



UFPA

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO GRID-TIE EM UMA RESIDÊNCIA PARA A
REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA PROVENIENTE DA
CONCESSIONÁRIA**

EVANOEL ALMEIDA DE ARAÚJO

4º Período / 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
TUCURUÍ – PARÁ – BRASIL

EVANOEL ALMEIDA DE ARAÚJO

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO GRID-TIE EM UMA RESIDÊNCIA PARA A REDUÇÃO
DE CONSUMO DE ENERGIA DA CONCESSIONÁRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
colegiado de Engenharia Elétrica – UFPA,
Campus de Tucuruí, para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: **Dr. Ewerton Granhen**

Tucuruí/PA
2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Sr. Joaquim Araújo e Sr.^a Olga Araújo, meus amados e queridos pais, por todo o auxílio e confiança em minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Força que me mantém de pé, sempre lutando e seguindo em frente.

Aos meus irmãos (Emanoel, Edjane, Elionel “Brizola”, Elidiane e Eliciane), pela confiança, pelas motivações, conselhos e por toda a força em cada momento do curso e desde a minha saída de casa em 2010, muito obrigado.

Ao meu companheiro de vida, Adão Almeida, pela paciência durante meus momentos de desesperança e melancolias e durante todo o curso quando me cedestes forças pra seguir em frente.

Agradeço imensamente aos meus amigos e colegas de trabalho Jonatan Messias e Marcivane Oliveira que me estendem a mão quando preciso. Ao meu amigo Eng. Wendell Esdras pelo conselhos iniciais. Ao meu amigo Andrey Viana pela motivação e força. Á minha amiga Solange Rodrigues pelas cogentes lições e confiança. Ao amigo Alcenir Campelo pela sábia ajuda no momento crítico. A todos os verdadeiros amigos e colegas da faculdade, pela força e pela vibração em relação a toda esta jornada.

Aos amigos externos à faculdade (Jéssica, Elso, Edgard, Teresa, Tatiane, Rayane, Rosilene, Lelo, Deliane, Isabel e família, Camylla e família, Nilde, Hosana, Dn. Matilde, Iglese, Gabriel, Pryscyla, Lourena, Sandrinha, Luana, Valmir e etc.) obrigado por cada momento de apoio e descontração.

Aos companheiros iniciais, que foram sim extremamente especiais, mesmo com o posterior distanciamento, amo muito e agradeço imensamente aos eternos “Alojados”.

Ao meu orientador Dr. Ewerton Granhen pela atenção e paciência durante a orientação e pelo apoio no momentos mais críticos.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho, meu mais sincero e profundo, muito obrigado.

EPIGRAFE

*O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar de novo com mais inteligência.*

(Henry Ford)

RESUMO

Este trabalho está incluso na grande área de eficiência energética, possuindo como foco principal, a produção de energia fotovoltaica através de um sistema conectado à rede (*Grid-Tie*). Será projetado um sistema de geração fotovoltaico para instalação em uma residência comum, atualmente alimentada unicamente pela rede pública. O sistema projetado, terá como objetivo reduzir na residência, o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária local. Para tanto, será necessário o conhecimento das instalações elétricas da residência, a previsão de carga para esta, bem como a demanda de energia, atual consumo e gastos decorrentes do pagamento das faturas mensais pelo consumo da energia entregue pela concessionária. Será necessário também, o conhecimento mais aprofundado sobre sistemas fotovoltaicos, assim, é apresentado um maior detalhamento dos dispositivos que compõem este sistema, especialmente os módulos fotovoltaicos, explicando o seu princípio de funcionamento, tipos e formas de dimensionamento dos mesmos. São expostas as regulamentações que normatizam este tipo de sistema, exibindo as exigências feitas por elas e o que é necessário fazer no projeto, para atendê-las. Após as definições da carga da residência e posterior parametrização das grandezas dos sistema, como alocação e etc., é exposto ao fim do trabalho uma análise comparativa, entre o consumo de energia da rede antes e após a teórica implementação do sistema projetado.

Palavras-chave: Instalação Elétrica; Sistema Fotovoltaico; Redução de Consumo; Geração Distribuída.

ABSTRACT

This study is included on the big area of energy efficiency, having as its main focus the production of photovoltaic energy through a system connected to the grid (Grid-Tie). A photovoltaic generation system will be designed to be used in a common residence, currently only fed by the public power grid. The designed system will aim to reduce in the residence, the consumption of electricity from the local utility. Thus, the knowledge of electrical installations of the residence will be necessary, load forecast for this as well as the energy demand, current consumption and expenses arising from the payment of monthly bills for the consumption of the energy delivered by the concessionaire. It will also be necessary a deeper understanding of photovoltaic systems as, therefore, there will be a deeper detailing of each component of the system itself, especially photovoltaic modules, explaining the operating principle of these, types and forms of sizing of them. Regulations of this type of system are exposed as well, showing what is needed to be done on the project to meet them. After the house load parameter being adjusted and further quantities of the system, such as allocation, etc. is exposed at the end of the study a comparison between the energy consumption from de grid before and after the theoretical implementation of the designed system.

