crítico, o que aumenta a disponibilidade, e elimina o uso de cabos de CC de alta voltagem e outras proteções (AGANZA-TORRES et al., 2016).

Figura 11 - Topologia do inversor com módulo CA.



Fonte: Adaptado de Hassaine et al. (2014).

2.2.3 As baterias

No caso de sistemas de GD isolados, faz-se necessário o uso de dispositivos de armazenamento de energia a fim de abastecer a demanda das cargas locais em períodos nos quais não haja incidência solar, à noite ou em períodos nublados ou chuvosos. Seu carregamento ocorre durante os períodos de produção de energia pelos módulos FV, com a energia excedente suprindo as cargas locais (MESSENGER; VENTRE, 2003).

Existem vários tipos de acumuladores eletroquímicos, dos quais destaca-se a bateria de Chumbo-ácido (Pb-ácido) como a tecnologia mais empregada, principalmente, devido à maturidade da tecnologia de mais de 140 anos. Contudo, há baterias com tecnologias mais modernas e melhores, apresentando maiores eficiência, vida útil e profundidade de descarga, como as de Níquel-Cádmio (NiCd),

Níquel-hidreto metálico (NiMH) e íon de Lítio (Li-ion). Infelizmente, o uso dessas tecnologias mais modernas ainda não é viável economicamente (PINHO; GALDINO, 2014).

As diferentes substâncias que compõem uma bateria dão características específicas as mesmas, tornando-as bem distintas umas das outras. Esses compostos, em sua maioria, são nocivos em algum grau, tanto à natureza como ao ser humano, como é o caso do chumbo, do cádmio e dos solventes nas baterias de íon de lítio (ALMADA, 2013).

Na Tabela 1 são apresentadas as características mais relevantes de alguns tipos de baterias recarregáveis disponíveis comercialmente.

Tabela 1 - Características de baterias recarregáveis.

Tecnologia	Densidade Energética (Wh/L)	Eficiência (%)	Vida Cíclica (ciclos)	Aplicações Típicas
Chumbo-ácido (Pb-ácido)	50-120	80-90	250-500	Uso estacionário, tração e automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	100-150	60-70	300-700	Mesmas aplicações das baterias de Pb-ácido, ferramentas e veículos elétricos
Níquel-hidreto metálico (NiMH)	150-320	80-90	300-600	Notebooks, celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos e brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion ou Li-polímero)	230-330	90-95	500-1000	Notebooks, celulares, filmadoras, smart cards, veículos elétricos e híbridos
Cloreto de Níquel e Sódio (NaNiCl)	200-300	75-90	20-50	Produtos de consumo e brinquedos
Bateria alcalina recarregável de Manganês (RAM)	150	80-90	1000	Veículos elétricos e híbridos, além de possíveis aplicações estacionárias

Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino (2014).

2.2.4 Controlador de carga

Os controladores de carga são equipamentos que tem por finalidade prolongar a vida útil das baterias, atuando de modo a evitar cargas e descargas exageradas que venham a danificar a bateria. De modo geral, são projetados para operar com um tipo específico de bateria, ou seja, um controlador de carga usado para baterias de Chumbo-ácido pode não funcionar, ou não funcionar com tanta eficiência, com baterias de Níquel-Cádmio. É considerado indispensável na grande maioria dos casos e permite a otimização do dimensionamento e carregamento do banco de baterias, desconexão de cargas em baixo estado de carga da bateria ou quando a mesma atingir um nível mínimo de segurança, desconexão do gerador quando a bateria atingir carga plena e também uma maior proteção contra um aumento excessivo de consumo ou uma eventual intervenção do usuário (MESSENGER; VENTRE, 2003; PINHO; GALDINO, 2014).

Há casos onde não é necessário o uso de controladores de carga, quando as cargas alimentadas tem pouca variação em seu consumo, no entanto, a tensão do gerador deve ser compatível com a da bateria e deve haver um superdimensionamento do banco ou bateria, porém, as mesmas ainda estão sujeitas a cargas e descargas exageradas (PINHO; GALDINO, 2014; MESSENGER; VENTRE, 2003).

2.2.5 Os medidores

Os tipos de medidores existentes no SEE brasileiro são:

- Medidores Eletromecânicos

Os medidores de energia elétrica, tipo indução, são dispositivos eletromecânicos com partes móveis que se degradam de forma progressiva com o tempo (SILVA, 2010). Ainda hoje, representam cerca de 90% do parque de medição nacional, no Norte e Nordeste (parques mais recentes) há um menor uso desses medidores, no entanto, os mesmo representam 70% do total (CUNHA, 2011). O princípio de funcionamento do medidor

eletromecânico tipo indução é baseado no fenômeno de indução eletromagnética. O medidor é semelhante a um motor elétrico, sendo composto por um estator, um rotor, uma carcaça e um registrador, sendo que este último registra o número de rotações efetuadas pelo rotor (a partir de uma relação pré-determinada).

- **Medidores Eletrônicos**

O medidor de energia elétrica do tipo eletrônico é um equipamento estático no qual a corrente e a tensão agem sobre componentes eletrônicos para produzir uma informação de saída proporcional à quantidade de energia elétrica medida. De forma geral, os medidores eletrônicos de energia atualmente em uso no Brasil, possuem a classe de exatidão de D(0,2%), C(0,5%), B(1,0%) e A(2,0%) (SILVA, 2008).

Os medidores eletrônicos proporcionam uma enorme gama de funcionalidades podendo realizar simultaneamente várias tarefas em um mesmo equipamento: medir energia ativa e reativa, demanda máxima, fator de potência, tensão e corrente, além do uso de memória de massa para registro do consumo com informação de data e hora e sistema antifraude (SILVA, 2008; SILVA, 2010).

2.2.5.1 Medidores inteligentes

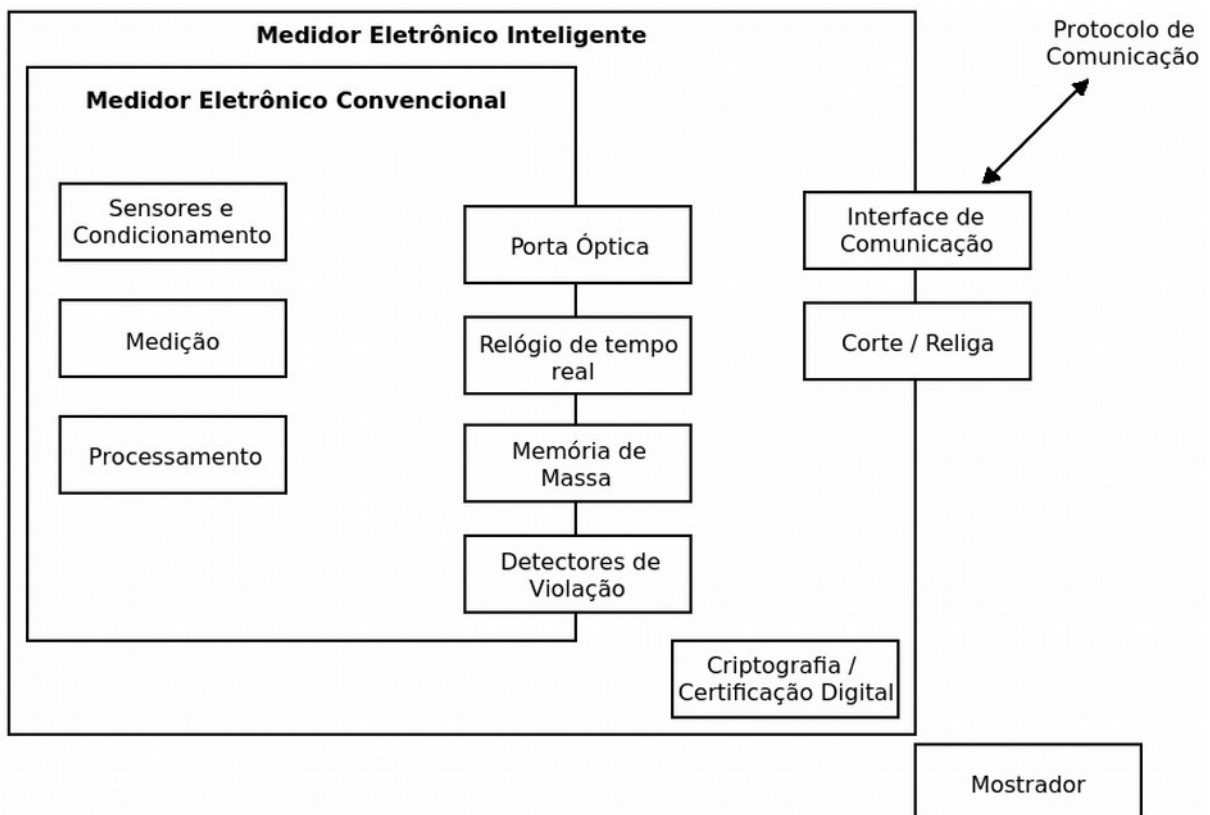
Os medidores inteligentes são medidores eletrônicos com funcionalidades específicas. Segundo Toledo (2012), os conceitos para os requisitos de funcionalidade foram padronizados pela ANEEL na Audiência Pública número 43/2010, não havendo padronização antes disso, e hoje, para ser considerado um medidor inteligente o equipamento deve apresentar no mínimo as funções de:

- Medir o valor eficaz instantâneo de tensão;
- Medir a energia ativa;
- Medir a energia reativa indutiva, considerando apenas a frequência nominal (60 Hz);

- Possuir relé para ações remotas de corte e de religamento;
- Computar os valores de demanda ativa e reativa, porém, sem tarifação binômica para os consumidores do grupo B (atendidos em tensões abaixo de 1kV, classificação de classes da ANEEL);
- Calcular os índices de qualidade do fornecimento DIC, FIC, DMIC, DRP e DRC;
- Possuir no mínimo quatro postos horários para tarifas horosazonais;
- Possuir módulo de comunicação bidirecional;
- Comunicar-se utilizando protocolo de comunicação público.

Outro aspecto relevante em relação aos medidores inteligentes é a expectativa que possuam uma vida útil próxima aos medidores eletromecânicos, hoje em torno de 15 anos, podendo chegar a 20 em alguns sistemas (TOLEDO, 2012). O diagrama de blocos de um medidor inteligente é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama de blocos, componentes de um medidor inteligente.



Fonte: Adaptado de Toledo (2012).

2.2.6 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

O cálculo para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é apresentado a seguir em (4).

$$E_p = E_d \cdot S_p \cdot n_p \cdot n_i \quad (4)$$

Sendo:

- E_p a energia produzida pelo sistema, em kWh/dia;
- E_d a energia diária recebida do sol, em kWh/m².dia;
- S_p a superfície do painel, em m²;
- n_p a eficiência de conversão do painel;
- n_i a eficiência do inversor.

2.3 OS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS)

A obtenção de água quente para banho no Brasil, geralmente, é realizada a partir do uso de chuveiros elétricos. Sistema usado em aproximadamente 73% das residências por todo nosso país. Suas características mais marcantes são seu baixo custo de aquisição, sua potência, entre 4 e 8 kW normalmente, e seu gasto em kWh mensais. O uso do chuveiro elétrico por vezes corresponde a aproximadamente 35% da demanda em consumidores de baixa renda. Tem relevante contribuição para o pico característico que ocorre entre às 18 e 21 horas, correspondendo à 43% do consumo do setor residencial nesse período. Uma consequência deste pico é o fato de todo o sistema de energia ser superdimensionado, a fim de atender a demanda requisitada neste período. Além do superdimensionamento, esse pico acarreta uma violação dos padrões de qualidade de alimentação elétrica e sobrecarrega os transformadores de distribuição (PASSOS et al., 2014).

Os dados apresentados por EPE (2016) mostram que no setor residencial houve um consumo total de 132399 GWh e um consumo médio de 160 kWh/mês,

nos consumidores conectados à alimentação convencional, no ano de 2014. Uma avaliação simples dos gastos de um chuveiro elétrico (4,5 kW) em uma residência, considerando 15 minutos de uso diário (banhos de 5 minutos em uma unidade familiar de 3 indivíduos), obter-se-ia um montante de 33,75 kWh/mês. Percentualmente esse montante responde por 21,1% do gasto residencial médio brasileiro. Esse percentual representa algo em torno 5,7% de toda a energia consumida no país, algo em torno de 27000 GWh, no ano de 2014 (475432 GWh).

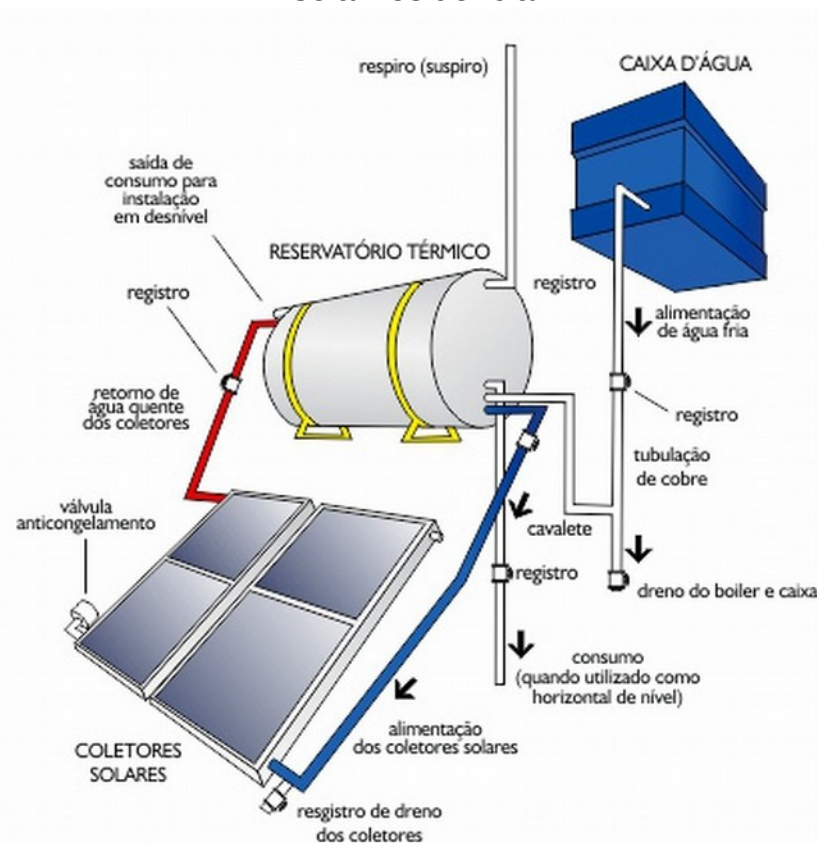
Os Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) são alternativas ao aquecimento de água em uma residência, que tem como principal vantagem em relação aos sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica o fato de serem uma tecnologia mais simples e de domínio nacional, tendo empresas com mais de 30 anos de atuação nessa área, o que o torna muito viável ao cenário brasileiro. Eles são equipamentos que transformam a energia irradiada pelo sol em energia térmica com o intuito de aquecimento de água para uso humano, seja para utilização em banhos, higiene pessoal, atividades de cozinha, em piscinas ou outros (MARTINS; PEREIRA, 2011).

A maioria dos SAS fabricados no Brasil, para uso residencial, apresentado na Figura 13, são compostos por dois itens básicos: a placa coletora solar e o reservatório térmico, usualmente, chamado de boiler. Sua construção e funcionamento ocorrem da seguinte forma: a placa de vidro superior provoca um efeito estufa no interior do coletor, permitindo a entrada de energia solar na forma luminosa e impedindo a saída dessa energia na forma de radiação infravermelha. Também é a placa de vidro que impede que a água de chuva e poeira entrem no coletor. As paredes da serpentina de cobre absorvem a energia solar e a transferem na forma de calor para a água que circula em seu interior (TOLMASQUIM, 2003; BOSCOLI, 2010).

A chapa de alumínio enegrecida que envolve a serpentina auxilia no aquecimento do coletor. Além disso, usa-se poliuretano expandido ou lã de vidro como isolantes térmicos do coletor, dependendo do fabricante. O reservatório térmico (boiler) serve para armazenar água quente para consumo. Geralmente, são cilíndricos, feitos de cobre, inox ou propileno, que são isolados termicamente para que a água seja mantida aquecida até o seu consumo, mesmo quando na ausência de incidência solar. Em geral os boilers possuem resistências elétricas para aquecimento da água em dias em que não há luz solar suficiente. Comandada por

um termostato, ela liga e desliga de acordo com a temperatura da água. Em dias com grande luminosidade, a água quente fica armazenada por várias horas sem que a resistência precise ser acionada. A água que circula no sistema entra no boiler, segue para as placas coletoras, onde é aquecida, e retorna ao boiler, ficando armazenada até o seu consumo (BOSCOLI, 2010; TOLMASQUIM, 2003).

Figura 13 - Esquema de um sistema de aquecimento solar residencial.



Fonte: (SOLETROL, 2015).

Segundo análises feitas por Rosa (2012), os coletores solares do tipo tubos à vácuo tem uma maior eficiência em relação aos planos, em especial em temperaturas ambiente abaixo dos 25 °C, climas mais frios (climas temperados). Porém, para temperaturas ambiente acima de 25 °C, climas mais quentes (climas tropicais), essa diferença não é relevante. Sendo assim, não justifica-se um maior investimento em coletores de tubos à vácuo, produtos importados e com valores de mercado consideravelmente maiores, considerando que os coletores planos tem valores de mercado menores, por serem produtos nacionais.

Para sistemas de pequeno porte, residenciais, os reservatórios devem ser instalados próximos às placas coletoras e em nível um pouco mais elevado, para

melhorar a eficiência do sistema, garantindo a circulação da água no sistema através do efeito de termossifão, também conhecida como circulação natural, que é quando a água alojada nos coletores fica mais quente e, por consequência, menos densa que a água no reservatório. A água mais fria desce para os coletores, fazendo circular naturalmente a água quente dos coletores para o reservatório. Quando se tratam de sistemas com volumes superiores a 1500 litros, o uso de um sistema de bombeamento é recomendado (TOLMASQUIM, 2003).

2.3.1 Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar

Os cálculos para o dimensionamento de um SAS seguem uma rotina simples, bastando calcular o valor da superfície necessária de placa que aquecerá N litros de água a k °C, conforme (5).

$$S = \frac{Q}{I \cdot n} = \frac{\frac{Vol}{Id} \cdot u \cdot (T_d - T_a)}{I \cdot n} \quad (5)$$

Sendo:

- S a superfície, em m²;
- Vol a volume de água do boiler, em Kg/dia;
- Id a insolação diária, em h/dia;
- u = 1 Kcal/Kg.°C;
- T_d a temperatura desejada da água, em °C;
- T_a a temperatura ambiente da água, em °C;
- I a radiação solar global para a localidade, em Kcal/m².h;
- n a rendimento das placas de captação solar.

Após o cálculo da superfície da placa, calcula-se o resistor que será colocado no boiler para o aquecimento da água em condições não favoráveis, conforme (6). Via de regra adota-se um valor de resistência de 5 à 8 Ω por litro de água.

$$R=r \cdot V \quad (6)$$

Sendo:

- R a resistência a ser colocada no boiler, em Ω ;
- r a resistência por litro de água, em Ω/l ;
- V o volume, em l.

A seguir, no Capítulo 3, é apresentado uma descrição da área de estudo, assim com um breve histórico sobre a mesma. O capítulo também elucida a importância do uso de *softwares* na análise de circuitos elétricos de maneira geral, dando enfoque no parâmetro de Desvio de Tensão.

3 ÁREA DE ESTUDO E SIMULAÇÕES

A área de estudo avaliada por esse trabalho foi o Assentamento Estrela da Ilha, em Ilha Solteira – SP. As análises e simulações, respectivamente, foram feitas considerando as características dos consumidores residentes no local e sobre a planta elétrica do assentamento, utilizando o programa PowerFactory de propriedade intelectual e comercial da empresa alemã DlgSILENT.

O PowerFactory é uma ferramenta desenvolvida para uso na engenharia, a qual trabalha com análises de transmissão, distribuição e plantas elétricas industriais. Foi projetado como um *software* avançado, integrado e interativo, que possui pacotes dedicados à análise do controle para sistemas elétricos de potência, de modo a suprir os principais objetivos para o planejamento, para a operação e para a otimização. A precisão e validade dos resultados obtidos com o PowerFactory foi confirmado por um grande número de implementações feitas por organizações envolvidas no planejamento e operação de sistemas de potência por todo o mundo (DIGSILENT, 2013).

3.1 BREVE HISTÓRICO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA

O assentamento Estrela da Ilha foi criado em setembro de 2005 por um grupo de trabalhadores rurais do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) que, no ano de 2000 e com 218 famílias, montaram acampamento às margens da Rodovia Feliciano Sales Cunha (SP-310) na entrada da antiga Fazenda São José da Barra, terras que almejavam conquistar. Após cerca de um ano e meio, e várias negociações, os acampados foram assentados num espaço provisório de 160 alqueires¹, cerca de 14% da área total, e posteriormente, foi desapropriada toda a fazenda para fins de Reforma Agrária (MODENESE et al., 2010 ; SIMONATO, 2013).