Key-Words: *Electrical installation; Photovoltaic system; Consumption reduction; Distributed generation.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1-1 - COMPOSIÇÃO TARIFÁRIA MÉDIA DO BRASIL.	3
FIGURA 2.1-1 - TOMADA SEGUINDO O PADRÃO DA NORMA NBR 14136:2002.	8
FIGURA 2.1-2 - EXEMPLO DE POTÊNCIA DE ELETRODOMÉSTICOS.	14
FIGURA 2.2-1 - RADIAÇÃO SOLAR HORIZONTAL NO BRASIL, MÉDIA ANUAL, SEGUNDO [13].	17
FIGURA 2.2-2 - REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO SILÍCIO.	18
FIGURA 2.2-3 - DOPAGEM TIPO N.	18
FIGURA 2.2-4 - DOPAGEM TIPO P.	19
FIGURA 2.2-5 - COMPOSIÇÃO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.	20
FIGURA 2.2-6 - COMPOSIÇÃO DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.	21
FIGURA 2.2-7 - SÍMBOLO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO.	22
FIGURA 2.2-7 - LIGAÇÃO DE PAINÉIS EM SÉRIE, SEGUNDO [7].	22
FIGURA 2.2-8 - LIGAÇÃO DE PAINÉIS EM PARALELO, SEGUNDO [7].	23
FIGURA 2.2-9 - LIGAÇÃO SÉRIE-PARALELO DE PAINÉIS, SEGUNDO [7].	23
FIGURA 2.2-10 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA AUTÔNOMO.	24
FIGURA 2.2-11 - REPRESENTAÇÃO DE SISTEMA CONECTADO À REDE.	25
FIGURA 2.2-12 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO [7] [16] [20].	28
FIGURA 2.2-14 - FORMAÇÃO DE UM CONJUNTO FOTOVOLTAICO.	29
FIGURA 3.1-1 - RESIDÊNCIA ONDE SE PRETENDE INSTALAR O PROJETO.	36
FIGURA 3.1-2 - ESTRUTURA DA RESIDÊNCIA EM ESTUDO.	37
FIGURA 3.1-3 - DESENHO COM AS DISPOSIÇÕES IDEAIS DOS PONTOS DE TOMADAS, DE ILUMINAÇÃO E INTERRUPTORES.	40
FIGURA 3.2-1 - ALOCAÇÃO REAL DOS PUNTO DE LÂMPADAS, TOMADAS E INTERRUPTORES ATUALMENTE INSTALADOS NA RESIDÊNCIA.	43
FIGURA 3.2-2 - TIPO DE FORNECIMENTO REAL.	44
FIGURA 3.3-1 - PAINEL SOLAR ESCOLHIDO.	51
FIGURA 3.3-2 - ESTRUTURA FÍSICA DO PAINEL.	53
FIGURA 3.3-3 - VISTA SUPERIOR E FRONTAL DO TELHADO ONDE SERÁ INSTALADA O CONJUNTO FOTOVOLTAICO..	54
FIGURA 3.3-4 - TELHADO REAL ONDE SE ALMEJA INSTALAR O SISTEMA PROJETADO.	55
FIGURA 3.3-5 - ALOCAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS SOB O TELHADO.	55
FIGURA 3.3-6 - DEFINIÇÃO DA LIGAÇÃO DOS PAINÉIS NO PROJETO.	56
FIGURA 3.3-7 - INVERSOR ESCOLHIDO PARA O SISTEMA.	57
FIGURA 3.3-8 - MEDIDOR 4 QUADRANTE SELECIONADO PARA O SISTEMA PROJETADO.	59
FIGURA 3.3-9 - POSSÍVEL INSTALAÇÃO DO SISTEMA.	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1-1 - TARIFA DE ENERGIA EFETUADA PELA REDE CELPA [4].	2
TABELA 2.1-1 - FATOR DE DEMANDA SEGUNDO [10]: A) ILUMINAÇÃO E PTUGs; B) PTUES.	14
TABELA 2.2-1 – REQUISITOS MÍNIMOS DE ACORDO COM O TIPO DE GERAÇÃO, SEGUNDO A ANEEL [17] [19].	27
TABELA 3.1-1 - CÁLCULO DE PREVISÃO DE CARGA DE ILUMINAÇÃO.	38
TABELA 3.1-2 - PREVISÕES DE CARGA PARA PTUGs E PTUES.	39
TABELA 3.1-3 - RESUMO DAS PREVISÕES DE CARGA.	41
TABELA 3.1-4 - CÁLCULO DA POTÊNCIA TOTAL PREVISTA.	41
TABELA 3.1-5 - BALANCEAMENTO DE CARGA.	42
TABELA 3.2-1 - EQUIPAMENTOS INSTALADOS.	45
TABELA 3.2-2 - CONSUMO ESTIMADO.	46
TABELA 3.2-3 - ACOMPANHAMENTO DO VALOR GASTO COM O CONSUMO DE ENERGIA DA CONCESSIONÁRIA.	47
TABELA 3.3-1 - LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA.	48
TABELA 3.3-2 - TABELAS COM OS VALORES DE IRRADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO EM ESTUDO [23].	49
TABELA 3.3-3 - CARGA A SER ALIMENTADA PELO SISTEMA PROJETADO.	50
TABELA 3.3-4 - DADOS DO PAINEL UTILIZADO.	52
TABELA 3.3-5 - ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS DO PAINEL.	52
TABELA 3.3-6 - DADOS DO INVERSOR SELECIONADO.	57
TABELA 3.3-7 - VALORES NOMINAIS PARA O MEDIDOR BIDIRECIONAL.	59
TABELA 3.4-1 - CONSUMO DE CARGA NOS HORÁRIOS DE DIA E NOITE.	61
TABELA 3.4-2 - RESULTADOS.	61
TABELA 3.5-1 - RELAÇÃO DE PROVÁVEIS GASTOS/INVESTIMENTOS.	63
TABELA 3.5-2 - TEMPO DE PAGAMENTO.	64
TABELA 3.5-3 - EMPRÉSTIMO PELA CAIXA.	65

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES

A	- Área do dos painéis;
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas;
CA	- Corrente alternada;
CC	- Corrente contínua;
$D_{\text{máx}}$	- Demanda máxima;
f	- Fator de potência;
FD	- Fator de demanda;
$G_{R\$/kWh}$	- Gasto por unidade de energia;
HSP	- Horas de Sol Pleno;
I	- Corrente;
I_d	- Corrente nominal do disjuntor;
$I_{\text{máx}}$	- Corrente máxima do condutor;
I_{maxCC}	Corrente máxima do lado contínuo;
I_n	- Corrente nominal do circuito;
MPPT	- <i>Maximum Power Point Tracker</i> ;
NBR	- Norma Brasileira;
P; S; Q;	- Potência Ativa; Aparente; Reativa;
P_{AC}	- Potência lado alternado;
P_c	- Potência consumida;
P_{CC}	- Potência lado contínuo;
P_d	- Potência diária;
P_{FV}	- Potência produzida pelo sistema;
PTUE	- Ponto de Tomada de Uso Específico;
PTUG	- Ponto de Tomada de Uso Geral;
$Q_{\text{Painéis}}$	- Quantidade de painéis;
R_c	- Radiação solar;
SFV	- Sistema Fotovoltaico;
SNI	- Sistema Interligado Nacional;
T	- Tempo;
TD	- Taxa de desempenho;
UC	- Unidade Consumidora;
V	- Tensão;
VA	- Volt Ampère;
VA _r	- Volt Ampère Reativo;
VL_{mensal}	- Valor mensal
VL_{pago}	- Valor pago;
V_{maxCC}	- Tensão máxima do lado contínuo;
W	- Watt;
Wh	- Watt hora;
Wp	- Watt pico;
η	- Eficiência;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO.....	4
1.2	JUSTIFICATIVA.....	4
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2	METODOLOGIA DE ESTUDO	7
2.1	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	7
2.1.1	Previsão de carga	7
2.1.1.1	Iluminação.....	8
2.1.1.2	Pontos de tomadas.....	8
2.1.1.3	Carga total	11
2.1.1.4	Tipo de fornecimento	11
2.1.2	Balanceamento de carga	12
2.1.3	Cálculos de demanda	13
2.1.4	Cálculos de consumo	14
2.2	SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
2.2.1	Radiação solar	16
2.2.2	Efeito fotovoltaico	17
2.2.3	Célula fotovoltaica.....	19
2.2.3.1	Eficiência	20
2.2.3.2	Tipos	20
2.2.4	Painel solar fotovoltaico	21
2.2.4.1	Ligação de painéis.....	22
2.2.5	Tipo de sistema voltaico	24
2.2.5.1	Sistema isolado ou autônomo (Off-Grid).....	24
2.2.5.2	Sistema Conectado à rede (Grid-Tie).....	25
2.2.5.3	Sistema híbrido	26
2.2.6	Normas da ANEEL.....	26
2.2.7	Componente de sistema fotovoltaico.....	28
2.2.7.1	Conjunto fotovoltaico	28
2.2.7.2	Inversor CC/CA	30
2.2.7.3	Seguidor do ponto de máxima potência (MPPT)	32
2.2.7.4	Sistema de proteção	32
2.2.7.5	Sistema de medição.....	34
3	RESULTADOS	36
3.1	PREVISÃO DE CARGA	36
3.1.1	Iluminação	37

3.1.2	Pontos de tomadas	38
3.1.3	Carga total	41
3.1.4	Balanceamento de carga	42
3.2	CONDIÇÃO ATUAL DA RESIDÊNCIA.....	42
3.2.1	Carga realmente instalada.....	44
3.2.2	Gasto com energia	46
3.3	SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID-TIE.....	48
3.3.1	Radiação solar	48
3.3.2	Carga necessária na residência	50
3.3.3	Dimensionamento do conjunto fotovoltaico.....	51
3.3.3.1	Quantidade de painéis	53
3.3.3.2	Área necessária para instalação.....	53
3.3.3.3	Alocação do conjunto.....	54
3.3.3.4	Forma de ligações dos painéis.....	56
3.3.4	Inversor.....	56
3.3.5	Sistema de medição	58
3.4	ANÁLISE COMPARATIVA	60
3.5	ANÁLISE FINANCEIRA	62
3.5.1	Custos do projeto	62
3.5.2	Relação custo benefício	63
3.5.3	Facilidades de investimento.....	64
4	CONSIDERAÇÕES E PESPECTIVAS	66
5	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXO A.....	71
	ANEXO B	72
	ANEXO C	73
	ANEXO D.....	74

1 INTRODUÇÃO

A energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou de transferir calor, nas sociedades humanas, a energia teve origem na forma endossomática, ou seja, aquela que chega através de cadeias ecológicas, basicamente fornecidas pelo sol. As necessidades energéticas do homem estão em constante evolução [1], desde o alimento até a necessidade de conforto, este último, hoje basicamente é atendido pela energia elétrica que é uma forma de energia secundária, obtida a partir de diferentes fontes de energia primárias, capaz de ser entregues a usuários finais, através de extensas redes de transmissão e distribuição, compondo o complexo Sistema Interligado Nacional – SNI, juntamente com as fontes de geração.

A energia elétrica é entregue aos consumidores finais através de concessionárias que gerenciam, mantêm e controlam as linhas de transmissão e distribuição, a energia elétrica efetivamente entregue é seguida de tarifas que são o preço cobrado por unidade de energia (R\$/kWh). Em essência, é de se esperar que o preço da energia elétrica seja formado pelos custos incorridos desde a geração até a sua disponibilização aos consumidores, na tomada elétrica [2].

Os consumidores residenciais são denominados de consumidores cativos, estes são aqueles que só podem comprar energia elétrica de sua distribuidora local. A tarifa de energia elétrica para tais consumidores é de forma mais detalhada, constituída por [2]:

- Custos com a aquisição de energia elétrica;
- Custos relativos ao uso de sistema de distribuição;
- Custos relativos ao uso de sistema de transmissão;
- Perdas técnicas e não técnicas;
- Encargos diversos e impostos;

A tarifa de energia elétrica cobrada pelas distribuidoras de energia, possui a consideração direta da Agencia Nacional de energia elétrica – ANEEL, esta é a responsável pelas tarifas aplicadas no país. Do ano de 2013, até o atual momento, houveram elevados aumentos nos custos do consumo de energia elétrica em todo o país. Em 2015, entre as cidades e regiões metropolitanas analisadas pelo IBGE, as maiores altas na energia elétrica foram registradas em Campo Grande (34,77%) e Curitiba (32,73%). Em Recife, houve o menor reajuste: 0,65%. No Rio, a alta foi 23,34% e em São Paulo, 25,63% [3]. A **Tabela 1.1-1** mostra a relação da tarifa cobrada no estado do Pará nos últimos anos [4].