As principais atividades desenvolvidas nos lotes do assentamento são: a pecuária leiteira (que muitas vezes se torna a principal fonte de renda para o lote) e o cultivo de hortas. Muito presentes também, tem-se a produção de legumes e a criação de animais menores (porcos e galinhas), tanto para venda como para

1 – Um alqueire, no estado de São Paulo, equivale a 2,42 hectares ou 24.200 m².

consumo próprio. De modo menos frequente, tem-se a venda de gado e peixes, esse último se encontra concentrado em lotes que se localizam próximos ao Rio São José dos Dourados (FIALHO, 2014 ; MORAES et al., 2014).

Há uma diferença acentuada entre as residências, no que compete à qualidade da moradia, fato que deve ser creditado aos erros no investimento do recurso liberado pelo INCRA destinado para esse fim, pois alguns relatos demonstram que o dinheiro repassado não foi utilizado para estruturação dos lotes, utilizando o mesmo para compras de equipamentos, animais e outras finalidades (FIALHO, 2014).

Segundo dados do (CENTRO DE REFERÊNCIA DE ASSISTÊNCIA SOCIAL – CRAS, 2015) existem 218 famílias no Cadastro Nacional para Programas Sociais (CadÚnico), programa do governo federal, registradas no Assentamento Estrela da Ilha. As famílias que desejam receber algum dos benefícios disponibilizados pelo CadÚnico devem ter um perfil de renda de até três salários mínimos ou meio per capita e seu recadastramento de dados deve ser feito anualmente, pelo próprio beneficiário, no site do programa. Um dos benefícios oferecidos pelo CadÚnico é o Programa Bolsa Família, que atende 24 famílias do Assentamento Estrela da Ilha, famílias em situações de extrema pobreza² e de pobreza³. No entanto, no âmbito de serviços, programas e projetos estaduais se enquadram outras 84 famílias, cuja renda per capita não excede meio salário mínimo. Existem outros benefícios socioassistenciais, de âmbito municipal, que levam em consideração as características do próprio município.

3.2 O USO DAS SIMULAÇÕES NA ANÁLISE DE SISTEMAS ELÉTRICOS

A utilização de simulações na análise de sistemas elétricos é largamente usada nas áreas da Engenharia Elétrica, uma vez que permite prever o comportamento dos sistemas em inúmeras condições desejadas.

Com o crescimento da utilização de SFCR em áreas residenciais ao redor do mundo, tornam-se necessárias avaliações quanto a qualidade da energia entregue ao usuário final. As primeiras conclusões mostram que o impacto negativo do uso de

2 – Se enquadram em situação de extrema pobreza famílias cuja renda per capita seja inferior a R\$77,00.

3 – Se enquadram em situação de pobreza famílias que tenham renda per capita entre R\$77,01 e R\$154,00.

SFCR em áreas residenciais é pequeno, porém, muitos sistemas são projetados com altos valores de geração, com o aumento da adoção desses sistemas podem surgir distorções consideráveis nas redes de energia (WIDÉN et al., 2010).

Existem vários *softwares* que podem ser utilizados em simulação de sistemas fotovoltaicos. Um dos mais utilizados na área acadêmica é o *software* de cálculo computacional matricial Matlab/Simulink, no qual os circuitos são inseridos através de modelos matemáticos aplicados à fluxos de potência. Outros *softwares*, como por exemplo o PowerFactory, são desenvolvidos de um modo que os circuitos elétricos possam ser montados de uma maneira gráfica pelo usuário. A utilização de cada um deles varia de acordo com o que se deseja avaliar e com a facilidade do usuário em programação.

Um dos aspectos mais utilizados e avaliados em circuitos elétricos é o desvio (elevações e quedas) de tensão. Qualquer que seja o programa de simulação de sistemas elétricos, deve permitir a obtenção dos dados de tensão nos diversos pontos do circuito.

3.2.1 Desvio de tensão

A inserção de unidades de GD em redes de distribuição, até então com carácter passivo, acarreta diversos impactos técnicos, alguns podendo ser benéficos enquanto outros prejudiciais, afetando condições operacionais do sistema. Há um aumento da complexidade da operação e planejamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Cabe as concessionárias continuar a garantir o fornecimento de energia elétrica dentro dos padrões de qualidade e confiabilidade estabelecidos pelos órgãos reguladores do setor elétrico. Pode-se dizer que os então descritos sistemas passivos se transformam em sistemas elétricos ativos com a inclusão dos geradores distribuídos (PADILHA, 2010).

Integrando pontos de geração a sistemas que, classicamente, tinham apenas uma direção de fluxo de potência, acarreta em diversas questões a serem consideradas, sejam elas comerciais, gerenciais, regulatórias, técnicas ou operativas. Alguns dos fatores técnicos a se considerar são: perfil de tensão em regime permanente, estabilidade de tensão, estabilidade de ângulo, sistema de

proteção, transitórios de tensão, correntes de curto-circuito, distorção harmônica e confiabilidade (JENKINS et al., 2000).

Com uma grande utilização de GD, os sistemas de distribuição teriam sua característica de fluxo de potência unidirecional mudada. Outro aspecto resultante de seu uso seria uma elevação das tensões nodais, que podem causar a violação dos limites de sobretensão de regime permanente, podendo ocasionar danos às instalações de outros consumidores (VIAWAN; KARLSSON, 2008; MASTERS, 2002).

Algumas maneiras de se regular a tensão em sistemas de distribuição é através de comutadores automáticos dos taps nos transformadores localizados na subestação da concessionária, transformadores reguladores de tensão inseridos nos alimentadores e instalação de bancos de capacitores para provimento de potência reativa (PADILHA, 2010; VIAWAN; KARLSSON, 2008; KUNDUR, 1994).

Os desvios de tensão em uma rede elétrica devem se encontrar dentro dos parâmetros regulados pela ANEEL, entre os limites de 0,93 e 1,05 p.u., sendo 1 p.u. a tensão nominal do circuito. Quando dentro da faixa acima, a tensão é considerada adequada. No caso da tensão em algum ponto do circuito se encontrar entre 0,9 e 0,93 p.u. admite-se que a mesma se encontra precária. Tensões abaixo de 0,9 p.u. e acima de 1,05 p.u. são admitidas como críticas.

A seguir, no Capítulo 4, são apresentados e explicados os termos e métodos de cálculo de retorno de investimento utilizados.

4 QUESTÃO FINANCEIRA E ANÁLISES UTILIZADAS

O uso de bens em negociações, ou empreendimentos, sempre foi de importância ímpar para obtenção de lucro, ou vantagens, e conseqüentemente do crescimento econômico, seja individual ou coletivo. Sendo assim, a aplicação de bens, seja na forma de capital ou não, é de interesse de todo indivíduo que deseje estar em uma situação melhor que a atual.

Em nosso sistema econômico, existem diversas formas de utilização de capital disponíveis, tais como: aplicação em caderneta de poupança, compra de ações ou aquisição de imóveis, ou bens, para vendas futuras. Evidentemente, qualquer que seja nossa escolha, assumindo um risco de prejuízo no empreendimento, somado à expectativa de ganhos posteriores (OLIVEIRA, 1982).

Existem vários métodos de análise para tomada de decisões na escolha pela utilização de um empreendimento ou não, ou ainda, de um empreendimento em detrimento de outro. No presente estudo será utilizado uma análise simples de tomada de decisão, verificando se o empreendimento em questão é viável ou não. Usar-se-á como combinação de ferramentas, os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e a análise de *Payback* Descontado.

É de interesse determinar, previamente, os conceitos de juros e taxa de juros, uma vez que são recorrentes, dado suas utilizações nos métodos.

Os juros podem ser definidos como sendo a remuneração do capital, uma compensação em dinheiro, pelo seu uso alternativo. Essa remuneração busca compensar tanto o que se deixou de lucrar não aplicando tal capital em outra oportunidade de investimento quanto o risco inerente ao próprio empreendimento (OLIVEIRA, 1982; LION, 1985).

A taxa de juros, representada pela letra i , nada mais é que os juros quando são fixados a uma taxa referida a uma unidade de tempo (ano, mês, etc.). Podendo ser apresentada tanto na forma unitária quanto percentual (LION, 1985; PUCCINI, 2008).

4.1 O VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é a somatória do Valor Presente (VP) com o investimento inicial necessário. O VP é o valor equivalente de uma quantia futura referenciada ao momento atual, a uma determinada taxa de juros. No entanto, o VP de um fluxo de caixa é a soma de todas suas parcelas futuras referenciadas ao momento atual, a uma determinada taxa de juros (OLIVEIRA, 1982; PUCCINI, 2008).

Pode-se definir VPL de um fluxo de caixa, de um projeto, como sendo o VP somado ao investimento inicial. Podendo-se escrever a fórmula do VPL como segue em (7) e (8):

$$VPL(i\%) = C_0 + \frac{C_1}{(1+i)} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (7)$$

Ou ainda, em sua forma compacta:

$$VPL(i\%) = \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j} \quad (8)$$

Sendo:

- C_j o investimento inicial, para $j = 0$;
- C_j as parcelas das receitas, para $j = 1, 2, \dots, n$;
- i a taxa de juros, aplicada na forma unitária.

4.2 A TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Pode-se definir a TIR de um fluxo de caixa, de um projeto, como a taxa de juros que faz o VPL nulo, ou em outras palavras, quando o valor das receitas torna-se igual ao dos desembolsos (PUCCINI, 2008; OLIVEIRA, 1982). Outra maneira de definir a TIR é como a taxa de juros máxima que garante a viabilidade de um projeto, e sendo assim, é evidente que quanto mais elevado é o valor da TIR maior será a atratividade do projeto (LION, 1985). Podendo-se escrever a fórmula da TIR como segue em (9) e (10):

$$VPL(TIR\%) = C_0 + \frac{C_1}{(1+TIR)} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (9)$$

Ou ainda, em sua forma compacta:

$$VPL(TIR\%) = \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (10)$$

Sendo:

- C_j o investimento inicial, para $j = 0$;
- C_j as parcelas das receitas, para $j = 1, 2, \dots, n$;
- TIR a taxa de juros máxima, aplicada na forma unitária.

4.3 MÉTODO DO PAYBACK DESCONTADO

O método de análise do *Payback* consiste na soma das parcelas do fluxo de caixa de um projeto, tendo por finalidade determinar o número de períodos necessários à recuperação do capital investido. No entanto, o método do *Payback* possui uma grande deficiência, visto que, despreza a variação do valor do dinheiro no tempo. Projetos com mesmo tempo de recuperação mas que possuam fluxos de caixa distintos, sendo um com receitas de valores elevados mais afastadas no tempo enquanto o outro possui receitas de valores elevados mais próximas ao investimento, este segundo caso é mais atrativo que o primeiro, uma vez que seu valor de VPL seria maior (OLIVEIRA, 1982). Outra consequência de não considerar a variação do dinheiro no tempo, é estar sujeito a encontrar um período previsto para o retorno do capital investido menor que o real.

Buscando sanar algumas deficiências do método de *Payback* clássico, foram feitas algumas alterações em sua análise, originando o método do *Payback* Descontado. O *Payback* Descontado passa a considerar a variação do dinheiro no tempo, utilizando o conceito de VP em cada parcela das receitas do projeto (PUCCINI, 2008). Obviamente, faz-se necessário o uso de uma taxa de juros, que não era presente na análise clássica, no entanto, como os métodos de VPL e TIR já possuem tal parâmetro, isso não se torna um problema para o presente estudo.

Em decorrência das diferenças de valor nos montantes das receitas, o uso do

método de *Payback*, tanto o Clássico como o Descontado, não possui uma fórmula matemática que possa retornar o tempo retorno do investimento prontamente, sendo necessário realizar os cálculos período por período de maneira iterativa.

No entanto, para o caso específico de ter-se parcelas de receitas iguais durante todo o período em avaliação, como é o caso do presente estudo, pode-se utilizar a identidade presente em (11), retirando C_0 (investimento inicial) da somatória do VPL, (8), e reescrevendo-a na forma polinomial, tem-se o apresentado em (12).

$$\sum_{i=1}^n x^i = \frac{x(x^n - 1)}{x - 1} \quad (11)$$

$$C_0 - C_j \cdot \left(\frac{x(x^n - 1)}{x - 1} \right) = 0 \quad (12)$$

Sendo:

- C_0 o investimento inicial;
- C_j as parcelas das receitas;
- n o número de parcelas;
- $x = \frac{1}{1+i}$, sendo i a taxa de juros, aplicada na forma unitária.

Trabalhando (12) de modo a se isolar n , obtêm-se o apresentado em (13):

$$n = \frac{\log\left(1 - \left|\frac{C_0 \cdot i}{C_j}\right|\right)}{\log\left(\frac{1}{1-i}\right)} \quad (13)$$

Em decorrência de (13), se $\left|\frac{C_0 \cdot i}{C_j}\right| \geq 1$, não haverá um período (n) no qual ocorrerá o retorno do investimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os dados levantados e resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho. Dividiu-se a apresentação dos mesmos em tópicos, buscando agrupá-los de maneira lógica e sequencial, para facilitar a compreensão.

5.1 O LEVANTAMENTO DOS DADOS DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA

Em vista, principalmente, da íntima correlação entre os indicadores de conforto e qualidade de vida com uso da energia elétrica, buscou-se obter as características de consumo de energia elétrica dos consumidores presentes no Assentamento Estrela da Ilha.

Para o levantamento dos dados optou-se pela utilização de dados referentes aos consumidores. Parte deles fornecidos pela concessionária Elektro e parte decorrente de entrevistas com os assentados. Nas entrevistas foi utilizado um questionário simplificado, elaborado para essa finalidade, baseado no questionário feito por (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. – ELETROBRÁS; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL, 2007). A combinação dos dados, fornecidos pela concessionária Elektro e decorrente das entrevistas, gerou uma amostra total referente a 30% dos lotes do assentamento. As entrevistas realizadas correspondem a aproximadamente 22,7% da amostra, ou cerca de 6,8% dos lotes do assentamento, escolhidos de forma aleatória, sendo algumas realizadas no próprio lote (residência) dos assentados.

Essa metodologia foi adotada por ser capaz de prover dados relevantes, tanto dos equipamentos presentes nas residências como das famílias, sem a necessidade de uma intrusão às moradias, fato que poderia gerar um desconforto aos assentados.

Nos questionários optou-se por coletar informações como: o número do lote, quantidade de indivíduos na residência, o valor médio da conta de energia elétrica – em reais ou kWh – por mês, equipamentos presentes na residência e seus respectivos tempos de uso médio. Não foi requisitado o nome do proprietário do lote a fim de manter o maior sigilo possível.

Para a definição das potências elétricas a serem utilizadas para cada equipamento, apresentadas na Tabela 2, foram utilizados como fontes: (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG, 2014; SCHNEIDER, 2015; SCHADEK, 2015; PROCEL, 2015; NATUREBA, 2015; EFLUL, 2015; COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL FRONTEIRA NOROESTE LTDA. – COOPERLUZ, 2015).

Tabela 2 - Equipamentos e suas respectivas potências.

Equipamento	Potência (W)
Lâmpada Incandescente (60W)	60
Lâmpada Incandescente (100W)	100
Lâmpada Fluorescente (18W)	18
Lâmpada Fluorescente (30W)	30
Geladeira de 1 porta	80
Geladeira de 2 portas	120
Freezer (vertical ou horizontal)	130
Televisor CRT	100
Televisor LED	110
Televisor LCD	190
Ventilador convencional	65
Ventilador de teto	120
Chuveiro	4500
Ferro Elétrico	1000
Aparelho de som	100
Rádio simples	20
Modem (Wi-Fi)	15
Máquina de lavar roupas	500
Tanquinho	150
Micro-ondas	1200
Ar condicionado (< 14.000 Btu)	760
Cafeteira	600
Bebedouro	50
Aparelho de DVD	15
Forno Elétrico (pequeno)	800

continua...

conclusão

Equipamento	Potência (W)
Bomba d'água – Poço (1/2cv)	370
Bomba d'água – Horta (5cv)	3700
Chocadeira	100
Triturador (1,5cv)	1110
Ordenha (~3cv)	2200
Tanque de leite	1840
Bicicleta Elétrica	360

Fonte: O próprio autor.

Utilizando-se as características de equipamentos e horas de utilização diárias aproximadas, ambos informados nas entrevistas, juntamente com as potências definidas na Tabela 2, obteve-se os valores de consumo para cada consumidor, em kWh/mês, a fim de realizar uma análise quanto à distribuição de consumo de energia elétrica nas residências do assentamento. Para proporcionar maior dinamismo nessa etapa de cálculos, os mesmos foram realizados utilizando-se planilhas eletrônicas.

Com os valores calculados de consumo, descritos no parágrafo anterior, foram calculados os montantes pagos em moeda corrente, a fim de verificar se as relações entre consumo e valores pagos nas contas correspondiam. Nessa etapa, utilizou-se um script como recurso para os cálculos, o mesmo foi escrito em linguagem de programação Octave/MatLab, retornando prontamente os montantes a serem pagos a partir das entradas em kWh consumidos. A seguir é apresentado o método de cálculo implementado em script:

Primeiramente, calcula-se a Base de Impostos (*BI*), através de (14):

$$BI(R\$) = \frac{[kWh] \cdot (TE + TU)}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad (14)$$

Sendo:

- *[kWh]* o consumo de energia elétrica em kWh no mês;
- *TE* o valor da Tarifa de Energia;
- *TU* o valor da Tarifa de Uso do sistema de distribuição;
- *PIS*, *COFINS* e *ICMS* os valores unitários das taxas percentuais referentes a esses impostos.

Após o cálculo de BI calcula-se o valor total dos Impostos (I), através de (15):

$$I(R \$)=[kWh].(TE+TU).CIP+BI.(PIS+COFINS+ICMS) \quad (15)$$

Sendo:

- *[kWh]* o consumo de energia elétrica em kWh no mês;
- *TE* o valor da Tarifa de Energia;
- *TU* o valor da Tarifa de Uso do sistema de distribuição;
- *BI* a Base de Impostos;
- *PIS, COFINS, ICMS e CIP* os valores unitários das taxas percentuais referentes a esses impostos.

Por fim, pode-se calcular o valor da conta de energia final (VF), de (16):

$$VF(R \$)=[kWh].(TE+TU)+Ba.\frac{[kWh]}{100}+I \quad (16)$$

Sendo:

- *[kWh]* o consumo de energia elétrica em kWh no mês;
- *TE* o valor da Tarifa de Energia;
- *TU* o valor da Tarifa de Uso do sistema de distribuição;
- *Ba* a Bandeira Tarifária referente ao mês, que leva em consideração a disponibilidade de recursos energéticos de maneira geral;
- *I* o valor total dos impostos.

O método de cálculo e tarifas utilizadas no referido *script* são referentes à própria distribuidora responsável pelo abastecimento de energia elétrica na cidade de Ilha Solteira – SP e, conseqüentemente, pelo do assentamento, sendo retirados de (ELEKTRO, 2015).

Durante as entrevistas e visitas, assim como nos dados obtidos da concessionária, notou-se uma prática recorrente no assentamento. Em muitos lotes houve um aumento do número de residências em relação à planta original. De modo geral, essas novas residências são ocupadas pelas famílias dos filhos dos primeiros assentados. Na amostra, 10 dos 63 lotes apresentaram aumento no número de residências, sendo 14 residências a mais. Esses dados apontam para um aumento

da ordem de 15,87 à 22,22% em relação à carga presente na planta original.

Essas novas residências, em sua grande maioria, tem medidor de energia próprio. Em uma das visitas foi possível entrevistar os moradores de uma dessas novas residências e obter uma característica de consumo diretamente, ficando em torno de 250 à 280 kWh/mês, dependendo do uso ou não do chuveiro elétrico. Em outro caso quando as moradias dividiam o mesmo medidor e utilizando das características de consumo e valor da conta de energia, fornecidas pelos assentados originais, pôde-se estimar que o consumo da nova residência representava algo em torno de 60% do valor da conta de energia, ficando em torno de 175 à 200 kWh/mês, dependendo do uso ou não do chuveiro elétrico. Em ambos os casos citados, e também levando em consideração as informações apresentadas por outros assentados, assim como dos dados fornecidos pela concessionária, as características de consumo das novas residências se apresentam como consumidores que podem variar em uma faixa de 150 kWh à 300 kWh mensais.

Os dados levantados foram divididos em faixas de acordo com o consumo médio mensal de kWh. Os intervalos escolhidos foram:

- De 0 à 200 kWh, o qual tratar-se-á por faixa 1;
- De 200,01 à 400 kWh, o qual tratar-se-á por faixa 2;
- De 400,01 kWh ou mais, o qual tratar-se-á por faixa 3.

Os intervalos foram adotados em virtude da tarifa aplicada aos consumidores rurais ter percentuais fixos de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), 18%, independente da quantidade de kWh mensais consumidos, diferentemente dos consumidores urbanos. Ainda existe uma isenção do imposto citado quando apresentada comprovação que ateste a atividade de produtor rural, no entanto, só o proprietário do lote tem direito da tal benefício.

O assentamento apresentou uma distribuição de consumidores como apresentado na Tabela 3, na amostra de 63 lotes colhida.

Tabela 3 - Distribuição dos consumidores do Assentamento Estrela da Ilha.

Faixa	1	2	3
Quantidade	34	23	6
Percentual (%)	53,97	36,51	9,52

Fonte: Dados do próprio autor.

A partir dos dados da Tabela 3, decidiu-se utilizar os percentuais de 55% para os consumidores pertencentes à faixa 1, 35% para os da faixa 2 e 10% para os da faixa 3 na distribuição e alocação dos demais consumidores na planta.