Tabela 1.1-1 - Tarifa de energia efetuada pela Rede Celpa [4].

Período	Descrição	R\$/kWh
Vigência da Tarifa de 07/08/2013 a 06/08/2014	B1 - Residencial	0,35747
Vigência da Tarifa de 07/08/2014 a 06/08/2015	B1 - Residencial	0,47977
Vigência da Tarifa de 02/03/2015 a 06/08/2015	B1 - Residencial	0,49425
Vigência da Tarifa de 07/08/2015 a 06/08/2016	B1 - Residencial	0,52539

Os valores da **Tabela 1.1-1** se referem às tarifas homologadas pela ANEEL, expressas na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte da conta de luz, tais como: ICMS, Taxa de Iluminação Pública e Encargo de Capacidade Emergencial, dentre outros, de 1.º de Julho de 2005, os valores relativos à cobrança dos tributos PIS/PASEP e COFINS passaram a ser considerados também em destaque na conta de luz [4], elevando ainda mais a fatura mensal.

Segundo a **Tabela 1.1-1** o aumento da energia elétrica para as residências no Pará, de 2013 até 2015 teve uma elevação de mais de 40% do seu valor, sem levar em consideração as taxas de impostos inclusas na fatura final do consumidor.

O aumento da tarifa de energia, se deu por dois fatores primordiais, o primeiro foi a ausência de chuva, a água das chuvas que alcançou os reservatórios das usinas em janeiro de 2015 foi de apenas 38,04% da média histórica, e para suprir a demanda energética, termoelétricas tiveram que auxiliar na alimentação do Sistema interligado (SNI), estas possuem um custo de produção mais elevado. O segundo ponto é que o consumidor está pagando a Conta de Desenvolvimento Energético [5]. Todas estas despesas, vão influenciando no aumento da tarifa de energia de todos os consumidores.

A Figura 1.1-1 de elaboração de [2], indica a atual composição tarifária média do Brasil, no ano de 2015, vale ressaltar que está incluso no gráfico todos os tipos de consumidores em todos os estados do país, logo, devido a isso ocorre uma leve variação de percentual no cálculo.

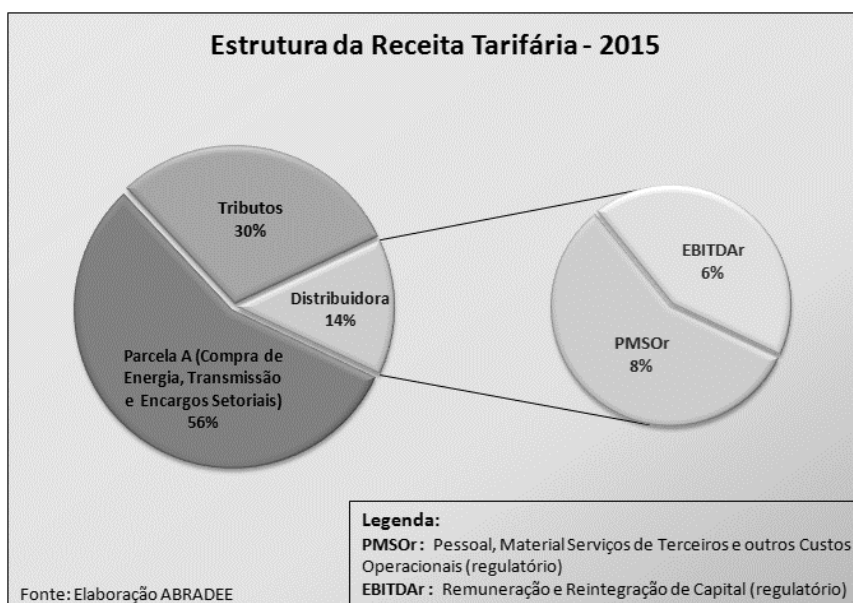


Figura 1.1-1 - Composição tarifária média do Brasil.

O Brasil conta, em 2015, com mais de 77 milhões de “Unidades Consumidoras” (UC), termo que corresponde ao conjunto de instalações/equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor. Do total de UCs brasileiras, 85% são residenciais [2].

O consumo de energia elétrica na região norte do Brasil, no ano de 2014 superou o valor de 475×10^6 MWh de potência consumida, sendo que destes mais de 46×10^6 MWh são de consumidores residenciais [6]. O consumo médio básico de uma residência de pequeno porte é 450 kWh por mês, utilizando os possíveis meios de economizar a energia, como diminuição do tempo de utilização de lâmpadas, redução do uso de aparelhos e etc.

Além das formas convencionais de economias de energia elétrica em uma residência, uma forma consideravelmente eficiente, é o investimento em formas de energia renováveis, uma vez que estas são fontes de energia elétricas atualmente estudadas, como solução para a ausência dos recursos naturais de longo prazo, com poucos impactos ambientais e com fonte constante. Neste caso, pode ser utilizado como uma fonte complementar no local já instalado às concessionárias, isso conseqüentemente diminuirá o consumo e o preço pago à fornecedora.

A fonte de energia renovável ideal, para residências isoladas ou conectadas a rede, atualmente é a energia fotovoltaica, esta energia é oriunda da transformação direta de luz em energia elétrica. Esse fenômeno foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, ao relatar as propriedades do Selênio, que produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à radiação incidente [7]. A primeira célula fotovoltaica foi criada em 1883 pelo físico Charles Fritts, que recobriu uma amostra de selênio semicondutor com pó

de ouro para formar a união. Este primitivo dispositivo apresentava uma eficiência menor do 1 %, mas demonstrou de forma prática que, efetivamente, produzir eletricidade com luz era possível [8].

O assunto passou a receber um maior destaque a partir dos anos 60 durante a guerra fria na sua aplicação em sistemas espaciais, recebeu destaque também durante a crise do petróleo na década de 70, quando os governos investiram consideráveis recursos em fontes alternativas de energia. Em sequência, com programas governamentais, países como Alemanha, Espanha e Japão estimularam, a aplicação doméstica desta tecnologia, o que permitiu uma produção em escala reduzindo consideravelmente o seu custo [7].

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral, apresentar um projeto de engenharia capaz de obter a redução do consumo e gasto com energia elétrica, através da concepção e engenharia de um sistema fotovoltaico inserido a uma residência real de pequeno porte conectada à rede de energia da concessionária.

Para tal, será realizado o dimensionamento das instalações elétricas com o intuito de verificar se a atual instalação elétrica da residência está de acordo com as normas vigentes, em seguida será averiguada a carga real, atualmente instalada na casa e o consumo e gasto que se tem com esta carga.

Em sequência, será realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico *grid-tie*, de modo que, quando o este sistema não estiver fornecendo energia suficiente para a carga da residência, a rede da concessionária forneça a energia demandada e quando a energia gerada pelo sistema for superior a necessária, seja imputado o excedente na rede, gerando o crédito de energia de forma automática, reduzindo o consumo na residência da energia vinda concessionária.

Para a confirmação de eficiência ou não do projeto será realizado uma análise comparativa entre o atual consumo e gasto com a energia da concessionária antes e após a teórica inserção do projeto deste presente trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

A redução do alto e constante gasto com energia elétrica para os consumidores brasileiros, principalmente no períodos mais recentes ao presente trabalho, é um dos principais fatores motivadores deste trabalho, tais gastos se elevaram de forma rápida no ano de 2015 idealizando a efetivação deste projeto.

Como uma das justificativas, este será um projeto de engenharia para o qual será necessário conhecimento fundamental de instalações elétricas, estudo de distribuição e balanceamento de cargas, instalações residenciais e o estudo proporcionará um aprofundamento profissional na área de eficiência energética e fontes de energia renovável.

O conhecimento técnico adquirido com o presente estudo torna-o digno de apresentação, uma vez que o estudo direcionado à energia fotovoltaica demonstra atualidade nos temas de engenharia, com a adoção de dispositivos modernos e atuais, o que abre alternativas para a realização de projetos dos mais diversos equipamentos, estudos e pesquisas relacionados no contexto de eficiência energética.

Outro ponto justificável é o tratamento e estudo envolvendo o campo de energia distribuída, na área da engenharia elétrica, este é um campo consideravelmente novo e peculiar, no entanto, já bastante inovador.

Com o investimento em fontes renováveis e em eficiência energética pode-se evitar a necessidade de geração no curto prazo. Sendo eficientes em relação ao consumo de energia, contribui-se para o desenvolvimento sustentável do país. Com o intuito de desenvolver ações concretas no sentido de alcançar eficiência no consumo de energia elétrica, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para a diminuição desse consumo, este trabalho é uma pequena demonstração de tal investimento.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em quatro principais capítulos sendo que abaixo será definido o que será discutido em cada um deles.

No capítulo 1 está apresentada a introdução, ela está deposta de forma a atualizar o leitor do contexto em que o projeto está inserido, com uma visão geral do assunto, direcionando o leitor ao contexto específico que será tratado no trabalho, o custo da energia elétrica para o consumidor residencial, focado em formas de reduzir tal gasto sendo indicada a inserção do sistema fotovoltaico. Está exposto também os objetivos e justificativas do trabalho.

No capítulo 2 são definidas as metodologias aplicadas no projeto, como os conceitos que serão necessários para a realização do trabalho, um maior aprofundamento no conhecimento dos dispositivos a serem efetivamente empregados e nos conceitos de cargas residenciais.

No capítulo 3 está exposto todo o trabalho, demonstrando os resultados obtidos com os dados coletados, os valores numéricos obtidos durante o processo de elaboração do projeto, e a análise comparativa dos gastos antes e depois da possível inserção do projeto.

Finalmente no capítulo 4 estão apresentas as considerações finais do projeto, as sugestões para possíveis trabalhos futuros e as discursões que se tornarem pertinentes no decorrer do estudo.

No ademais está exposta a bibliografia utilizada, bem como documentos anexados para melhor compreensão do trabalho.

2 METODOLOGIA DE ESTUDO

Os dados utilizados para a realização do estudo presente neste trabalho, foram obtidos na residência do autor, local no qual será aplicado o projeto de redução do consumo e gastos a concessionária de energia local, estes dados foram adquiridos de forma quantitativa no local da aplicação do projeto através dos dados nominais dos equipamentos instalados, os dados das células fotovoltaicas e dos demais equipamentos utilizados foram obtidos através da ficha técnica do dispositivo.

Para a produção do trabalho será necessário o conhecimento da incidência solar na área onde fica localizada a residência na qual será aplicado o projeto, o tipo de residência, os atuais e posteriores equipamentos instalados, e um bom conhecimento de instalações e dimensionamento de sistema fotovoltaico e em instalações elétricas residenciais.

Nos próximos subcapítulos, será realizado um aprofundamento maior sob o dispositivos a serem estudados neste trabalho, bem como a lista de conhecimentos técnicos necessários, expostas no parágrafo anterior, iniciando a seguir pelos conhecimentos de distribuição e balanceamento de carga residencial.

2.1 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Um projeto de instalações elétricas é a previsão escrita da instalação, com todos os detalhes, com a localização dos pontos de utilização da energia elétrica, comandos, trajetos dos condutores, divisão em circuitos, seção dos condutores, dispositivos de manobra, carga de cada circuito e carga total, de uma forma geral, tal projeto para um sistema residencial, tem como objetivo realizar o levantamento das potências (cargas) a serem instaladas na residência.