Ainda em relação às características dos consumidores do assentamento, obteve-se os fatores de demanda para as faixas. O procedimento para obtenção dos mesmos foi simples, visto que, de posse dos valores das potências instaladas, obtidos nas plantas elétricas e nos dados fornecidos pela Elektro, bastaria obter-se os valores de demandas máximas dos consumidores.

Segundo Bovolato (2012), o fator de carga de um consumidor do tipo residencial é de 40% (0,4). Assim, utilizando da formulação do fator de carga (f_c), apresentada em (17), tem-se:

$$f_c = \frac{D_{m\u00e9dia}}{D_{m\u00e1x}} \quad (17)$$

Sendo:

- $D_{m\u00e9dia}$ a demanda m\u00e9dia de uma instala\u00e7\u00e3o;
- $D_{m\u00e1x}$ a demanda m\u00e1xima de uma instala\u00e7\u00e3o.

A demanda m\u00e9dia citada, foi obtida atrav\u00e9s do consumo em kWh mensais das resid\u00eancias, utilizando (18):

$$D_{m\u00e9dia} = \frac{kWh}{540} \quad (18)$$

Sendo:

- kWh o consumo de energia em kWh em um m\u00eas.

O fator de 540 vem da multiplica\u00e7\u00e3o de 30 (quantidade de dias em um m\u00eas) com 18 (quantidade de horas de uso m\u00e9dio em uma instala\u00e7\u00e3o residencial).

De posse das demandas m\u00e9dias, juntamente com as pot\u00eancias instaladas pode-se calcular os fatores de demanda dos consumidores, a partir de (19):

$$f_d = \frac{D_{m\u00e1x}}{P_{inst}} \quad (19)$$

Sendo:

- $D_{m\u00e1x}$ a demanda m\u00e1xima de uma instala\u00e7\u00e3o;

- P_{inst} a potência instalada total da residência.

Após realizar-se a média dos valores de todos os fatores de demanda, para cada uma das faixas, foram obtidos os fatores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores de Demanda para os consumidores do Assentamento Estrela da Ilha.

Faixa	1	2	3
Fator de Demanda (f_c)	0,0577	0,1271	0,1540

Fonte: Dados do próprio autor.

5.2 DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO NO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA

Nos cálculos de consumo, descritos e realizados anteriormente, optou-se pela não consideração da potência referente ao chuveiro elétrico nos mesmos. Nas entrevistas realizadas, uma grande parte dos assentados frisou que a utilização do chuveiro elétrico, no aquecimento da água dos banhos, se dava apenas quando está frio' – palavras dos assentados. O que se verificou correspondente aos montantes pagos e demais características de uso dos equipamentos. No entanto, achou-se necessário obter-se uma característica para situações nas quais a utilização dos chuveiros elétricos faça-se necessária, em virtude do clima local.

A temperatura média em Ilha Solteira está na faixa de 26°C. A média das máximas se encontra pouco acima de 32°C, porém, eventualmente, são registradas temperaturas máximas acima dos 36°C. A média das mínimas é em torno de 20°C, porém, ocasionalmente, registram-se temperaturas mínimas inferiores à 15°C. O período do ano que apresenta as temperaturas mais anemas ocorre de maio à julho, podendo se estender até o mês de agosto em alguns anos, e caracteriza-se por temperaturas médias de 22 à 23°C nos meses de maio à julho e médias de 23 à 25°C no mês de agosto (CLIMA-FEIS, 2016).

Os meses de abril à setembro são caracterizados pela estiagem e a concentração das chuvas ocorre durante os meses de outubro à março, podendo ainda os meses de abril e setembro apresentarem alguma precipitação relevante, já os demais meses, quando apresentam, tem uma precipitação muito baixa. A umidade relativa média do ar é de cerca de 70%, nos períodos chuvosos pode

ultrapassar os 90% e nos períodos de estiagem e tem uma média em torno de 45%, no entanto, ocasionalmente, esses valores podem ser inferiores à 25% (CLIMA-FEIS, 2016).

Buscando gerar gráficos que pudessem sintetizar ao máximo possível as informações de utilização da energia elétrica nas residências do assentamento, os equipamentos apresentados na Tabela 2 foram agrupados em 9 itens, para evitar um excesso de informações nos gráficos. Os 9 itens propostos para o agrupamento dos equipamentos foram:

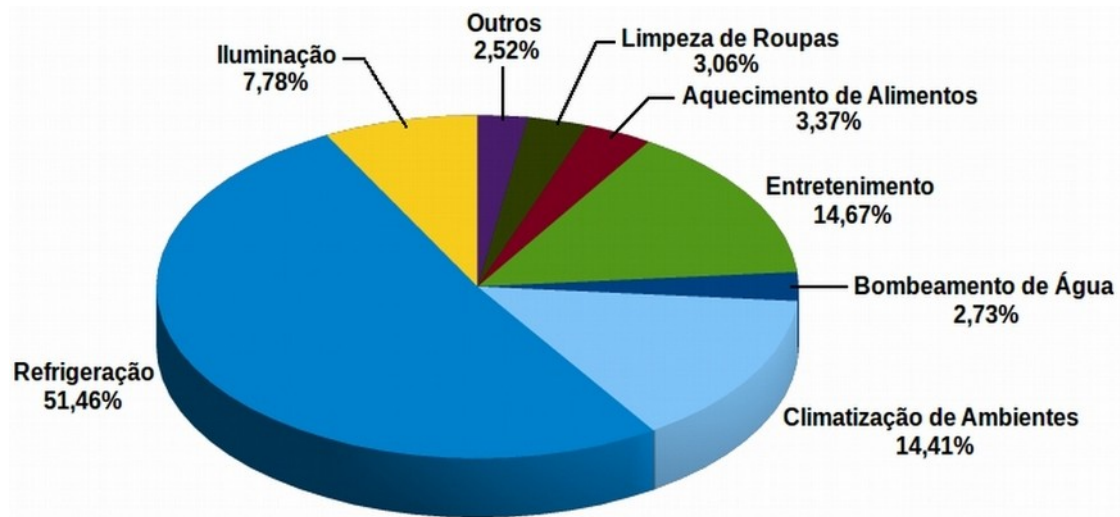
- **Iluminação** – nesse item foram agrupados os equipamentos: lâmpadas incandescentes (60W e 100W) e lâmpadas fluorescentes (18W e 30W). Todos equipamentos usados na iluminação de ambientes.
- **Refrigeração** – nesse item foram agrupados os equipamentos: geladeira de 1 porta (80W), geladeira de 2 portas (120W), freezer (vertical ou horizontal, 130W) e bebedouro (50W). Todos equipamentos usados na refrigeração de alimentos.
- **Climatização de Ambientes** – nesse item foram agrupados os equipamentos: ventilador convencional (65W), ventilador de teto (120W) e ar condicionado com menos de 14.000 Btu (760W). Todos equipamentos usados para climatizar ambientes.
- **Bombeamento de Água** – nesse item foram agrupados os equipamentos: bomba d'água para extração da água de um poço (370W) e bomba d'água para irrigação de uma horta (3700W). Ambos equipamentos usados em zonas rurais para bombear água.
- **Entretenimento** – nesse item foram agrupados os equipamentos: televisor de tecnologia CRT (100W), televisor de tecnologia LED (110W), televisor de tecnologia LCD (190W), aparelho de som (100W), rádio simples (20W), aparelho de DVD (15W) e modem com transmissão local Wi-Fi (15W). Todos equipamentos usados em momentos de lazer ou recreação, para entretenimento de alguma forma.
- **Aquecimento de Alimentos** – nesse item foram agrupados os equipamentos: micro-ondas (1200W), forno elétrico de tamanho pequeno (800W) e cafeteira (600W). Todos equipamentos usados no aquecimento de

alimentos para consumo.

- **Limpeza de Roupas** – nesse item foram agrupados os equipamentos: máquina de lavar roupas (500W) e tanquinho (150W). Ambos equipamentos usados lavar peças de roupa diversas.
- **Chuveiro Elétrico** – nesse item foi colocado o equipamento chuveiro elétrico (4500W), usado para aquecimento de água para banhos.
- **Outros** – nesse item foram agrupados os equipamentos: ferro elétrico (1000W), bicicleta elétrica (360W), chocadeira (100W), triturador (1110W), tanque de leite (1840W) e ordenha (2200W). Os equipamentos nesse item não se encaixavam de maneira ideal em outros itens, são os casos do ferro elétrico e da bicicleta elétrica, ou são equipamentos próprios de zonas rurais, que é o caso dos demais equipamentos.

Após o tratamento dos dados foram obtidos os gráficos de utilização de energia elétrica apresentados nas Figuras de 14 à 21.

Figura 14 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 1.

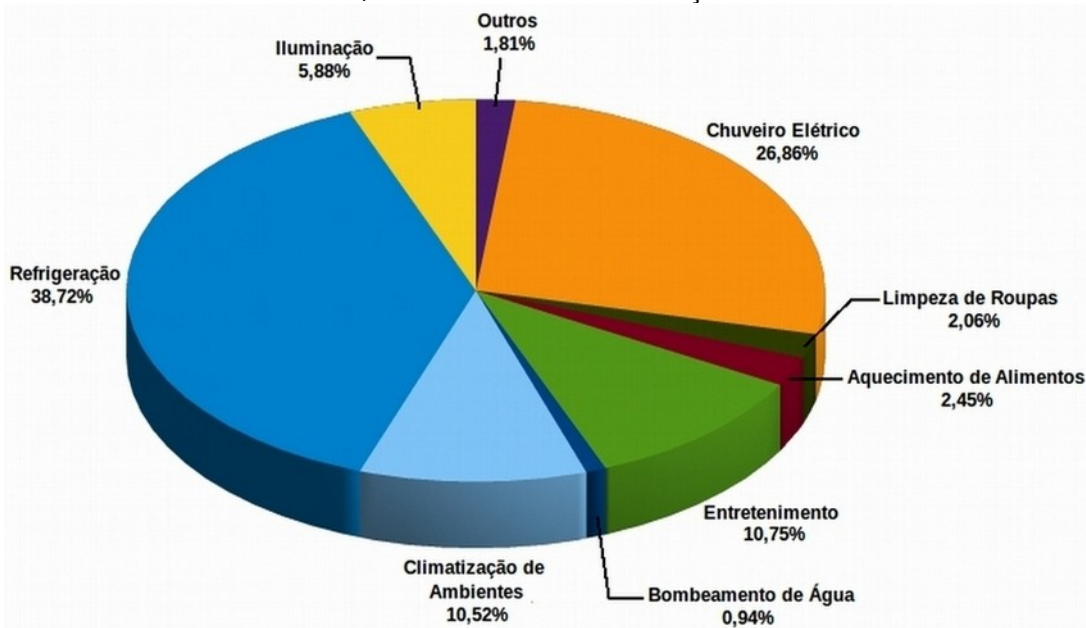


Fonte: O próprio autor.

Nota-se que a característica de uso da energia elétrica nos consumidores que compõe a faixa 1, apresentada na Figura 14, dá-se majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 51,46% do total do consumo de energia elétrica na residência. Dos demais itens, os que apresentam maior relevância são o Entretenimento, a Climatização de Ambientes e a Iluminação, que correspondem, respectivamente, à 14,67%, 14,41% e 7,78% do montante total de

consumo.

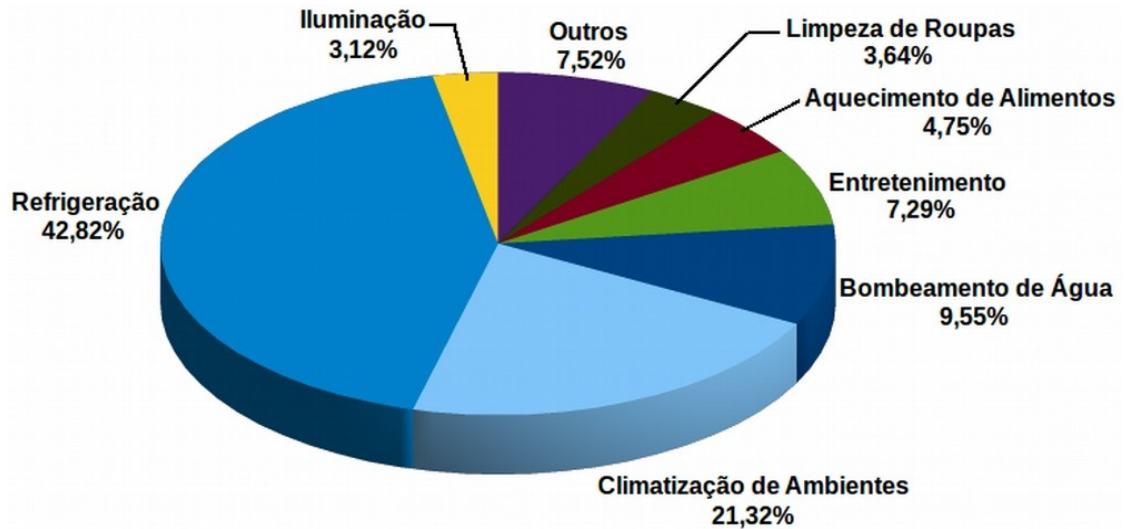
Figura 15 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 1, considerando a utilização do chuveiro elétrico.



Fonte: O próprio autor.

Ainda analisando os consumidores que compõe a faixa 1, inserindo a utilização do equipamento Chuveiro Elétrico, tem-se um aumento de cerca de 36,72% do consumo de energia elétrica. Na Figura 15, mostra-se a característica de uso da energia elétrica na faixa citada, que continua majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 38,72% do novo consumo na residência. Os itens Entretenimento, Climatização de Ambientes e Iluminação, antes de maior relevância, agora correspondem, respectivamente, à 10,75%, 10,52% e 5,88% do montante total. Já o equipamento inserido, Chuveiro Elétrico, corresponde a fatia de 26,86% do novo consumo.

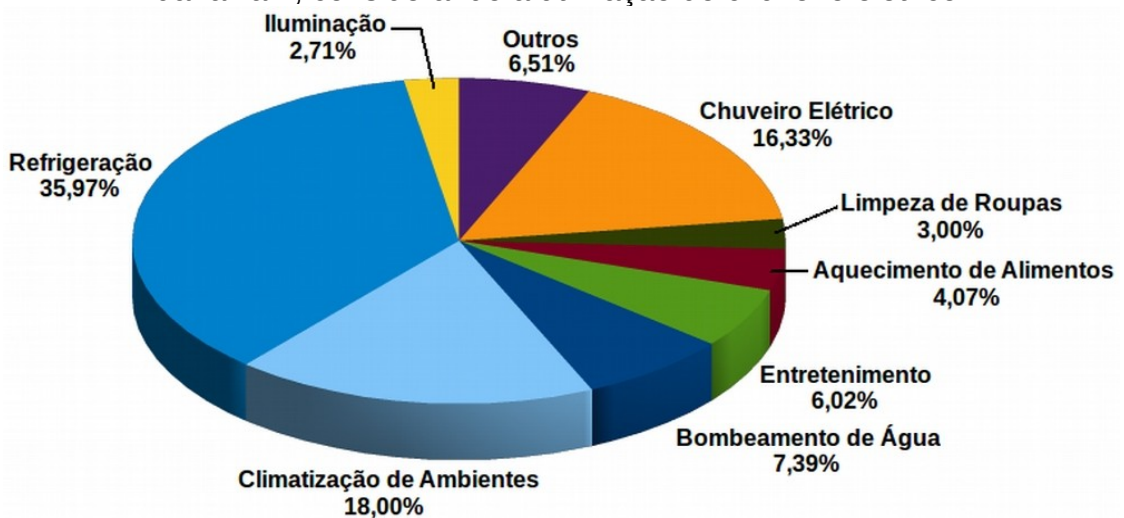
Figura 16 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 2.



Fonte: O próprio autor.

Nota-se que a característica de uso da energia elétrica nos consumidores que compõe a faixa 2, apresentada na Figura 16, dá-se majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 42,82% do total do consumo de energia elétrica na residência. Dos demais itens, os que apresentam maior relevância são a Climatização de Ambientes, o Bombeamento de Água, os Outros e o Entretenimento, que correspondem, respectivamente, à 21,32%, 9,55%, 7,52 e 7,29% do montante total de consumo.

Figura 17 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 2, considerando a utilização do chuveiro elétrico.

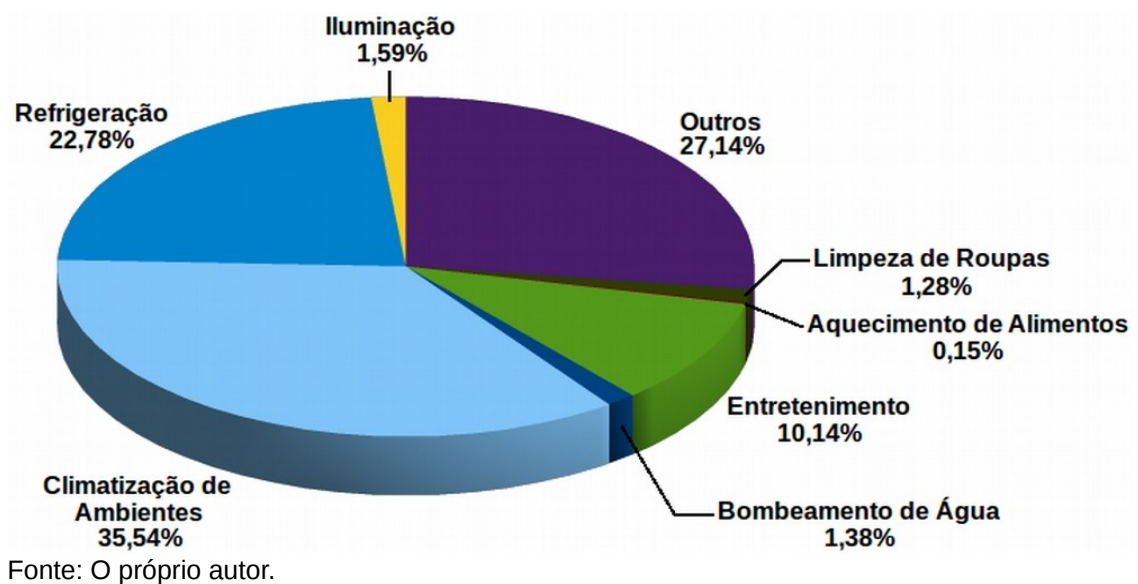


Fonte: O próprio autor.

Ainda analisando os consumidores que compõe a faixa 2, inserindo a utilização do equipamento Chuveiro Elétrico, tem-se um aumento de cerca de 19,52% do

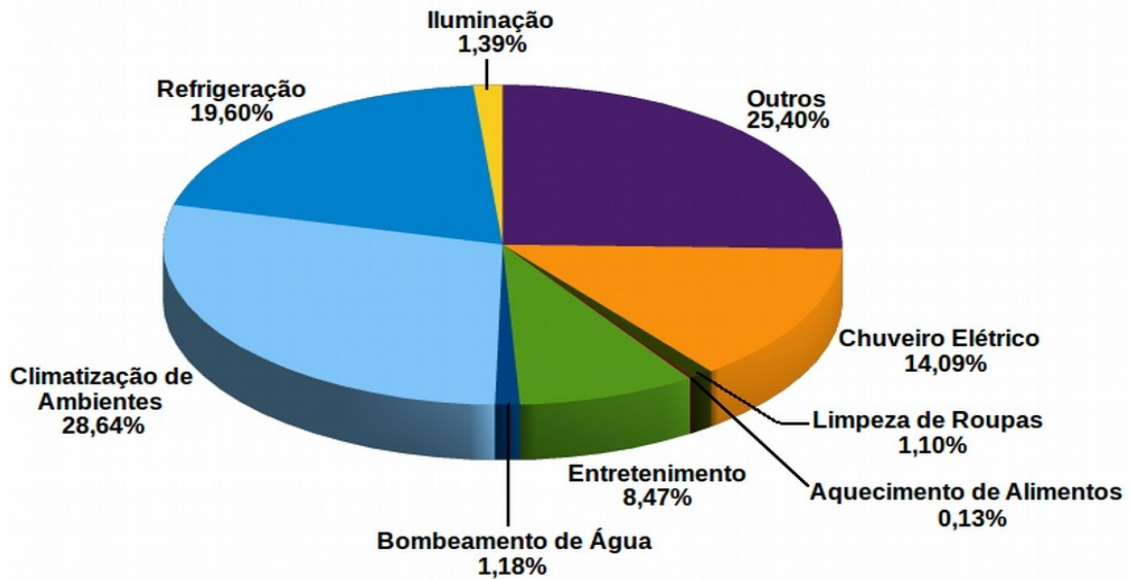
consumo de energia elétrica. Na Figura 17, mostra-se a característica de uso da energia elétrica na faixa citada, que continua majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 35,97% do novo consumo na residência. Os itens Climatização de Ambientes, Bombeamento de Água, Outros e Entretenimento, antes de maior relevância, agora correspondem, respectivamente, à 18%, 7,39%, 6,51% e 6,02% do montante total. Já o equipamento inserido, Chuveiro Elétrico, corresponde a fatia de 16,33% do novo consumo.

Figura 18 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 3.



Nota-se que a característica de uso da energia elétrica nos consumidores que compõe a faixa 3, apresentada na Figura 18, dá-se majoritariamente em função da Climatização de Ambientes, responsável por 35,54% do total do consumo de energia elétrica na residência. Dos demais itens, os que apresentam maior relevância são os Outros, a Refrigeração dos alimentos e o Entretenimento, que correspondem, respectivamente, à 27,14%, 22,78% e 10,14% do montante total de consumo.

Figura 19 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores da faixa 3, considerando a utilização do chuveiro elétrico.

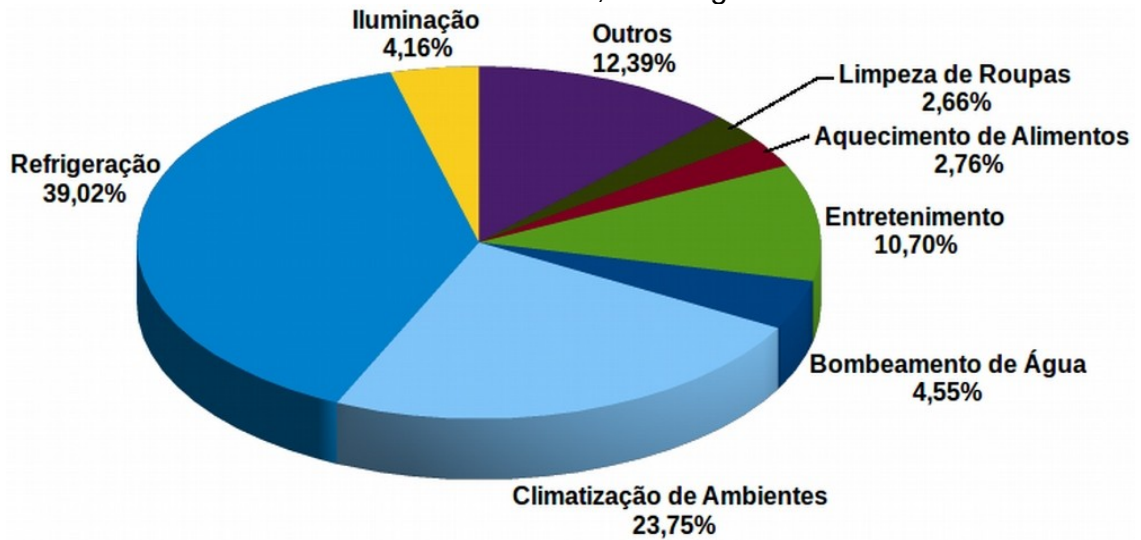


Fonte: O próprio autor.

Ainda analisando os consumidores que compõe a faixa 3, inserindo a utilização do equipamento Chuveiro Elétrico, tem-se um aumento de cerca de 16,4% do consumo de energia elétrica. Na Figura 19, mostra-se a característica de uso da energia elétrica na faixa citada, que continua majoritariamente em função da Climatização de Ambientes, responsável por 28,64% do novo consumo na residência. Os itens Outros, Refrigeração dos alimentos e Entretenimento, antes de maior relevância, agora correspondem, respectivamente, à 25,4%, 19,6% e 8,47% do montante total. Já o equipamento inserido, Chuveiro Elétrico, corresponde a fatia de 14,09% do novo consumo.

As caracterizações feitas, para as 3 faixas escolhidas em nossa análise, tiveram por objetivo criar o melhor panorama possível do uso da energia elétrica, no Assentamento Estrela da Ilha, dadas as acentuadas diferenças que foram notadas entre as residências, tanto estruturalmente, quanto nos equipamentos e uso dos mesmos. Na sequência, serão apresentadas as caracterizações do consumo de energia elétrica percentual médio considerando todo o assentamento, Figuras 20 e 21.

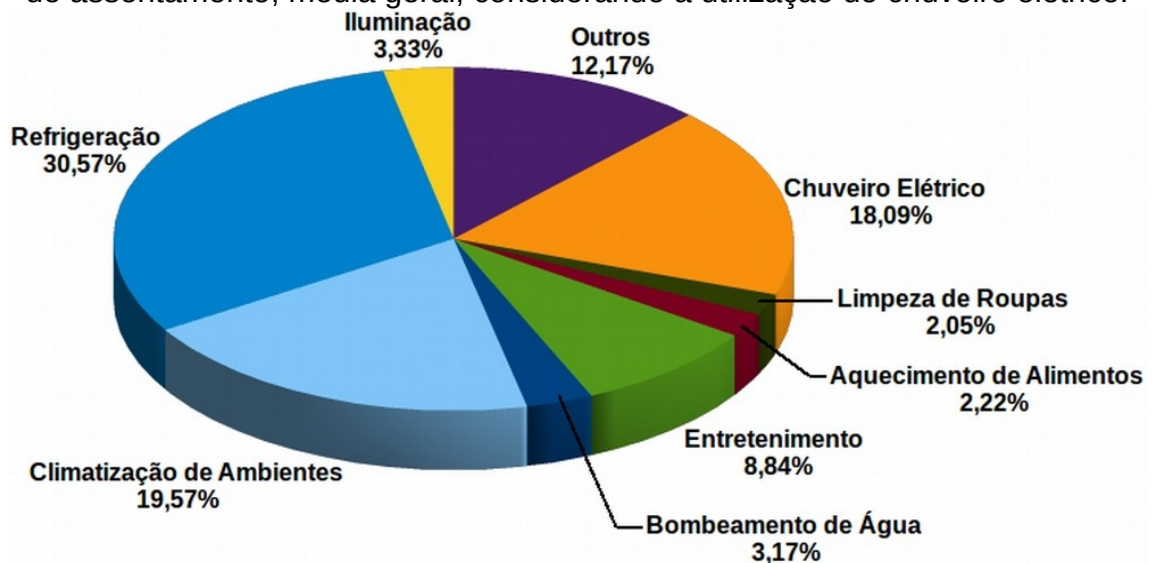
Figura 20 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores do assentamento, média geral.



Fonte: O próprio autor.

Nota-se que a característica de uso da energia elétrica para os consumidores do Assentamento Estrela da Ilha, apresentada na Figura 20, dá-se majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 39,02% do total do consumo de energia elétrica na residência. Dos demais itens, os que apresentam maior relevância são a Climatização de Ambientes, os Outros e o Entretenimento, que correspondem, respectivamente, à 23,75%, 12,39% e 10,7% do montante total de consumo.

Figura 21 - Consumo médio percentual de energia elétrica dos consumidores do assentamento, média geral, considerando a utilização do chuveiro elétrico.



Fonte: O próprio autor.

Inserindo a utilização do equipamento Chuveiro Elétrico, tem-se um aumento de cerca de 22,08% do consumo de energia elétrica. Na Figura 21, mostra-se que a característica de uso da energia elétrica continua majoritariamente em função da Refrigeração dos alimentos, responsável por 30,57% do novo consumo na residência. Os itens Climatização de Ambientes, Outros e Entretenimento, antes de maior relevância, agora correspondem, respectivamente, à 19,57%, 12,17% e 8,84% do montante total. Já o equipamento inserido, Chuveiro Elétrico, corresponde a fatia de 18,09% do novo consumo.

Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos valores percentuais de consumo obtidos e apresentados graficamente.

Tabela 5 - Tabela de resumo dos percentuais de consumo, sem e com o uso do chuveiro elétrico.

Item	Faixa 1 (%)		Faixa 2 (%)		Faixa 3 (%)		Média (%)	
	Sem Chuv.	Com Chuv.	Sem Chuv.	Com Chuv.	Sem Chuv.	Com Chuv.	Sem Chuv.	Com Chuv.
Iluminação	7,78	5,88	3,12	2,71	1,59	1,39	4,16	3,33
Refrigeração	51,46	38,72	42,82	35,97	22,78	19,60	39,02	30,57
Climatização de Ambientes	14,41	10,52	21,32	18,00	35,54	28,64	23,75	19,57
Bombeamento de Água	2,73	0,94	9,55	7,39	1,38	1,18	4,55	3,17
Entretenimento	14,67	10,75	7,29	6,02	10,14	8,47	10,70	8,84
Aquecimento de Alimentos	3,37	2,45	4,75	4,07	0,15	0,13	2,76	2,22
Limpeza de Roupas	3,06	2,06	3,64	3,00	1,28	1,10	2,66	2,05
Chuveiro Elétrico	0	26,86	0	16,33	0	14,09	0	18,09
Outros	2,52	1,81	7,52	6,51	27,14	25,40	12,39	12,17

Fonte: O próprio autor.

5.3 ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO DOS SISTEMAS PROPOSTOS

Previamente às análises de investimentos, deve-se definir qual será a taxa mínima de atratividade aceitável em nossos empreendimentos.

Uma primeira avaliação se concentra na mais simples aplicação de dinheiro que renda juros, a poupança. Ela é, provavelmente, a primeira aplicação que nos vem a mente quando se pensa em maneiras de nosso dinheiro gerar mais dinheiro. A rentabilidade desse investimento é variável mensalmente, porém se encontra em uma faixa de 7 à 10% ao ano. Tal faixa é decorrente do método implicado em seu cálculo: 0,5% fixos ao mês acrescidos de uma remuneração extra dada pela Taxa Referencial (TR), costumeiramente variando entre 0,05 e 0,2%.

Uma outra possível aplicação de nosso capital seriam os fundos de investimento em renda fixa e títulos com taxas pré e pós-fixadas, os quais tem rentabilidades anuais superiores a 11%, podendo alcançar valores próximos a 15% ao ano em alguns casos. Tais aplicações tem a desvantagem de requererem montantes mais elevados, superiores a mil reais, para serem realizadas.

5.3.1 Análise dos Sistemas de Aquecimento Solar (SAS)

Para iniciar as avaliações do uso de SAS deve-se definir, em vista do comportamento já citado de uso do chuveiro elétrico, um período em que o equipamento viria a ser utilizado. Levando em consideração as características climáticas da região foi estipulado um uso de três meses durante o ano, referente ao período com temperaturas mais baixas.

Seguindo o disposto na ABNT/NBR 7198:1993 foram definidos os parâmetros de consumo de água quente por pessoa, entre 30 e 50 litros diários, e temperatura ideal para uso humano, inferior a 40 °C. A partir da análise dos dados fornecidos pelo CRAS (2015), encontra-se uma média de 3 pessoas por residência. Outros parâmetros que devem ser mencionados são a temperatura ambiente da água, estipulada em 25 °C, o rendimento na captação da energia solar pelas placas do SAS, em média 60%, e um fator de economia média do SAS, em relação ao chuveiro elétrico, de cerca de 90% para esse tipo de projeto.

Com as informações colhidas através das entrevistas foi possível calcular uma

média de tempo de banho para cada uma das faixas nas quais os consumidores do assentamento foram distribuídos, na Tabela 6, apresentam-se os tempos médios de banhos por faixa, assim como o acréscimo em kWh mensais que a utilização de um chuveiro elétrico representaria em cada caso.

Tabela 6 - Tempos médios de banho e aumento de consumo por faixa de consumidor.

Faixa	Tempo médio de banho (minutos)	Aumento (kWh/mês)
1	7	47,25
2	9	60,75
3	12	81,00

Fonte: O próprio autor.

Em função dos parâmetros expostos, escolheu-se utilizar de um kit comercial básico, que várias empresas disponibilizam, e que consiste de um boiler de 200 litros e de uma placa de captação de 2 m² de superfície. Esse equipamento é próprio para residências de até 120 m².

Nos cálculos assume-se que a temperatura desejada para a água no boiler do sistema é de 40 °C. A seguir apresentam-se os cálculos da superfície necessária de placa para obter-se esse valor de aquecimento da água (elevação de 15 °C).

Valendo-se dos dados disponibilizados por CLIMA-FEIS (2016), obtiveram-se os valores de radiação solar global para a cidade de Ilha Solteira, de 17,6 MJ/m².dia e também os valores de insolação diária em 6,6 horas, dados referentes ao ano de 2014. Os dados foram aplicados em (20):

$$S = \frac{\frac{200}{6,6} \cdot 1 \cdot (40 - 25)}{\frac{17,6 \cdot 1000 \cdot 0,239005736}{12} \cdot 0,6} = 2,1612 [m^2] \quad (20)$$

Nota-se que a placa precisaria ter uma área pouco maior que a padronizada de 2 m². No entanto, por não ser uma diferença muito grande, calcula-se o valor de elevação de temperatura em graus Celsius que a placa de 2 m² é capaz proporcionar aos 200 litros de água, exposto em (21):

$$T_d = \frac{\frac{17,6 \cdot 1000 \cdot 0,239005736}{12} \cdot 0,6 \cdot 2}{\frac{200}{6,6} \cdot 1} = 13,881 [^\circ C] \quad (21)$$

Assim, o aquecimento proporcionado pela placa de 2 m² é suficiente para elevar a temperatura no boiler a um patamar de 38,88 °C. Tal temperatura é aceitável para uso humano, visto que se encontra em um nível satisfatório para higienização, portanto, adota-se o *kit* comercial como o equipamento a ser utilizado.

Por fim, calcula-se o resistor a ser colocado no *boiler*, que tem a finalidade de aquecer a água no mesmo em dias nos quais haja uma eventual falta de incidência solar. O cálculo é apresentado em (22), adota-se $r = 8 \Omega/l$:

$$R = 8 \cdot 200 = 1600 [\Omega] \quad (22)$$

Agora, considerando a média de economia de energia de 90% em relação ao chuveiro elétrico e levando o fato do tipo de consumidor do assentamento ser da classe rural, pagando sempre um ICMS fixo de 18%, apresenta-se, na Tabela 7, uma previsão do impacto que um SAS ocasionaria às faixas de consumidores do assentamento Estrela da Ilha.

Tabela 7 - Economia média com o uso do SAS.

Faixa	Economia (kWh/mês)	Economia (R\$/mês)
1	42,53	22,53
2	54,68	28,97
3	72,90	38,62

Fonte: O próprio autor.

Com os dados obtidos até aqui, pode-se avaliar se o investimento em um equipamento como o apresentado será rentável, ou ao menos, não trará prejuízo para o consumidor que a ele aderir. Um equipamento como o calculado anteriormente tem um preço médio de 2500 (dois mil e quinhentos) reais. Considerando o uso do chuveiro elétrico durante três meses do ano e uma taxa mínima de atratividade de 15%, visto que o preço orçado encontra-se dentro das faixas de valores necessárias a investimentos em renda fixa. Tomando como horizonte de tempo para investimento o máximo admitido como viável em um empreendimento, 8 anos. Na Tabela 8, apresenta-se a análise de *payback* do projeto nas condições acima descritas para os consumidores da faixa 1 do assentamento.

Tabela 8 - Payback SAS nas residências da faixa 1 do assentamento, considerando 3 meses de uso do chuveiro elétrico.

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Fluxo de Caixa(R\$)	-2500	67,59	67,59	67,59	67,59	67,59	67,59	67,59	67,59
Acumulado(R\$)	-2500	-2432,41	-2364,82	-2297,23	-2229,64	-2162,05	-2094,96	-2026,87	-1959,28
Valor Presente(R\$)	-2500	58,77	51,11	44,44	38,64	33,60	29,22	25,41	22,10
Valor Presente Líquido(R\$)	-2500	-2441,23	-2390,12	-2345,68	-2307,03	-2273,43	-2244,21	-2218,80	-2196,70

Fonte: O próprio autor.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto, nas condições acima, é de -25,36% e o Valor Presente Líquido (VPL) ao final do período seria de -2196,70 reais, como apresenta-se na Tabela 8.

Utilizando os mesmos parâmetros para os consumidores das demais faixas do assentamento, obtêm-se o que segue na Tabela 9.

Tabela 9 - Avaliação do SAS, chuveiro 3 meses por ano.

Faixa	TIR (%)	VPL (R\$)
2	-22,06	-2.110,01
3	-17,97	-1.980,10

Fonte: O próprio autor.

Agora, em caráter avaliativo, considerando o uso do chuveiro elétrico durante todo o ano, têm-se como segue na Tabela 10.

Tabela 10 - Avaliação do SAS, chuveiro o ano todo.

Faixa	TIR (%)	VPL (R\$)
1	-3,11	-1.286,81
2	2,43	- 940,03
3	9,70	- 420,40

Fonte: O próprio autor.

5.3.2 Análise dos sistemas fotovoltaicos

Utilizando dos dados de CLIMA-FEIS (2016) quanto a radiação solar global, 17,6 MJ/m².dia, calcula-se o valor médio de geração de um painel na cidade de Ilha Solteira. Valendo-se das eficiências mínimas apresentadas por painéis e inversores comerciais, 15% e 94%, respectivamente. Aplicando os dados em (23), tem-se:

$$E_p = 17,6 \cdot 277,78 \cdot 1,6335 \cdot 0,15 \cdot 0,94 = 1,126 [kWh/dia] \quad (23)$$

Portanto, um painel fotovoltaico de 1,6335 m² (250 Wp), na cidade de Ilha Solteira geraria cerca de 33,781 kWh/mês.

Um ponto importante a ser definido é o tipo de sistema fotovoltaico a ser utilizado. Ambos tem seus pontos fortes, o sistema FV isolado proporciona uma autonomia ao consumidor, em vista do armazenamento da energia em baterias, e o SFCR evita, em especial, o uso de baterias para o armazenamento da energia, que é um aspecto ligado à questão ambiental, em vista do descarte dessas mesmas ao final de sua vida útil.

Pelo lado financeiro não há diferença relevante no valor final dos sistemas que geram quantidades de energia de 200 kWh/mês ou superiores, isso se deve principalmente ao fato de que os sistemas isolados tem um maior número de componentes (painéis solares, inversores, controladores de carga e baterias estacionárias), mesmo eles sendo mais baratos. Para elucidar melhor essa questão avalia-se a seguinte situação:

- SFCR para 210 kWh/mês: 6 painéis solares de 250 Wp (custo médio de R\$ 1.150,00 cada) mais um inversor próprio de 1.500W (custo médio de R\$ 6.500,00);
- Sistema FV Isolado para 210 kWh/mês: 6 painéis solares de 250 Wp (com custo médio de R\$ 1.150,00 cada), dois inversores próprios de 1.000W (com custo médio de R\$ 950,00 cada), dois controladores de carga de 60A (custo médio de R\$ 1.600,00 cada) mais duas baterias estacionárias de 220Ah/240Ah (custo médio de R\$ 1.000,00 cada).

Como nota-se, o SFCR tem seu custo médio de R\$ 13.400,00 no total, já o Sistema FV Isolado tem um custo médio de R\$ 14.000,00. Essa diferença, como

exposto anteriormente, é praticamente irrelevante dado o montante final dos sistemas.

Calculando a situação ideal, onde todo o consumo de uma residência fosse suprido com a energia advinda das placas, 210 kWh/mês, o valor poupado na conta de energia elétrica (não considerando uma taxa, que possa vir a existir num futuro, quanto à disponibilidade da rede elétrica ao consumidor) seria o rendimento mensal, sendo assim, avalia-se o retorno de investimento para ambos os casos, em um horizonte de 8 anos, tem-se o apresentado na Tabela 11:

Tabela 11 - Análise sistema fotovoltaico, exemplo.

Sistema	Custo (R\$)	Retorno (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)
SFCR	13.400,00	111,26	- 4,78	-7.408,89
Isolado	14.000,00	111,26	- 5,65	-8.008,89

Fonte: O próprio autor.

Pelo apresentado na Tabela 11, conclui-se que a utilização de um sistema fotovoltaico para suprir o consumo total de uma residência é inviável, ou em outras palavras, o mesmo é desaconselhável em vista do retorno financeiro que o investimento gera.

Um dos fatores encarecedores dos SFCR é o fato de que os inversores de menor potência se encontram na faixa de 1500 W, implicando no uso de ao menos 1000 Wp de painéis, considerando o aspecto técnico do projeto. No entanto, abaixo dessa potência existem os chamados microinversores, que são nada mais que inversores de pequenas potências, e relativamente um baixo custo, que são acoplados unitariamente nos painéis.

Por exemplo, para os painéis utilizados anteriormente, existem microinversores de 250W ~ 300W, que tem um custo médio de R\$ 1350,00. Ainda assim, o custo final do sistema avaliado previamente não teria uma alteração significativa, porém, esse equipamento abre uma possibilidade de avaliar-se diferentes números de painéis solares e seu impacto na conta de energia elétrica, já que cria-se uma unidade geradora de micro porte virtual (painel fotovoltaico + microinversor).

Analisando a possibilidade de utilização de menos painéis solares, buscando um ponto no qual o uso de um determinado número de painéis fosse viável financeiramente esbarra-se no fato do consumidor em análise se enquadrar no tipo de tarifa rural, ou seja, sua conta de energia elétrica, diferentemente dos

consumidores urbanos, possui um aumento incremental contínuo e proporcional ao consumo em kWh. Essa característica linear de cobrança implica no fato de que: se um painel com um microinversor não for financeiramente viável, num horizonte de 8 anos, nenhum outro número dos mesmos será. Na Tabela 12, apresenta-se a avaliação da unidade em questão.

Tabela 12 - Viabilidade da unidade microgeradora.

SFCR	Custo (R\$)	Retorno (R\$/mês)	TIR (%)	VPL (R\$)
1 painel + 1 micro inversor	2.500,00	17,9	- 7,65	-1.536,12

Fonte: O próprio autor.

Pelo apresentado na Tabela 12, a utilização de recursos próprios na compra de um sistema fotovoltaico para os consumidores do assentamento é completamente desaconselhável do ponto de vista do retorno financeiro que o mesmo proporciona.