Um projeto deste tipo pode ser dividido em quatro partes principais sendo elas: memorial descritivo; conjuntos de plantas; especificações técnicas; e orçamento. As instalações elétricas residenciais devem respeitar as normas da concessionária de energia local, bem como as Normas Técnicas Brasileiras da ABNT, bem especificamente a Norma Brasileira de Número 5410 do ano de 2004 – NBR 5410:2004.

2.1.1 Previsão de carga

A seção da norma que refere-se a previsão de carga de sistemas residenciais é a 9.5.2 onde é afirmado que o levantamento das potências é realizado mediante uma previsão das potências (cargas) mínimas de iluminação e tomadas a serem instaladas, possibilitando, assim, determinar a potência total prevista para a instalação elétrica residencial [9].

2.1.1.1 Iluminação

Segundo a norma em cada cômodo ou dependência deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor, quanto a determinação das cargas de iluminação, estas são realizadas em função da área do cômodo da residência, como alternativa à aplicação da ABNT NBR 5413 conforme prescrito na alínea “a” de 4.2.1.2.2, pode ser adotado a seguinte critério [9]:

- a) Em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- b) Em cômodo ou dependências com área superior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

A norma não estabelece critérios para iluminação de áreas externas em residência, ficando a decisão de tal dimensionamento por conta do engenheiro projetista e do proprietário do local da instalação.

2.1.1.2 Pontos de tomadas

O local no qual ocorre a vinculação do dispositivo elétrico ou eletrônico à instalação elétrica é realizada através de uma tomada de corrente, o definido ponto de tomada, na Figura 2.1-1 estão expostos alguns modelos de tomada seguindo a norma regulamentadora NBR 14136 de 2002.



Figura 2.1-1 - Tomada seguindo o padrão da norma NBR 14136:2002.

O número de pontos de tomada em uma residência, deve ser determinado em função da destinação do local e dos equipamentos elétricos que podem ser aí utilizados, observando-se de forma mínima os critérios listados pela norma [9], conforme exposto abaixo:

- a) Em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendendo as distâncias definidas no item 9.1 da norma NBR 5410;
- b) Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m ou fração de perímetro, sendo que acima da bancada da pia da cozinha devem ser previstas no mínimo duas tomadas de corrente, no mesmo ponto ou em pontos distintos;
- c) Em varandas, devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada, deve se ressaltar que em varandas com áreas inferiores a 2 m², a tomada não necessariamente deve ser alocada no espaço físico da varanda, podendo ser próximo ao seu acesso;
- d) Em salas e dormitórios devem ser previstas pelo menos um ponto de tomada a cada 5 m ou fração de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível. Deve se ressaltar que em salas de estar um ponto de tomada pode ser direcionado à alimentação de mais de um equipamento, fazendo-se necessário adequar este ponto com o número de tomadas adequado;
- e) Em cada um dos demais cômodos e dependências da habitação, devem ser previstos pelo menos:
 - ✓ Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m². Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo de sua porta de acesso;
 - ✓ Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m² e igual ou inferior a 6 m²;
 - ✓ Um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m², devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

Nas mais distintas formas de aplicações é estimável prever um volume de pontos de tomadas superior ao mínimo avaliado, evitando-se assim, a utilização de extensões e benjamins que, além de dissiparem uma considerada quantidade energia, podem danificar a segurança da instalação da residência [10].

Os pontos de tomadas são divididos em pontos de uso geral e pontos de uso específico, a seguir serão dadas as definições de cada um deste tipo:

- **Pontos de tomadas de uso geral** – Recebe a sigla PTUG e, a este tipo de tomadas são destinadas a ligação de equipamentos esporádicos, geralmente aparelhos móveis ou aparelhos portáteis, que não são conectados com grande frequência.
- **Pontos de tomadas de uso específico** – Recebe a sigla PTUE e é estabelecido em concordância com o número de aparelhos de utilização que sabidamente vão estar fixos em uma dada posição no ambiente de forma próxima ao permanente.

2.1.1.2.1 Atribuição de potências aos pontos de tomada

Potência a ser atribuída a cada ponto de tomada é função dos equipamentos que ele poderá vir alimentar e não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos estabelecidos pela NBR 5410:2002.

- a) Em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente. Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;
- b) Nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por ponto de tomada.

Estes critérios são estabelecidos para as definições de cargas das tomadas de uso geral (PTUG), para a tomadas de uso específico (PTUE), é necessário o conhecimento da potência nominal do equipamento a ser instalado, e seu dimensionamento deve ser realizado de modo superior ao previsto.

Para a alimentação de aquecedores elétricos de água, a sua ligação deve ser realizada de forma direta a rede, sem a utilização de tomadas de corrente, devem ser utilizados conectores específicos a este fim, são os casos dos chuveiros e torneiras de água aquecida, estes pontos também são definidos com PTUE.

Como observado nos tópicos acima, para a distribuição de iluminação e números de tomadas é necessário, inicialmente saber as dimensões do local onde será realizada a instalação, valores de área e perímetros, para a partir daí ser realizar o dimensionamento.

2.1.1.3 Carga total

A carga de uma instalação residencial é composta por dois tipos principais de potências, são estas a potência ativa (P) e a potência aparente (S), sendo esta última dada pela simples equação (2.1-1)

$$S = V * I \quad (2.1-1)$$

A potência aparente se divide em potência ativa e potência reativa, sendo que:

- A potência ativa (P) é a que é efetivamente transformada em potência mecânica (ventiladores, liquidificador e pequenos motores no geral) potência térmica (chuveiros, sanduicheiras e demais equipamentos com resistências), potência luminosa (iluminação, televisores e etc.), potência sonora dentre outras, a sua unidade de medida é watt (W);
- A potência reativa (Q) é a parcela transformada em campo magnético, necessária no funcionamento de grandes motores, transformadores, reatores e etc. A sua unidade de medida é volt-ampère reativo (VAr).