As avaliações realizadas até aqui apresentam claramente que o uso dos sistemas propostos não são financeiramente aconselháveis aos consumidores do Assentamento Estrela da Ilha. Tais resultados devem-se ao tipo de tarifação aplicada no assentamento, trabalhos como os de Demonti (1998), Benedito (2009) e Aramizu (2010) são realizados com relação às tarifas de consumidores urbanos e, usualmente, em capitais ou grandes cidades brasileiras. Trabalhos avaliando o uso de sistemas fotovoltaicos em áreas rurais, como é o caso de Marini (2001), Giampietro e Racy (2004), Vanni (2008) e Silva et al. (2012), de maneira geral, há a comparação do uso dos mesmos em detrimento ao sistema tradicional, sendo realizados para comunidades isoladas e que não possuem eletrificação.

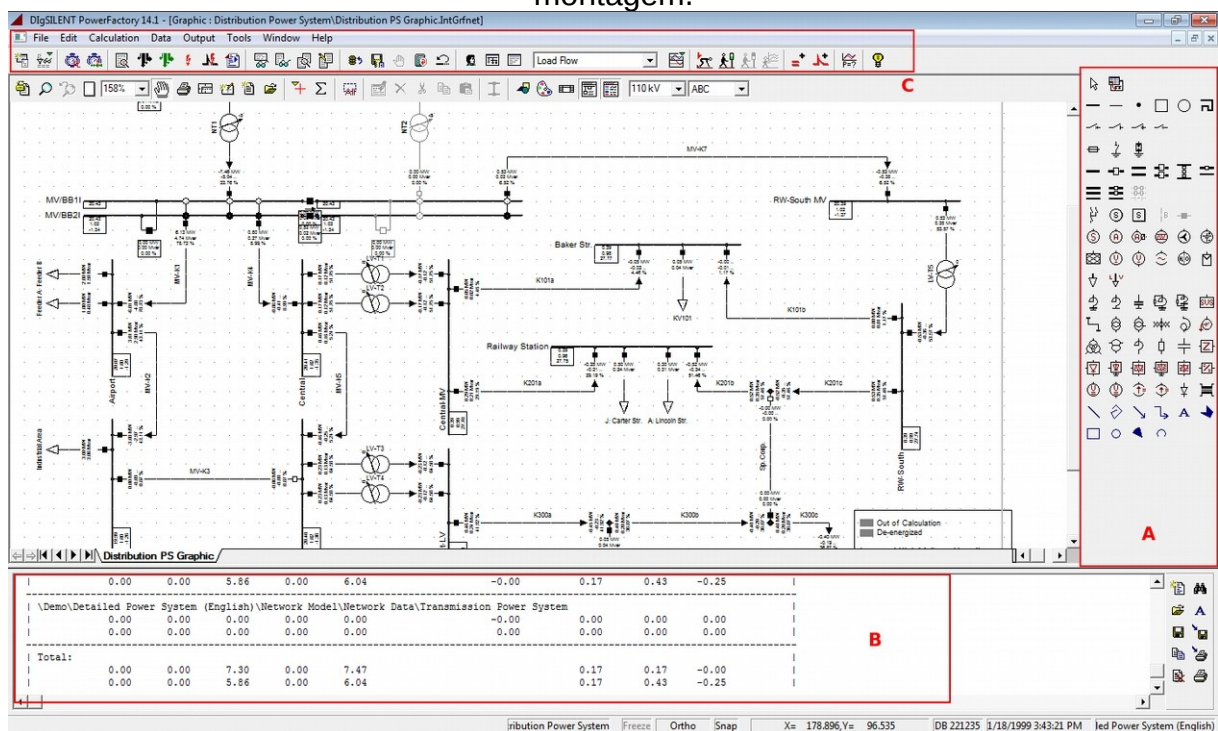
5.4 SIMULAÇÕES DO IMPACTO DECORRENTE DO USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO PERFIL DE TENSÃO DOS TRANSFORMADORES

Nas simulações e análises realizadas sobre a planta elétrica do assentamento Estrela da Ilha foi utilizado o programa PowerFactory de propriedade intelectual e comercial da empresa alemã DlgSILENT.

O PowerFactory é uma ferramenta desenvolvida para uso na engenharia, a qual trabalha com análises de transmissão, distribuição e plantas elétricas industriais. Foi

projetado como um *software* avançado, integrado e interativo, que possui pacotes dedicados à análise do controle para sistemas elétricos de potência, de modo a suprir os principais objetivos para o planejamento, para a operação e para a otimização. A precisão e validade dos resultados obtidos com o PowerFactory foi confirmado por um grande número de implementações feitas por organizações envolvidas no planejamento e operação de sistemas de potência por todo o mundo (DIGSILENT, 2013). Na Figura 22, apresenta-se o ambiente de trabalho do PowerFactory.

Figura 22 - Ambiente de trabalho do *software* PowerFactory. O circuito apresentado não se relaciona ao trabalho, sendo meramente para ilustrar a aparência de uma montagem.



Fonte: O próprio autor.

Como pode-se observar na Figura 22, o ambiente do *software* é dividido em, basicamente, 4 partes. A área indicada por "A" corresponde ao banco de componentes, a área "B" é responsável por apresentar mensagens após uma simulação, a área "C" apresenta os menus e os atalhos mais usuais, por fim, o espaço entre as três áreas funciona como uma prancheta de desenho.

A utilização do *software* é bem intuitiva, basta selecionar os componentes no banco a direita e alocá-los da maneira desejada na área de prancheta. Após alocados os componentes podem ser configurados com quaisquer parâmetros desejados pelo usuário. Quanto a saída de dados há a necessidade de copiar os

mesmos manualmente após uma simulação, selecionando toda a saída apresentada na área “B”.

Em função da dimensão da planta elétrica do assentamento Estrela da Ilha, buscando facilitar as análises e a avaliação dos resultados, a mesma foi dividida em 5 setores, conforme Figura 23.

Figura 23 - Divisão em setores da planta elétrica do assentamento Estrela da Ilha. Em verde temos o setor 2, em laranja o setor 3, em azul o setor 4, em roxo o setor 5, os demais transformadores são integrantes do setor 1.



Fonte: O próprio autor.

Em virtude das análises financeiras dos equipamentos propostos, sistema de aquecimento solar e painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, terem apresentado um custo benefício inviável no que compete a sua aplicação na mitigação do valor pago em energia elétrica a longo prazo, nos consumidores avaliados, optou-se por avaliar-se o impacto que o uso de painéis fotovoltaicos

causaria no desvio de tensão dos transformadores em uma planta elétrica semelhante a do local em estudo.

Para isso, foram alocados, num primeiro momento, uma quantidade de painéis fotovoltaicos correspondendo a 10% do consumo total do assentamento. Foram utilizados painéis de 250 Wp e microinversores apropriados acoplados unitariamente a cada painel, com o intuito de distribuir a potência o mais uniformemente possível, com um painel por residência. A distribuição buscou uma alocação privilegiando as maiores demandas de energia, ou seja, inicialmente para os consumidores da faixa 3, sequencialmente para os da faixa 2 e complementarmente com alguns consumidores da faixa 1.

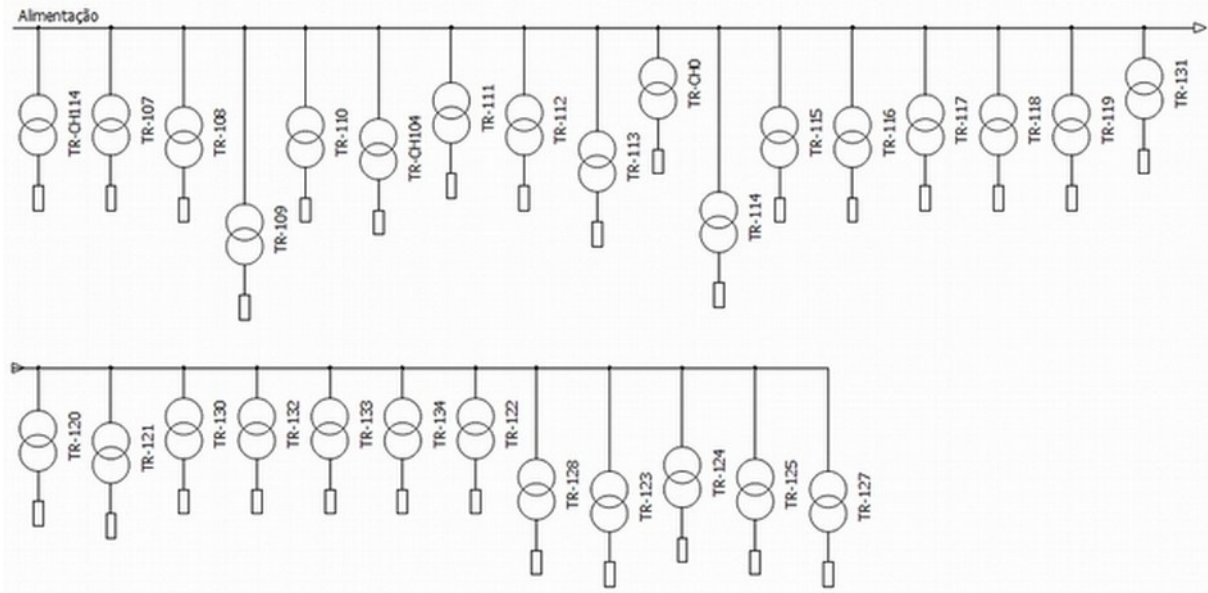
O resultado obtido quando alocados painéis que correspondiam a 10% da demanda total do sistema foi muito pequeno, não ocasionando mudança significativa nos desvios de tensão. Buscando obter informações mais abrangentes quanto ao uso dos painéis FV, foi utilizada uma potência correspondente a 50% da demanda total do sistema. Foram mantidos os mesmos pontos de alocação anteriores, e só eles, procurando evidenciar se o impacto seria significativo nos desvios de tensão no secundário dos transformadores. Um aspecto a ser salientado é que admitiu-se nessa etapa utilizar-se de inversores de uma potência entre 1300 à 1500W para interfacear os vários painéis, visto que seu preço seria equivalente ao de um conjunto de 5 microinversores, visando manter uma distorção harmônica da mesma ordem da anterior.

A seguir apresentam-se os diagramas unifilares de cada um dos setores do assentamento, para um melhor entendimento da distribuição dos transformadores em cada setor, Figuras 24, 27, 30, 33 e 41. Em sequência a cada diagrama apresentam-se os gráficos de desvio de tensão referentes aos secundários dos transformadores do setor, Figuras 25, 26, 28, 29, 31, 32, 34 à 40 e 42 à 44. Os gráficos de desvio de tensão foram feitos utilizando um *software* de planilhas eletrônicas (LibreOffice Calc) através das saídas obtidas de simulações realizadas no PowerFactory.

A terminologia de desvio de tensão foi adotada em virtude de, mesmo se apresentando graficamente como uma diminuição, tratar-se de uma elevação do valor da tensão quando da adição de GD. Houve necessidade dessa abordagem para evidenciar melhor as variações nos secundários dos transformadores, sendo que 1% graficamente refere-se ao valor de 0,01 p.u..

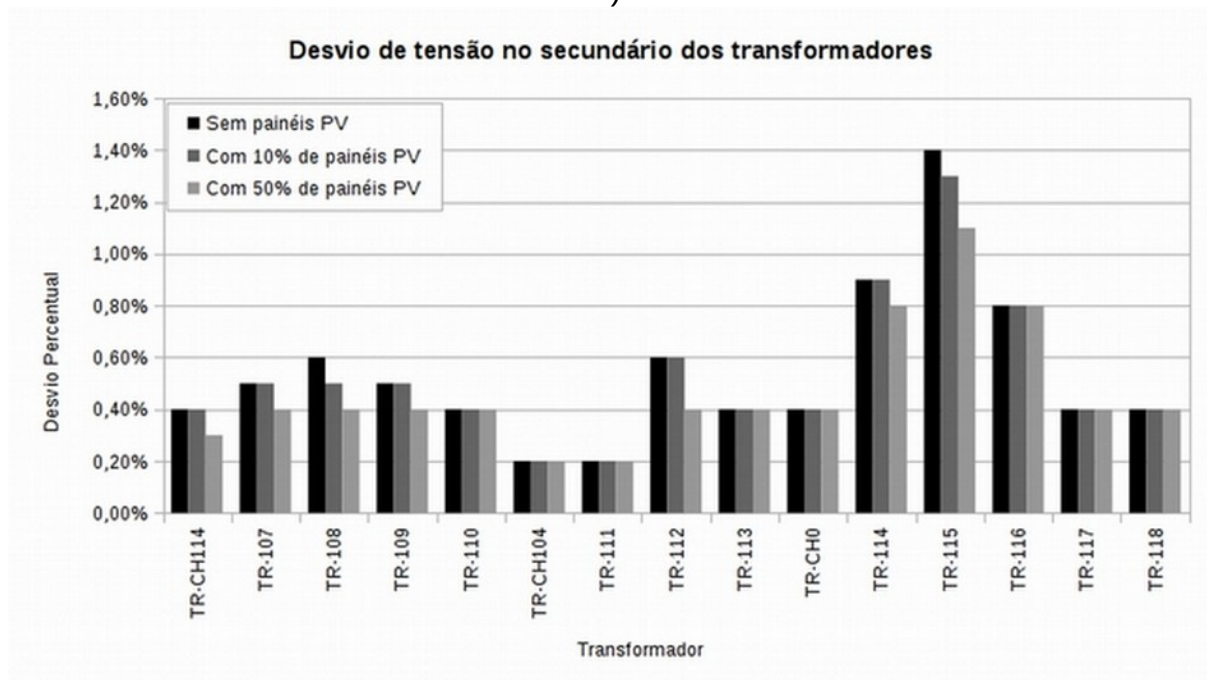
Os transformadores presentes no assentamento são bifásicos com primário em 13,8 kV e secundário em 127V. Na caracterização dos transformadores foi adotada uma reatância de dispersão de 5%.

Figura 24 - Diagrama unifilar do setor 1.



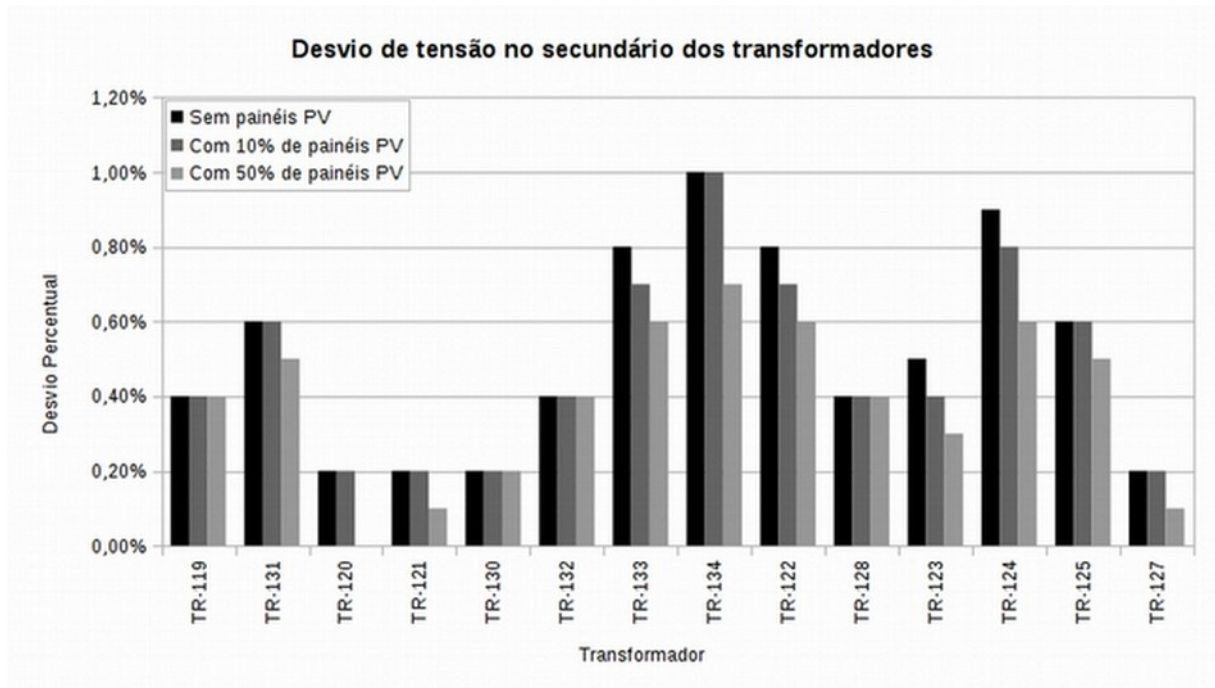
Fonte: O próprio autor.

Figura 25 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 1 (parte 1).



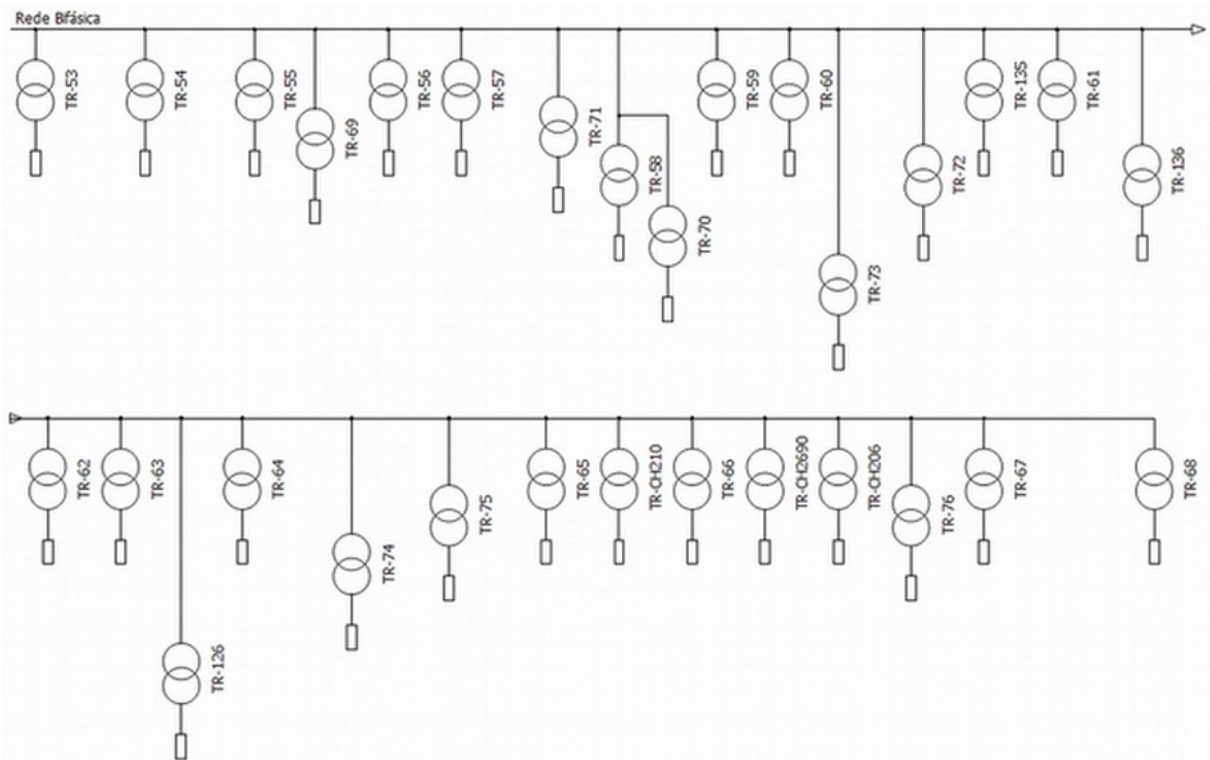
Fonte: O próprio autor.

Figura 26 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 1 (parte 2).



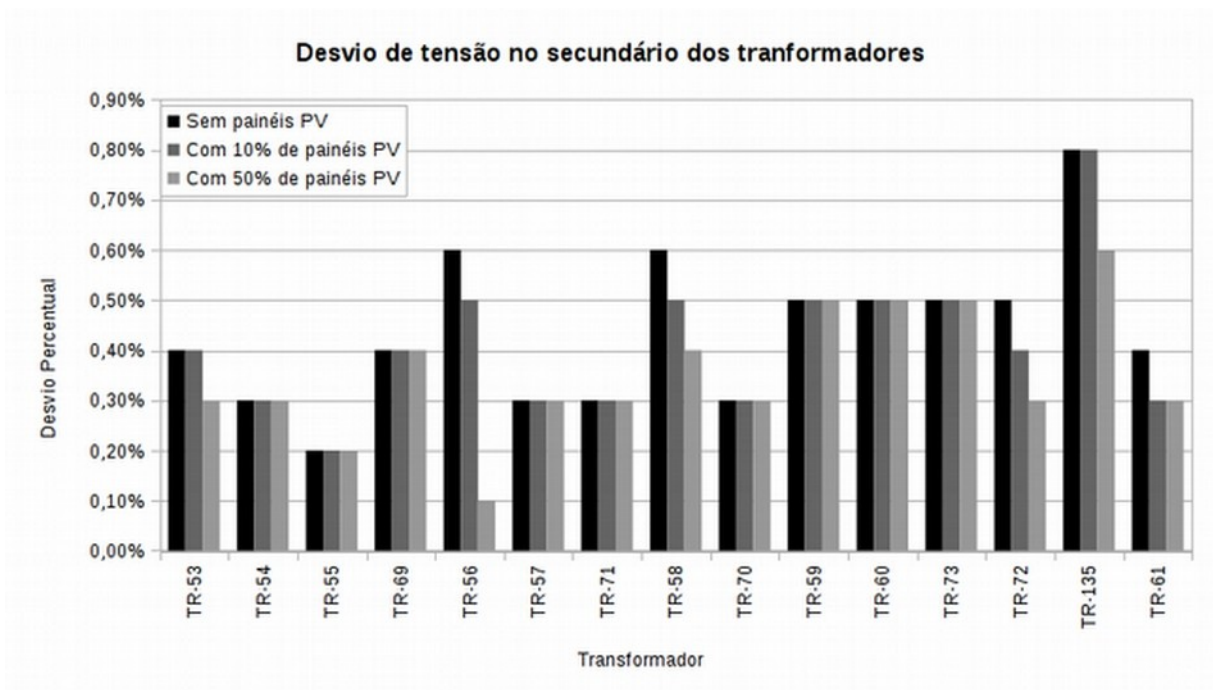
Fonte: O próprio autor.

Figura 27 - Diagrama unifilar do setor 2.



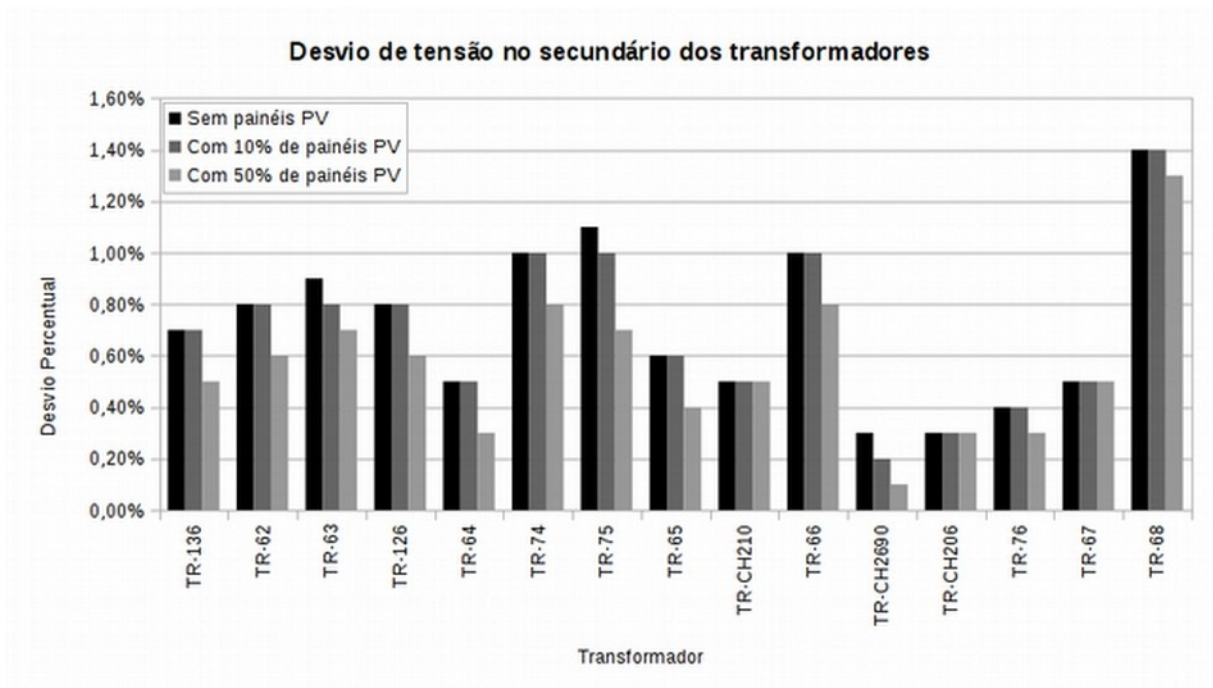
Fonte: O próprio autor.

Figura 28 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 2 (parte 1).



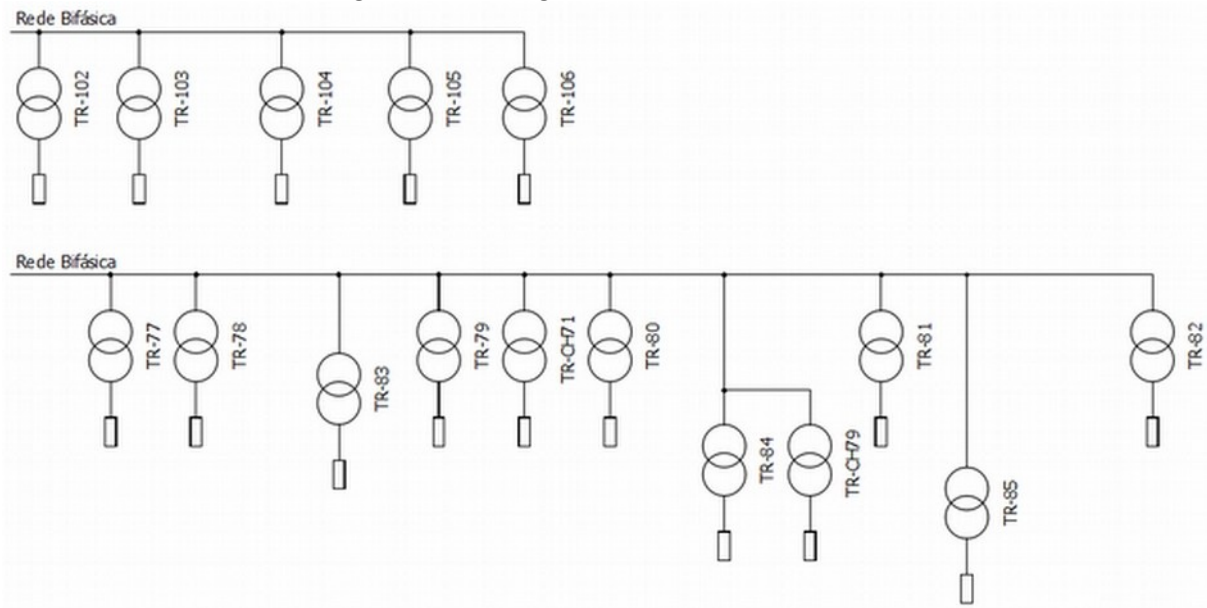
Fonte: O próprio autor.

Figura 29 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 2 (parte 2).



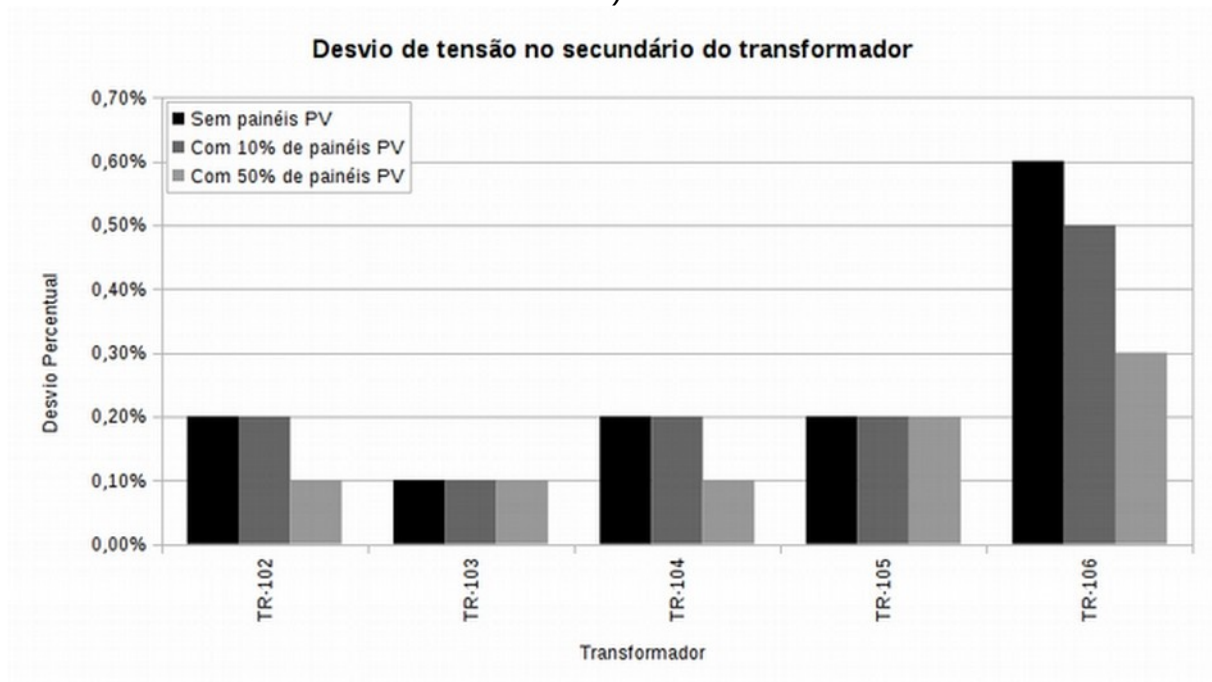
Fonte: O próprio autor.

Figura 30 - Diagrama unifilar do setor 3.



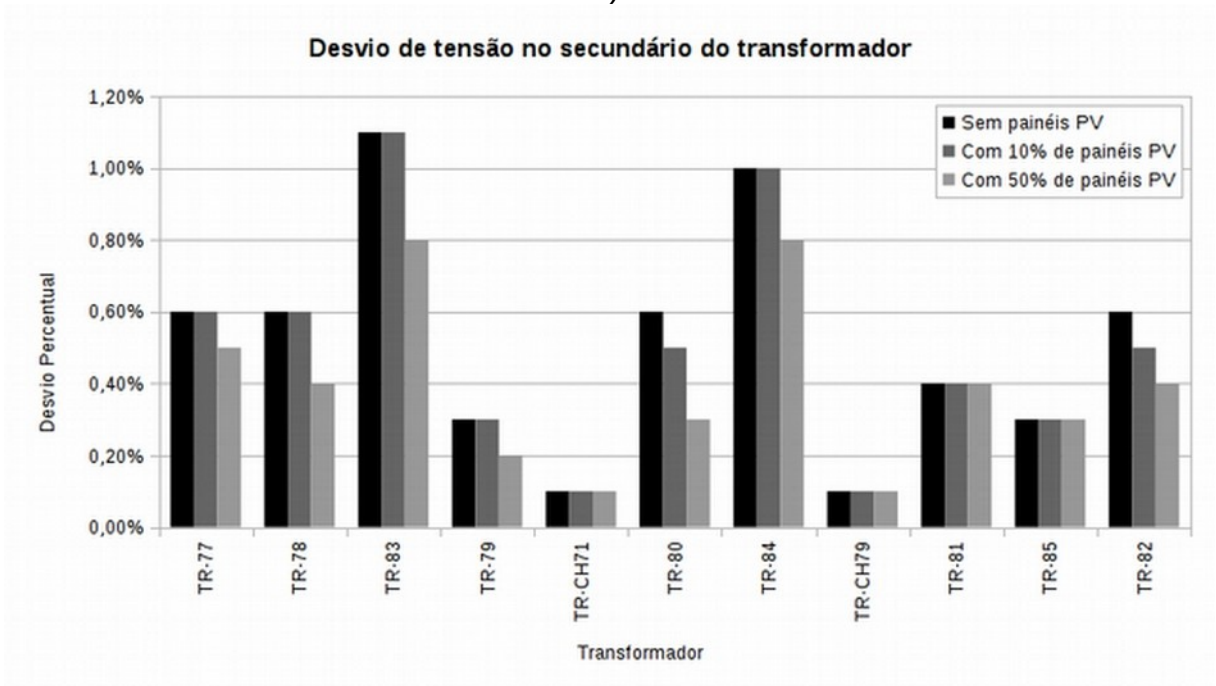
Fonte: O próprio autor.

Figura 31 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 3 (ramo 1).



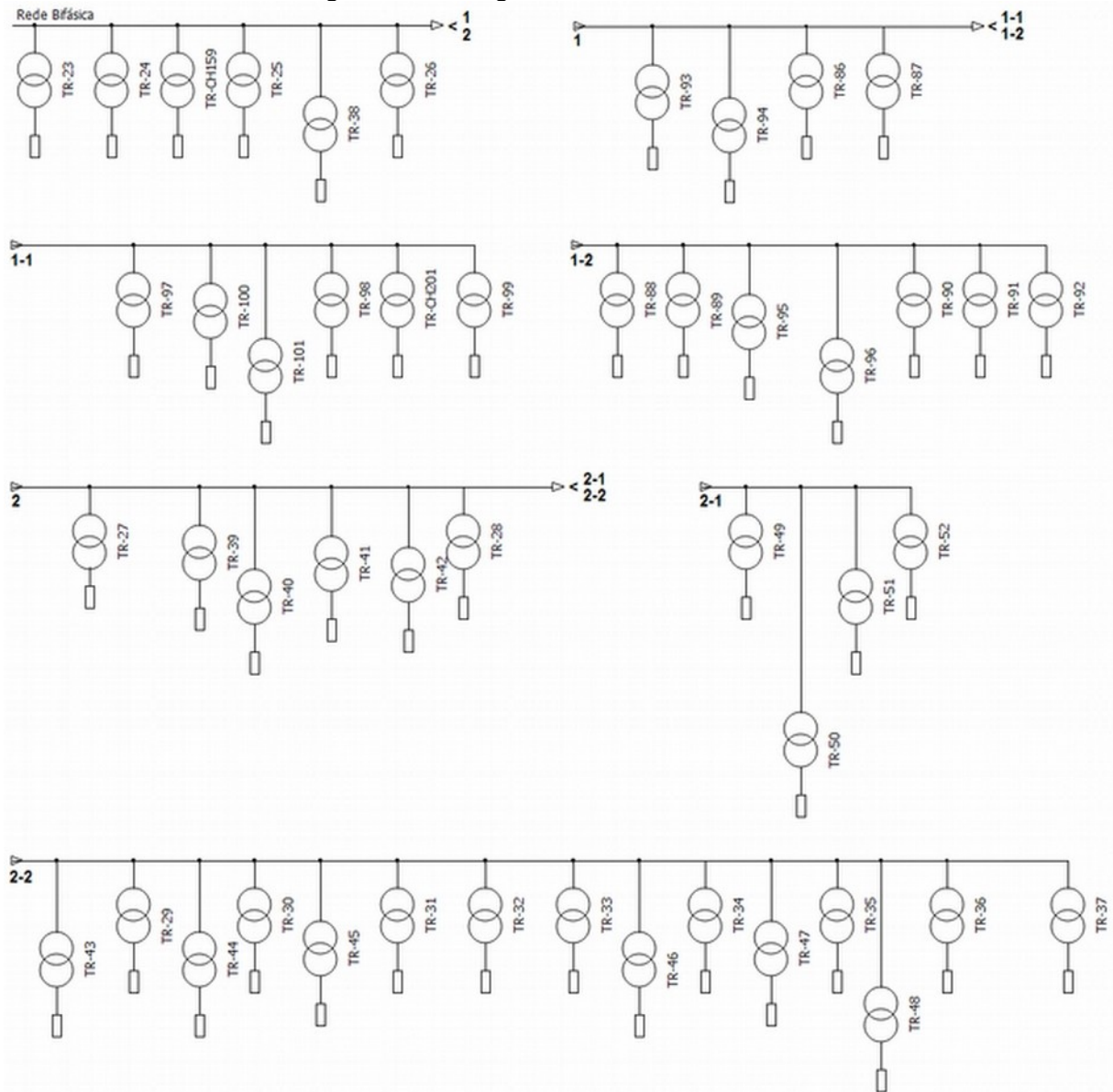
Fonte: O próprio autor.

Figura 32 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 3 (ramo 2).



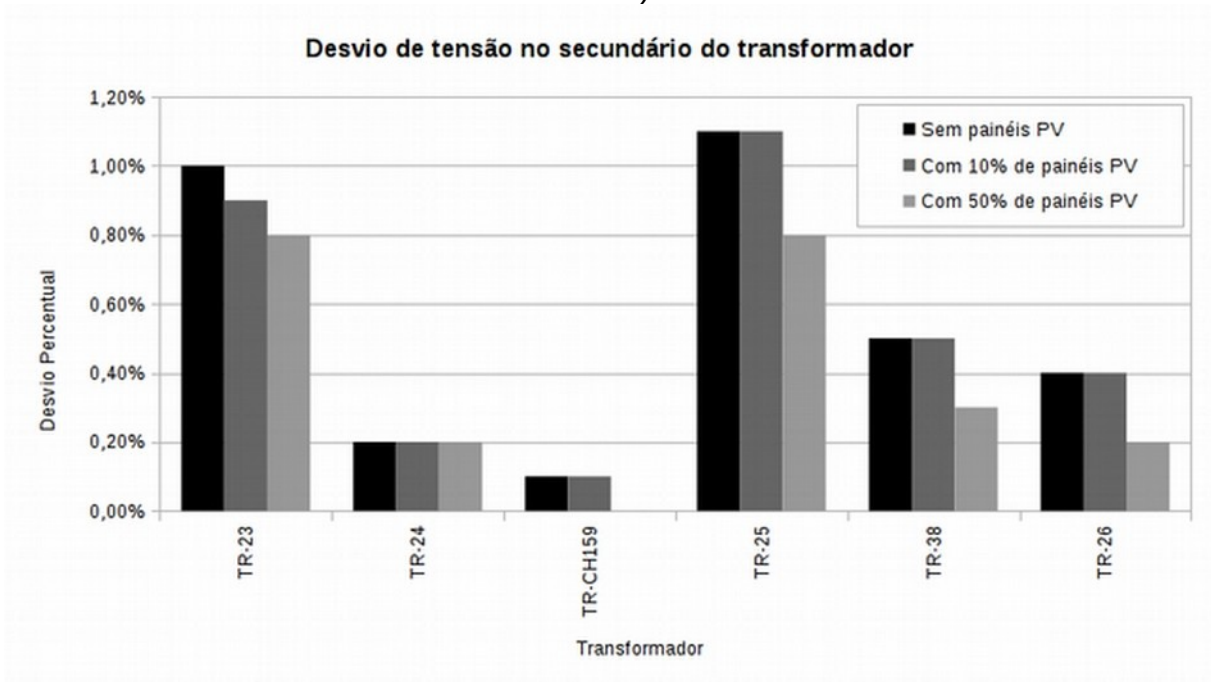
Fonte: O próprio autor.

Figura 33 - Diagrama unifilar do setor 4.



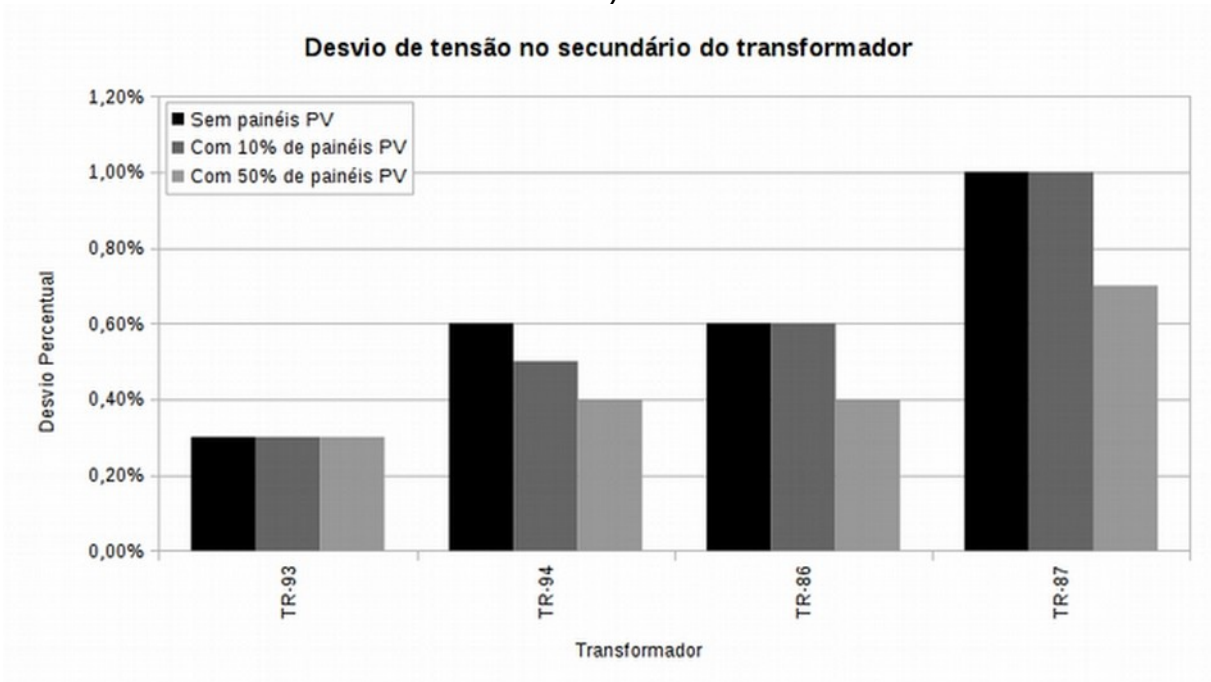
Fonte: O próprio autor.

Figura 34 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho inicial).