No entanto para projetos de instalações elétricas residenciais os cálculos efetuados são baseados apenas na potência aparente e na potência ativa, que estão ligadas através da equação (2.1-2).

$$P = S * f \quad (2.1-2)$$

Sendo f , o fator de potência que para iluminação e equipamentos de resistências vale 1 e para tomadas de uso geral ou específicos cujos equipamentos não são unicamente resistivos, este valor é 0,8. Sendo que quando o fator de potência é o valor unitário, significa que toda a potência aparente é transformada em potência ativa.

As potências dos PTUG e de iluminação são definidas em potência aparente, após a conversão para potência ativa utilizando a equação (2.1-2), estas são somadas, juntamente com as potências dos PTUE que já é definida como potência ativa, conforme a equação (2.1-3).

$$P_{PTUG} + P_{ILUM.} + P_{PTUE} = P_{TOTAL} \quad (2.1-3)$$

Em função da potência ativa total prevista para a instalação da residência é que se determina o tipo de fornecimento, a tensão de alimentação e o padrão de entrada para abastecimento da residência.

2.1.1.4 Tipo de fornecimento

O tipo de fornecimento pode ser monofásico, bifásico e trifásico e suas determinações dependem da concessionária de energia local, de acordo com a potência ativa total instalada. De modo comum, se tem as definições abaixo dos três tipos de fornecimento citados:

- ✓ Monofásico – É um circuito que é constituído por dois fios sendo um fase elétrica e um neutro, a tensão comum neste tipo de fornecimento é de 127 V, normalmente utilizado para cargas inferiores a 12 kW;
- ✓ Bifásico – É composto por um conjunto de três fios, sendo dois direcionado às fases e um ao neutro, as tensões de fornecimento podem ser de 127 V e de 220V, utilizado para cargas de 12 kW até 25kW;
- ✓ Trifásico – Formado normalmente por quatro fios, três deles direcionado ao transporte de fases e o neutro, igualmente ao fornecimento bifásico esta ligação pode conter de 127 V a 220 V, direcionado ao uso de cargas de 25 kW a 75 kW.

No caso dos sistemas bifásicos, pode-se utilizar na duas fases 127 V, e dentro da residência usar eletrodoméstico com tensão de 220 V, pois as tensões entre fase e neutro será 127 V, mas a tensão entre as duas fase de 127 V, fica de acordo com a equação (2.1-4), para mais aprofundamento neste contexto, buscar referências sobre a tensão de linha e tensão de fase.

$$127 * \sqrt{3} \cong 220 V \quad (2.1-4)$$

No caso do sistema monofásico é sempre necessário, para funcionar, a utilização de dois condutores, o de fase e o de neutro. Já nos sistemas bifásicos e trifásicos nem todas as cargas utilizam o neutro.

2.1.2 Balanceamento de carga

O balanceamento de carga consiste em direcionar as cargas para cada fase de modo a manter o equilíbrio o máximo possível entre duas fases. Com a carga devidamente balanceada as fases ficam adequadamente distribuídas, e por exemplo, ao se ligar um chuveiro, as lâmpadas não ficaram piscando, quando ligar o liquidificador a imagem da TV não irá falhar, isso porque a fase destinada ao chuveiro, ou ao liquidificador, não é a mesma fase a qual está ligada o circuito de iluminação ou da TV, respectivamente.

Quando não ocorre o devido balanceamento, podem surgir problemas com harmônicas, que são ondas múltiplas das senoidais fundamentais, o que leva ao aquecimento dos circuitos. Isso acontece com mais frequência em indústrias, pois existem muitas máquinas e todo aparelho ligado a energia distorce a onda senoidal, criando harmônicas. Em residências essa situação é menos problemática [11].

O balanceamento é feito simplesmente dividindo o as cargas previstas para as fases que a residência possui. Tal atividade realizada de forma correta é muito importante em um projeto

elétrico, pois através desse procedimento consegue-se obter a menor diferença possível entre a corrente que passa em cada fase.

O balanceamento não se aplica para projetos que utilizem alimentação monofásica, ou seja, o balanceamento de fases só faz sentido para projetos com fornecimentos trifásico ou bifásico.

2.1.3 Cálculos de demanda

Ao se observar uma instalação elétrica, seja ela industrial, comercial ou residencial, pode-se constatar que a potência elétrica consumida é variável a cada instante. Isto por que nem todas as cargas instaladas estão em funcionamento simultâneo. A potência total consumida a cada instante será, portanto, em função das cargas em operação e da potência elétrica absorvida por cada uma delas no ato de seu funcionamento.

Segundo a ANEEL [12] o fator de demanda é razão entre a demanda máxima ($D_{máx.}$) num intervalo de tempo especificado e a carga instalada ($P_{instalada}$) na UC conforme equação (2.1-5), adequando esta indicação da norma, pode-se definir que a demanda máxima de um residência é posta de acordo com equação (2.1-6).

$$FD = \frac{D_{máx.} (W)}{P_{instalada} (W)} \quad (2.1-5)$$

$$D_{máx.} (W) = FD * P_{instalada} (W) \quad (2.1-6)$$

De acordo com [10] o fator de demanda representa uma porcentagem do quanto das potências previstas serão utilizadas simultaneamente no momento de maior solicitação da instalação. Isto é feito para não superdimensionar os componentes dos circuitos de distribuição, tendo em vista que em uma residência, nem todas as lâmpadas e pontos de tomada são utilizados ao mesmo tempo.

O fator de demanda varia para o tipo de circuito, para o sistema de iluminação e os PTUGs são de acordo com os valores da potência prevista, já para os PTUEs é de acordo com o número de pontos, conforme demonstrado na **Tabela 2.1-1 “a” e “b”**, respectivamente.