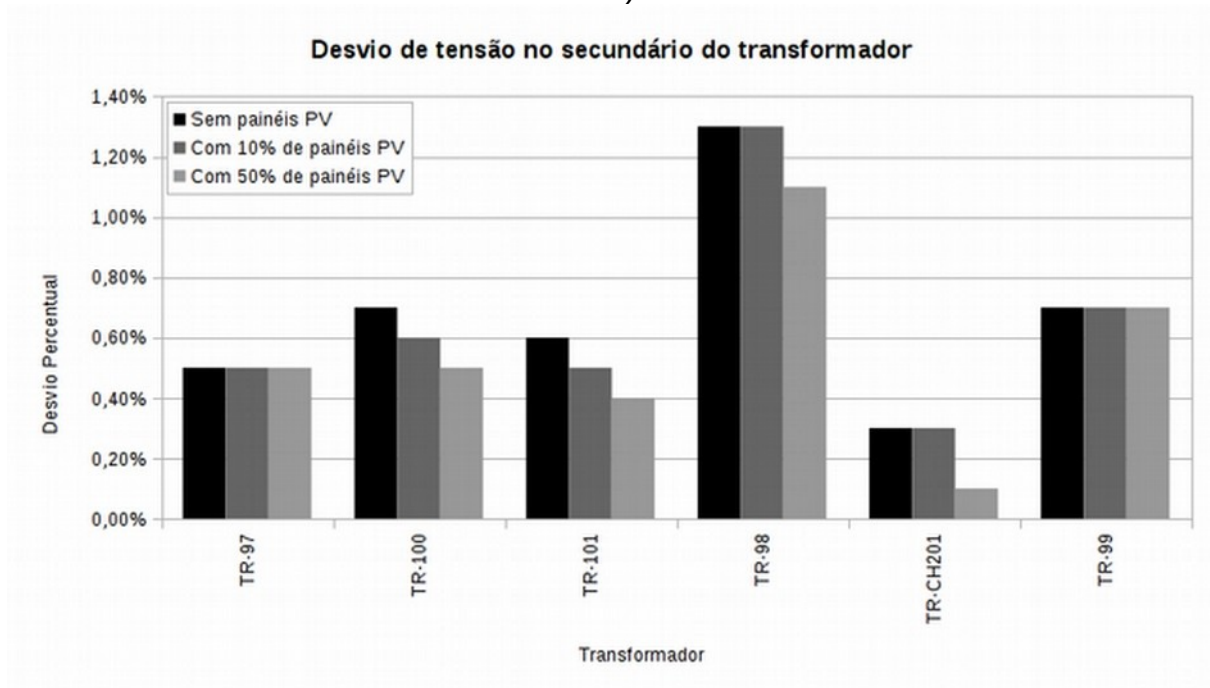
Fonte: O próprio autor.

Figura 35 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1).



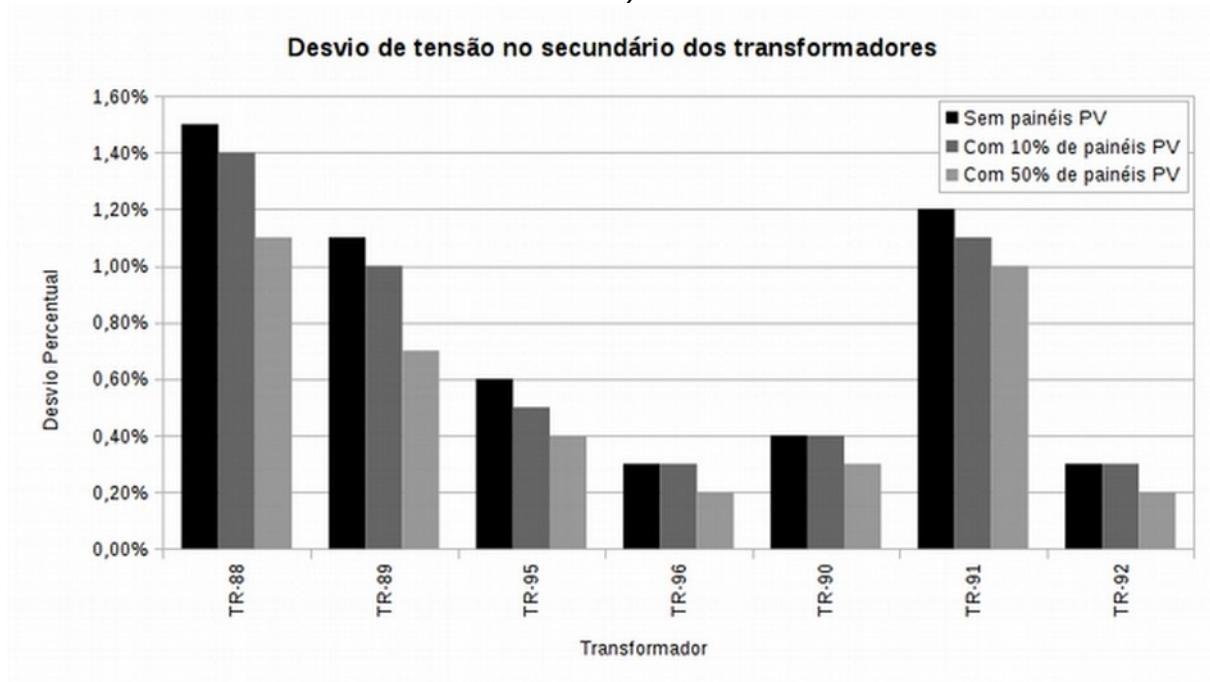
Fonte: O próprio autor.

Figura 36 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1-1).



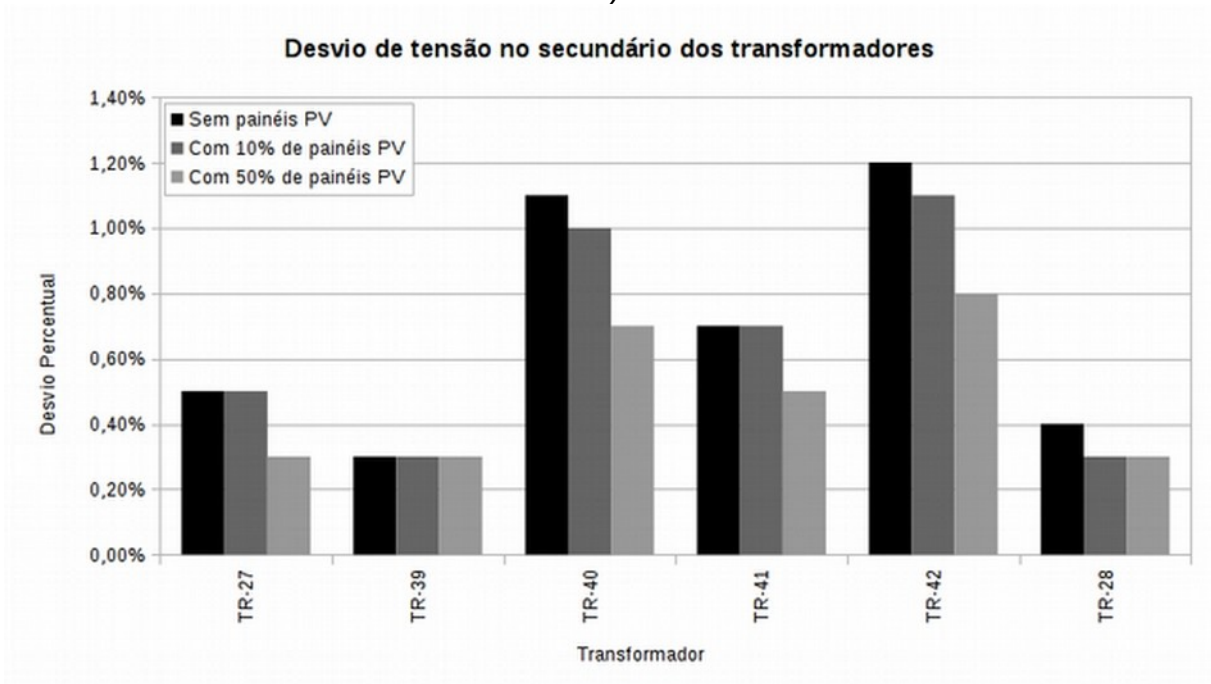
Fonte: O próprio autor.

Figura 37 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 1-2).



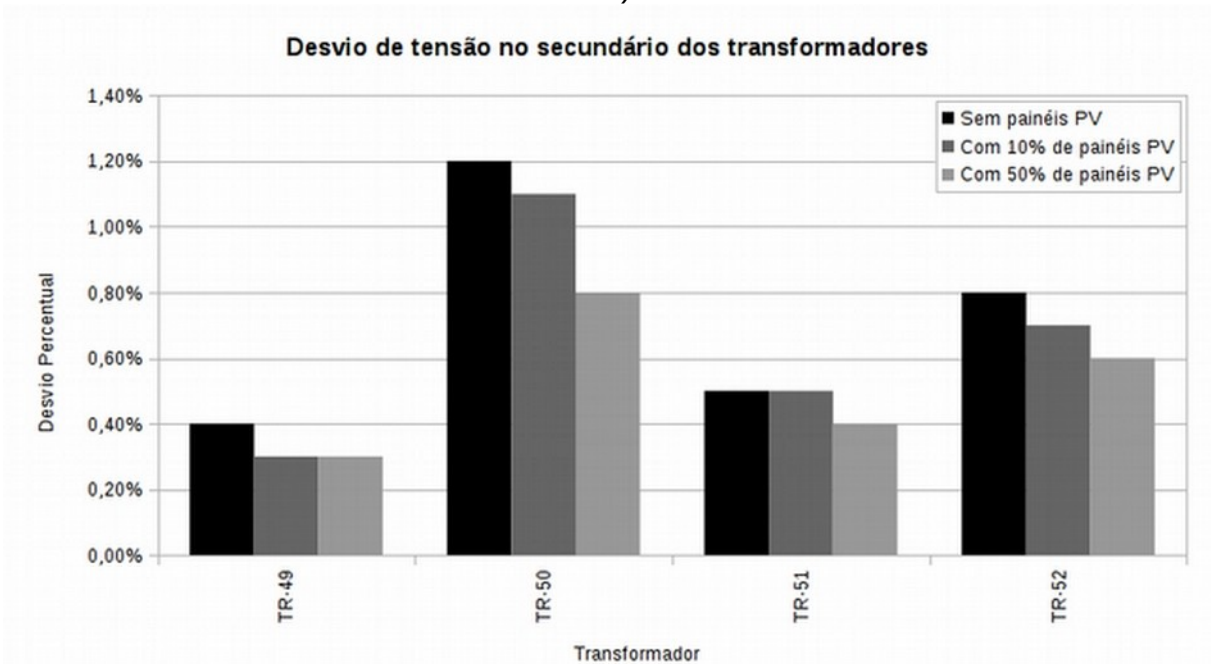
Fonte: O próprio autor.

Figura 38 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 2).



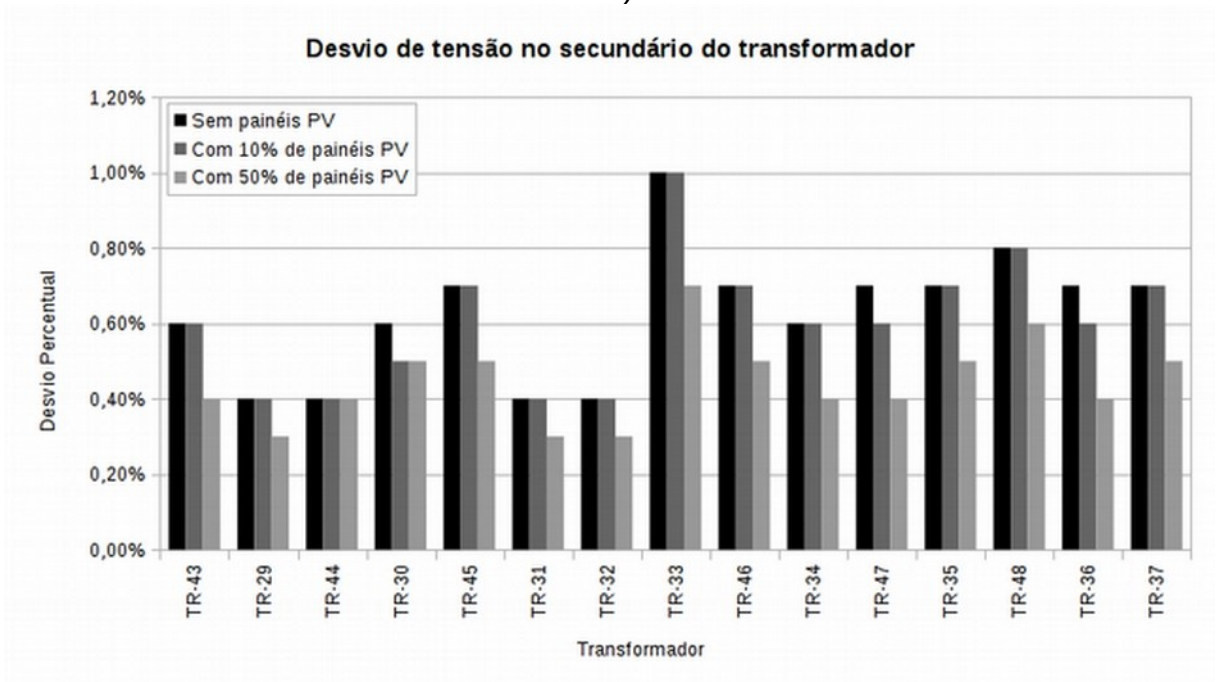
Fonte: O próprio autor.

Figura 39 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 2-1).



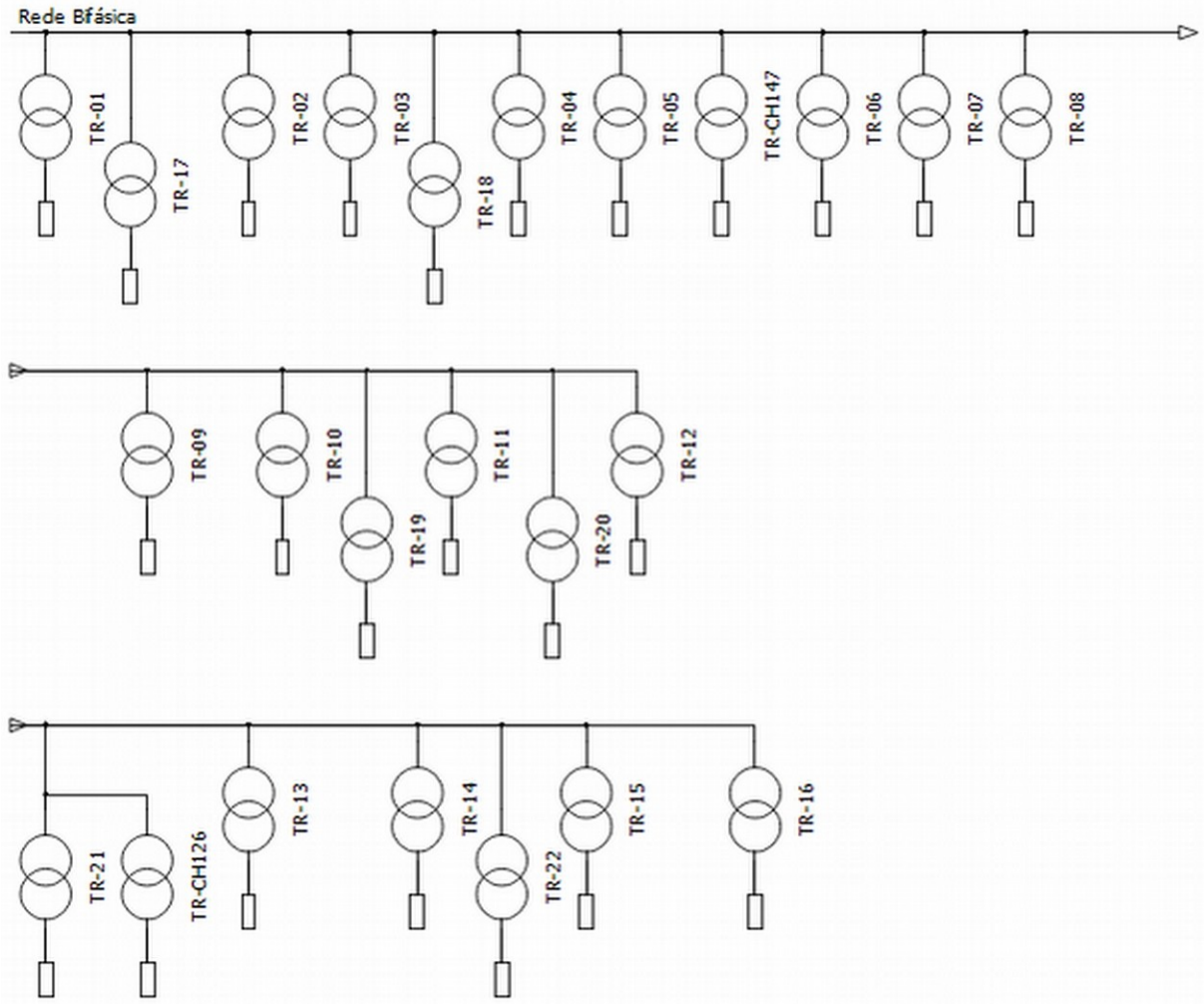
Fonte: O próprio autor.

Figura 40 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 4 (trecho 2-2).



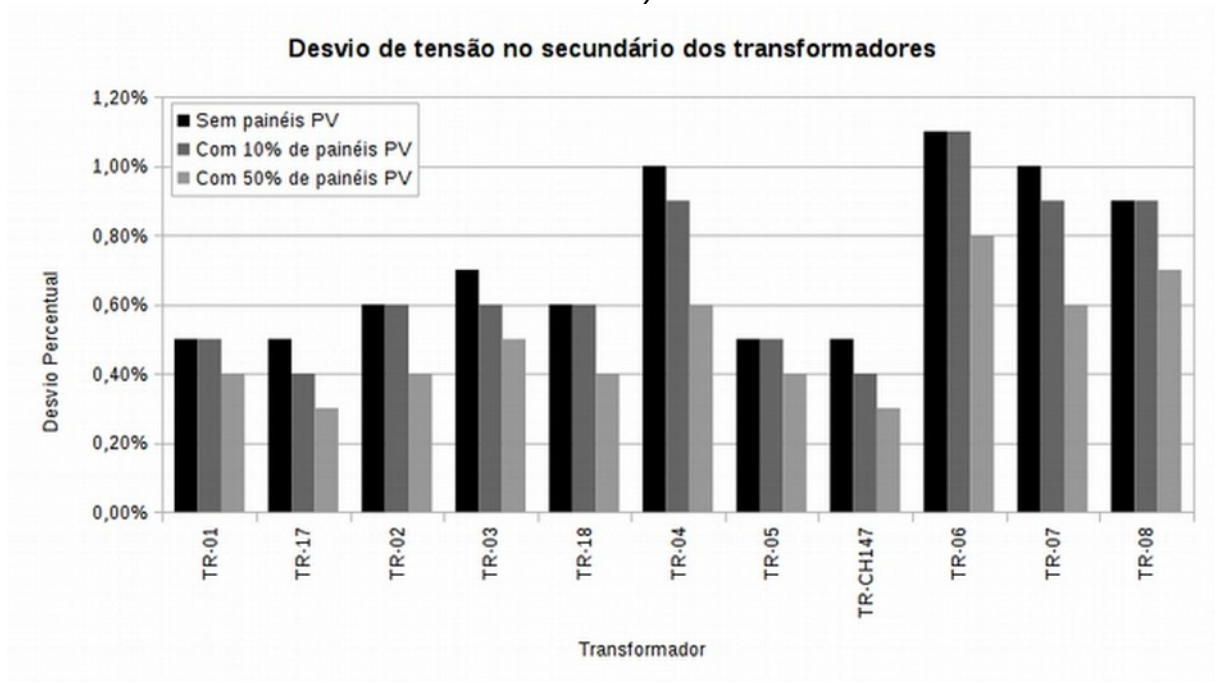
Fonte: O próprio autor.

Figura 41 - Diagrama unifilar do setor 5.



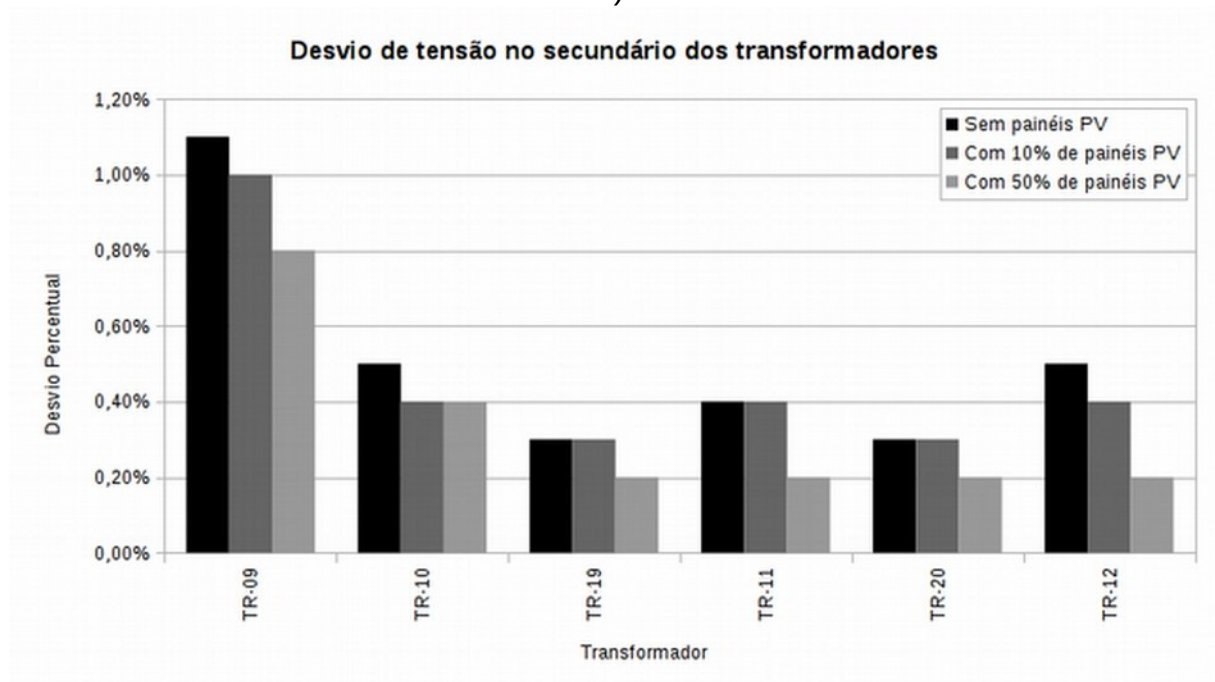
Fonte: O próprio autor.

Figura 42 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho inicial).



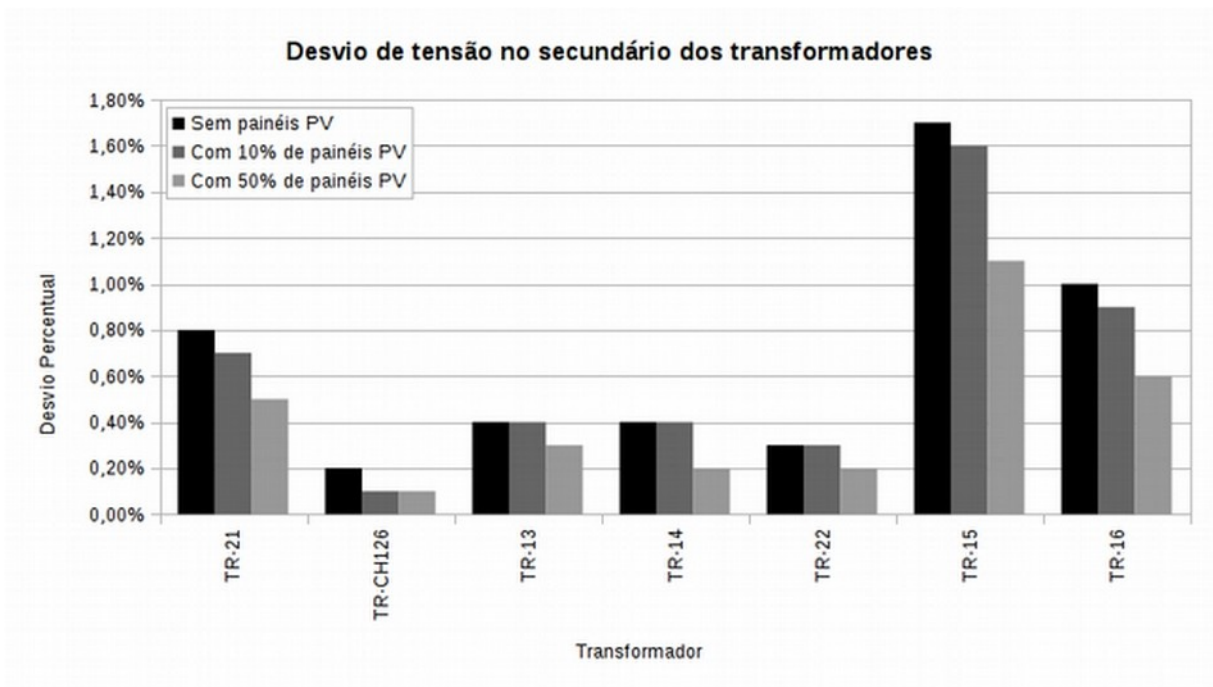
Fonte: O próprio autor.

Figura 43 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho 1).



Fonte: O próprio autor.

Figura 44 - Desvio de tensão no secundário dos transformadores do setor 5 (trecho 2).



Fonte: O próprio autor.

Nota-se, nos gráficos de desvio de tensão no secundário dos transformadores, mesmo com uma alocação de painéis fotovoltaicos correspondendo a 50% da demanda total do assentamento, não houve uma alteração significativa nos desvios de tensão analisados. A alteração mais relevante foi da ordem de 0,6% no desvio da tensão, ou seja, um aumento de 0,006 p.u. para a tensão anterior à alocação dos painéis FV.

Tais resultados podem ser explicados pelas próprias características do assentamento Estrela da Ilha: baixa densidade de consumidores, tanto por transformadores quanto por área, e a pouca demanda por consumidor.

6 CONCLUSÕES

Mesmo os Sistemas de Aquecimento Solar não produzindo energia elétrica de maneira efetiva, deve-se considerá-los como uma alternativa energética dado seu potencial. A energia que deixaria de ser consumida no aquecimento de água no Brasil é da mesma ordem de grandeza que os valores de geração de energia elétrica, a partir de fontes solares, na Alemanha em 2014, que é o país que mais investe nesse setor. O domínio da tecnologia de fabricação também é de extrema importância em vista das variações do mercado externo. Um último aspecto peculiar é o fato dele não requerer mudanças no sistema atual, sendo um equipamento independente da rede elétrica. Porém, em virtude das características dos consumidores analisados nesse trabalho, o uso do SAS não mostrou-se financeiramente viável.

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica são uma alternativa muito interessante para a complementação do consumo de energia elétrica, em especial no Brasil, e tiveram uma redução em seus custos nos últimos anos, de modo geral. No entanto, o fato é que mesmo hoje, seus custos de implementação ainda são altos e seu uso restringe-se a situações pontuais. Por outro lado, os microinversores são uma tecnologia que, juntamente com a redução dos custos dos painéis coletores, pode viabilizar muito o uso residencial de painéis fotovoltaicos na geração de energia elétrica. Mesmo que seu uso se limite a 1 ou 2 unidades por residência, haveria um ganho considerável de potencial energético. Ficou evidente que o aspecto econômico ainda é impedimento para a larga utilização desses equipamentos no Brasil, uma vez que o retorno financeiro que um painel fotovoltaico proporciona está abaixo do esperado para o valor que deve ser investido. Nos consumidores analisados essa projeção mostrou-se correta.

A alocação de painéis fotovoltaicos correspondendo a 10% da demanda total do sistema não ocasionou mudanças significativas nos desvios de tensão. Mesmo com uma alocação correspondendo a 50% da demanda total do assentamento, a alteração mais relevante nos desvios de tensão analisados foi da ordem de 0,6%, ou seja, um aumento de 0,006 p.u. para a tensão anterior à alocação dos painéis fotovoltaicos. Esses resultados são decorrentes das próprias características do assentamento Estrela da Ilha, que possui uma baixa densidade de consumidores,

tanto por transformadores quanto por área, e pouca demanda por consumidor.

O levantamento das características de consumo de energia elétrica, assim como da composição e distribuição dos consumidores do assentamento é um aspecto relevante do trabalho, já que tais dados, específicos para esse tipo consumidor e comunidade não são usualmente encontrados na literatura.

As análises de retorno de investimento abordadas neste trabalho, se aplicadas a áreas urbanas, e para os mesmos sistemas aqui presentes, devem apresentar resultados bem diferentes em virtude do método de cobrança aplicado aos consumidores residenciais urbanos. Aspecto esse, que pode ser material para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABBOT, D. Keeping the energy debate clean: how do we supply the world's energy needs? proposed solutions include: sensible energy conservation; solar thermal collection using parabolic reflectors; hydrogen used as an energy carrier in combustion engines and for energy storage and transportation. **Proceedings of the IEEE**, Piscataway, v. 98, n. 1, p. 42-66, 2010.

AGANZA-TORRES, A.; CÁRDENAS, V.; PACAS, M.; GONZÁLEZ, M. An efficiency comparative analysis of isolated multi-source grid-connected PV generation systems based on a HF-link micro-inverter approach. **Solar Energy**, Freiburg, v. 127, n. 1, p. 239-249, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Saiba mais sobre o setor elétrico brasileiro**. Brasília, DF, 2016. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/busca?>

[p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Fbusca&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&_101_redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dorg%25C3%25A3os%2Bsetor%2Bel%25C3%25A9trico%26_3_search.x%3D0%26_3_search.y%3D0%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252Fbusca&inheritRedirect=true](http://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Fbusca&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&_101_redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dorg%25C3%25A3os%2Bsetor%2Bel%25C3%25A9trico%26_3_search.x%3D0%26_3_search.y%3D0%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252Fbusca&inheritRedirect=true)>. Acesso em: 1 jul. 2016.

ALMADA, J. B. **Modelagem, controle e gerenciamento da operação de microrredes com fontes renováveis**. 2013. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

ALVES, M. G. **Mini-inversores para aproveitamento de energia fotovoltaica, com técnicas de MPPT, sincronismo e conexão com a rede de CA em BT, proteção de ilhamento, gerenciamento da energia e da operação**. 2013. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Ilha Solteira, 2013.

ARAMIZU, J. **Modelagem e análise de desempenho de um sistema fotovoltaico em operação isolada e em paralelo com uma rede de distribuição de energia elétrica**. 2010. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7198: projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro, 1993. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO – ABRAVA. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento Solar – DASOL, 2008. 138 p.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2009.

BERMANN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciências e Cultura**, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BOSCOLI, M. A. B. **Usuários de habitação de interesse social e adoção de sistemas de aquecimento solar de água - estudo de caso em Londrina-PR**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Faculdade de Engenharia de Edificações em Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

BOVOLATO, M. de C. **Sistema de distribuição: aspectos gerais de sistema de distribuição**. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia, 2012. 112 p. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2015.

BRITO, M. A. G. de. **Inversores integrados monofásicos e trifásicos para aplicações fotovoltaicas: técnicas para obtenção de MPPT, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica**. 2013. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Ilha Solteira, 2013.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT – BMU. **Renewable energies: electricity from renewable energy sources: what does it cost us?** Bonn: Berlim, 2008. 23 p.

BURGER, B. **Electricity production from solar and wind in Germany in 2014**. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 2014. 268 p.

CENTRO DE REFERÊNCIA DE ASSISTÊNCIA SOCIAL – CRAS. **Informações sobre o Assentamento Estrela da Ilha** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <malphateus.tonon@gmail.com> em 6 out. 2015.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESEB. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Camargo Schubert Engenharia Eólica, 2006. 64 p. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html>. Acesso em : 22 abr. 2015.

CLIMA-FEIS. **Sistema de monitoramento climático – UNESP Ilha Solteira:** dados em tempo real Estação Ilha Solteira. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia /UNESP, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Área De Engenharia Rural – Hidráulica e Irrigação, 2016. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/dadostemporeal.php>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Energia inteligente – guia do melhor consumo:** dicas de economia de energia e segurança com a rede elétrica. Belo Horizonte: [s.n.], 2014. 43 p.

COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL FRONTEIRA NOROESTE – COOPERLUZ. **Tabela de consumo (kWh).** Santa Rosa: [s.n.], 2013. Disponível em: <http://cooperluz.com.br/informacoes_ao_cooperado/tabela_de_consumo.php>. Acesso em: 25 ago. 2015.

CORDEIRO, G. M.; CRISTINO, C. T.; PRUDENTE, A. A. Modelagem probabilística de setores de um sistema elétrico. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 563-581, 2010.

CUNHA, A. P. da. **Bases conceituais da implantação de redes elétricas inteligentes de distribuição de energia elétrica.** 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

DEMONTI, R. **Sistema de co-geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos.** 1998. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Eletrônica de Potência – INEP, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DIGSILENT. **DIGSILENT PowerFactory 15 tutorial.** Gomaringen: DIGSILENT GmbH, 2013. 98 p.

DOBSON, I.; CARRERAS, B. A. Complex systems analysis of series of blackouts: Cascading failure, critical points, and self-organization. **Chaos**, Melville, v. 17, n. 2, p. (026103) 1-13, 2007.

ELEKTRO DISTRIBIDORA DE ENERGIA. **Sua casa:** tarifas, taxas e tributos. Campinas: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.elektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A.; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso:** ano base 2005 – classe residencial – relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2007. 185 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2015.** Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2016.

EMPRESA FORÇA E LUZ DE URUSSANGA LTDA – EFLUL. **Tabela de consumo dos aparelhos**. Urussunga: [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.eflul.com.br/consumidores/tabela-de-consumo>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

FIALHO, G. O. A conquista e as estratégias de resistência dos assentados da reforma agrária no Projeto Estrela da Ilha em Ilha Solteira/SP. **CAMPO-TERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária**. Uberlândia, v. 9, n. 17, p. 256-281, 2014.

GALOTTO JUNIOR, L. **Inversores integrados monofásicos aplicados em sistemas fotovoltaicos com conexão à rede de distribuição de energia elétrica**. 2011. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Ilha Solteira, 2011.

GAZOLI, J. R.; VILLALVA, M. G.; GUERRA, J. Energias renováveis alternativas: capítulo IX energia solar fotovoltaica. **O setor elétrico**, Santa Cecília, v. 81, n. 1, p. 48-59, 2012.

GIAMPIETRO, U.; RACY, J. C. Viabilidade econômica da energia solar nas áreas rurais do nordeste brasileiro. **Jovens Pesquisadores**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 209-220, 2004.

GONÇALVES, A. F. Q. **Controle e análise de conversores CC-CA conectados em redes de distribuição e utilizados em sistemas de geração distribuída**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

HASSAINE, L.; OLIAS, E.; QUINTERO, J.; SALAS, V. Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 30, n. 1, p. 796-807, 2014.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. D. Eletricidade de fontes solares, eólicas e híbridas. In: HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. D. **Energia e meio ambiente**. 4. ed. [S.l.]: CENGAGE Learning, 2011. cap. 11. p. 308-334.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Trends in photovoltaics applications: survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008**. Switzerland: Photovoltaic Power Systems Programme, 2009. 40 p.

JENKINS, N.; ALLAN, R.; CROSSLEY, P.; KISCHEN, D.; STRBAC, G. **Embedded generation**. London: The Institute of Electrical Engineers, 2000. 273 p.

KRENZINGER, A.; PRIEB, C. W. M.; DIAS, J. B.; BLAUTH, Y. B.; SILVÉRIO, W. V.; VERA, L. H.; GARCÍA, F. H. Simulação computacional de sistema fotovoltaico conectado à rede. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – CBENS, 1., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Energia Solar – ABENS, 2007. p. 1-10.

KUNDUR, P. **Power system stability and control**. New York: McGraw-Hill, 1994. 1176 p.

LION, O. M. B. **Matemática financeira aplicada ao mercado aberto**. Rio de Janeiro: IBMEC, 1985. 335 p.

MACÊDO, W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2006. 201 f. Tese (Doutorado em Energia) – Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

MARINI, J. A.; ROSSI, L. A. Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 67-75, 2005.

MARINI, J. A. **Desenvolvimento de programa computacional para projetos de sistemas fotovoltaicos no suprimento de eletricidade a pequenas comunidades rurais**. 2001. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MARTINS, D. C.; BARBI, I. **Eletrônica de potência: introdução ao estudo dos conversores CC-CA**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005. 394 p.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, Las Vegas, v. 39, n. 1, p. 4378-4390, 2011.

MASTERS, C. L. Voltage rise: the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines. **Power Engineering Journal**, London, v. 16, n. 1, p. 5-12, 2002.

MESSENGER, R. A.; VENTRE, J. **Photovoltaic systems engineering**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2003. 458 p.

MIKATI, M.; SANTOS, A.; ARMENTA, C. Modelado y simulación de un sistema conjunto de energía solar y eólica para analizar su dependencia de la red eléctrica. **Iberoamericana de Automática e Informática industrial**, Barcelona, v. 9, n. 1, p. 267-281, 2012.

MODENESE, V. S.; SANT'ANA, A. L.; FELICIANO, M. E.; RIGONATO, L. C.; SILVA, F. C. Assentamento Estrela da Ilha/SP: perfil dos produtores e características da produção e da comercialização. In: SIMPÓSIO SOBRE REFORMA AGRÁRIA E ASSENTAMENTOS RURAIS, 4., 2010, Araraquara. **Anais...** Araraquara: Uniara, 2010. p. 1-12. 1CD-ROM.

MORAES, M. D.; OLIVEIRA, L. C.; SANT'ANA, A. L.; RAMBO, J. R.; OLIVEIRA, F. A. S. A viabilidade econômica do sistema agroflorestal “café com floresta” no Assentamento Estrela da Ilha, Ilha Solteira-SP. **Cadernos de Agroecologia**, Dourados, v. 9, n. 4, p. 1-11, 2014.

NATUREBA vegetarianismo. **Consumo de energia dos aparelhos elétricos**. São Paulo: Site Natureba, 2007. Disponível em: <<http://www.natureba.com.br/energia-elektrodomesticos.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

OLIVEIRA, J. A. N. de **Engenharia econômica**: uma abordagem às decisões de investimento. São Paulo: McGraw-Hill, 1982. 180 p.

PADILHA, L. N. **Análise comparativa de estratégias para regulação de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica na presença de geradores distribuídos**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2010.

PASCALICCHIO, A. C. **Perspectiva econômica e modelo de negócio da tecnologia de telecomunicação nas redes de distribuição de energia elétrica no Brasil**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

PASSOS, L.; CARDEMIL, J. M.; COLLE, S. Feasibility study of using domestic solar hot water systems as alternative to reduce the electricity peak demand in Brazil. **Energy Procedia**, Stockholm, v. 57, n. 1, p. 2487-2495, 2014.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão-SC. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESEB, 2014. 530 p.

PINTO NETO, A. F. de C. **Qualificação e etiquetagem de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado Ciências) - Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2012.

PORRAS, J. E. W.; SHIMADA, S.; YOSHINO, J.; KOBAYASHI, T. Evaluation of the photovoltaic system installation impact to an electric power grid. part 2: impact analysis of photovoltaic installation to an electric power grid by applying a nonlinear analysis model. **Labor & Engenho**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 17-30, 2016.

PRIEB, C. W. M. **Determinação da eficiência de seguimento de máxima potência de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição**. 2011. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande de Sul, 2011.

PROCEL INFO – CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Dicas de economia de energia**. Rio de Janeiro: Site PROCEL, 2010. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000}>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PUCCINI, A. de L. **Matemática financeira: objetiva e aplicada**. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2008. 410 p.

RAMPINELLI, G. A. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande de Sul, 2010.

REN, H.; DOBSON, I. Using transmission line outage data to estimate cascading failure propagation in an electric power system. **IEEE Transactions on Circuits and Systems-II**, Hong Kong, v. 55, n. 9, p. 927-931, 2008.

ROSA, F. N. da. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SCHADEK – METALÚRGICA SCHADEK LTDA. **Catálogo de produtos: bombas de óleo, bombas de combustível, bombas d'água, reparos, tubos de sucção e válvulas de alívio**. Porto Feliz: Schadek, 2015. 156 p.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Tabela para seleção de bombas e motobombas**. Joinville: Franklin Electric, 2015. 69 p.

SILVA, E. T.; TORRES, E. A.; COSTA, C. A. Energização em comunidade isolada com sistema híbrido eólico e solar-fotovoltaico e erradicação da miséria: estudo de caso de uma comunidade quilombola na Bahia. **Identidade**, São Leopoldo, v. 17, n. 1, p. 66-82, 2012.

SILVA, L. C. E. da. **Efeitos das distorções harmônicas (tensões e correntes) e desequilíbrios (tensões) em medidores eletrônicos trifásicos de energia elétrica ativa**. 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Ilha Solteira, 2008.

SILVA, M. R. da. **Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de energia elétrica ativa**. 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Ilha Solteira, 2010.

SIMONATO, D. C. **Questões ambientais, socioeconômicas e histórias de vida de assentados/as rurais do assentamento Estrela da Ilha no Município de Ilha Solteira – SP**. 2013. 177 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SOLETROL – AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA. **Como funciona o aquecedor solar de água soletrol**. São Manuel: Site SOLETROL, 2012. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook**. Rio de Janeiro: BRASPORT Livros e Multimídia, 2012. 336 p.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 515 p.

TOLMASQUIM, M. T. The energy sector in Brazil: policy and perspectives. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 26 n. 74, p. 247-260, 2012.

VANNI, S. R. **Estudo de viabilidade econômica de fonte alternativas de energia de uma comunidade típica da região nordeste do Brasil**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2008.

VIAWAN, F. A., KARLSSON, D. Voltage and reactive power control in systems with synchronous machine-based distributed generation. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Edmonton, v. 23, n. 2, p. 1079-1087, 2008.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012. 224 p.

WEEDY, B. J.; CORY, N. J.; JENKINS, J. B.; EKANAYAKE, J. B.; STRBAC, G. **Electric power systems**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2012. 496 p.

WIDÉN, J.; WÄCKELGÅRD, E.; PAATERO, J.; LUND, P. Impacts of distributed photovoltaics on network voltages: stochastic simulations of three swedish low-voltage distribution grids. **Electric Power Systems Research**, Bologna, v. 80, n. 12, p. 1562-1571, 2010.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.