Tabela 2.1-1 - Fator de demanda segundo [10]: a) Iluminação e PTUGs; b) PTUEs.

a) Fatores de demanda para iluminação e PTUG	
Potência (W)	Fator de demanda
0 a 1000	0,86
1001 a 2000	0,75
2001 a 3000	0,66
3001 a 4000	0,59
4001 a 5000	0,52
5001 a 6000	0,45
6001 a 7000	0,4
7001 a 8000	0,35
8001 a 9000	0,31
9001 a 10000	0,27
Acima de 10000	0,24

b) Fatores de demanda para PTUE	
Nº de PTUE	Fator de demanda
1	1
2	1
3	0,84
4	0,76
5	0,7
6	0,65
7	0,6
8	0,57
9	0,54
10	0,52

Após a obtenção do valor da demanda, este é dividido pelo valor médio do fator de potência (f) e é obtido a potência aparente recebida pela UC em estudo, com este valor de potência pode-se obter a corrente utilizada para o dimensionamento dos circuitos da residência.

2.1.4 Cálculos de consumo

A energia que é efetivamente utilizada pelo consumidor é seguida de uma tarifa, para saber qual a quantidade de energia consumida é relativamente simples, existem sites que fazem este cálculo, no entanto ele pode ser realizado por qualquer consumidor, apenas com conhecimentos básicos da potência ativa do eletrodoméstico instalado (Figura 2.1-2) e o tempo que este funciona, durante o mês.

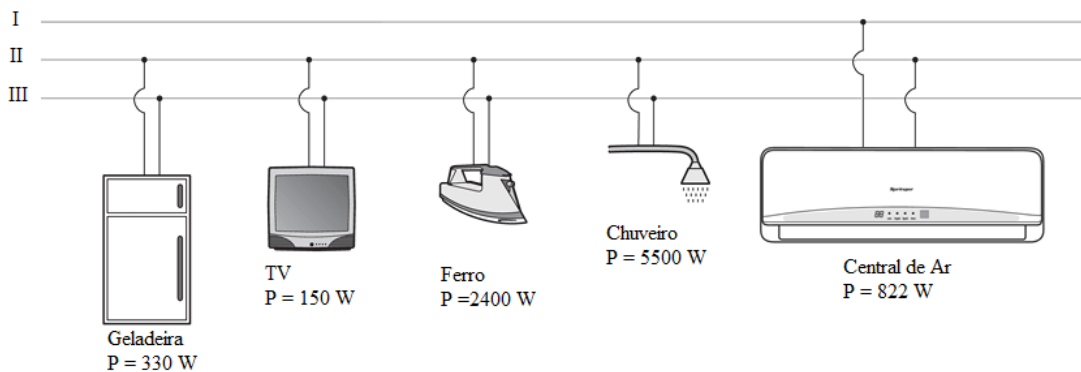


Figura 2.1-2 - Exemplo de potência de eletrodomésticos.

De posse dos valores de potência em watt (W) e do tempo em horas (h) de funcionamento do eletrodomésticos ou afins, pode-se aplicar a equação (2.1-7) e obter o consumo do determinado equipamento em kWh.

$$P_c = \frac{P * t}{1000} kWh \quad (2.1-7)$$

Pode-se realizar um levantamento da potência de todos os equipamentos e a média de tempo que estes passam em funcionamento durante o dia, aplicar a equação (2.1-7) a estes valores e em seguida realizar o somatório de todas as potências calculadas, desta forma se obtém o consumo da residência no dia determinado (P_D), equação (2.1-8), para o valor do mês apenas multiplica-se este valor pelo número de dias do mês, equação (2.1-9).

$$P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + \dots + P_{cn} = P_D \quad (2.1-8)$$

$$P_D * 30 = P_{Mensal} \frac{kWh}{mês} \quad (2.1-9)$$

A forma de calcular os custos financeiros não darão valores exatos por vários motivos, o principal deles são as perdas, que apesar de pouca, influenciam consideravelmente no resultado final, o custo por kWh é fixo, variando periodicamente de acordo com a distribuidora, entretanto os impostos, encargos e demais custos que incidem sobre a conta de luz, são relativamente variáveis, a forma correta é realizar uma média com o acompanhamento durante um determinado período do valor pago por kWh, através da conta de luz da residência conforme a equação (2.1-10), os valores da equação são os presentes na fatura mensal, o resultado será o valor pago pela energia (R\$/kWh) no mês do cálculo.

$$VL_{pago} = \frac{Consumo\ do\ mês}{Valor\ pago\ no\ mês} \quad (2.1-10)$$

Realiza-se um acompanhamento por um determinado período e calcula a média dos valores pagos, conforme equação (2.1-11)

$$\frac{VL_{pago1} + VL_{pago2} + VL_{pago3} + \dots + VL_{pago n}}{n} = VL_{previsto} \quad (2.1-11)$$

Multiplica os resultado da equação (2.1-9) e equação (2.1-11) e é obtido o valor estimado do gasto com energia elétrica na residência no mês considerado.

Como o objetivo do trabalho é reduzir este consumo de eletricidade da rede pertencente à concessionária, com a utilização de um sistema fotovoltaico no circuito da residência, a seguir será exposto um maior conhecimento sob o sistema citado, bem como as forma de dimensionamento e dispositivos utilizados para tal.

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar é uma fonte direta da luz e do calor do sol, esta energia é transformada em energia elétrica ou térmica a través de células fotovoltaicas. O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região inter-tropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. 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 [13].

O conhecimento da radiação solar incidente na atmosfera terrestre é importante para o panorama energético e no desenvolvimento sustentável do país. Este estudo terá uma breve descrição da radiação no Brasil, pois tal radiação fará parte do estudo em questão.

2.2.1 Radiação solar

A radiação solar que a terra recebe equivale a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano [13]. O que seria equivalente a aproximadamente centenas de milhões vezes a geração de energia elétrica de uma usina como a de Itaipu, que gera em torno de 9×10^{10} kWh/ano [14].

A radiação de energia solar no Brasil gira em torno de 6,5 kWh/m² a 4,25 kWh/m² (em pontos específicos), sendo uma maior radiação que países como Alemanha, França e Espanha, locais onde a sua aplicação doméstica é amplamente incentivada inclusive por instituições governamentais [13].

Segundo [13] a radiação solar no Brasil está exposta na Figura 2.2-1, para uma média anual, pesquisa realizada em 2006.

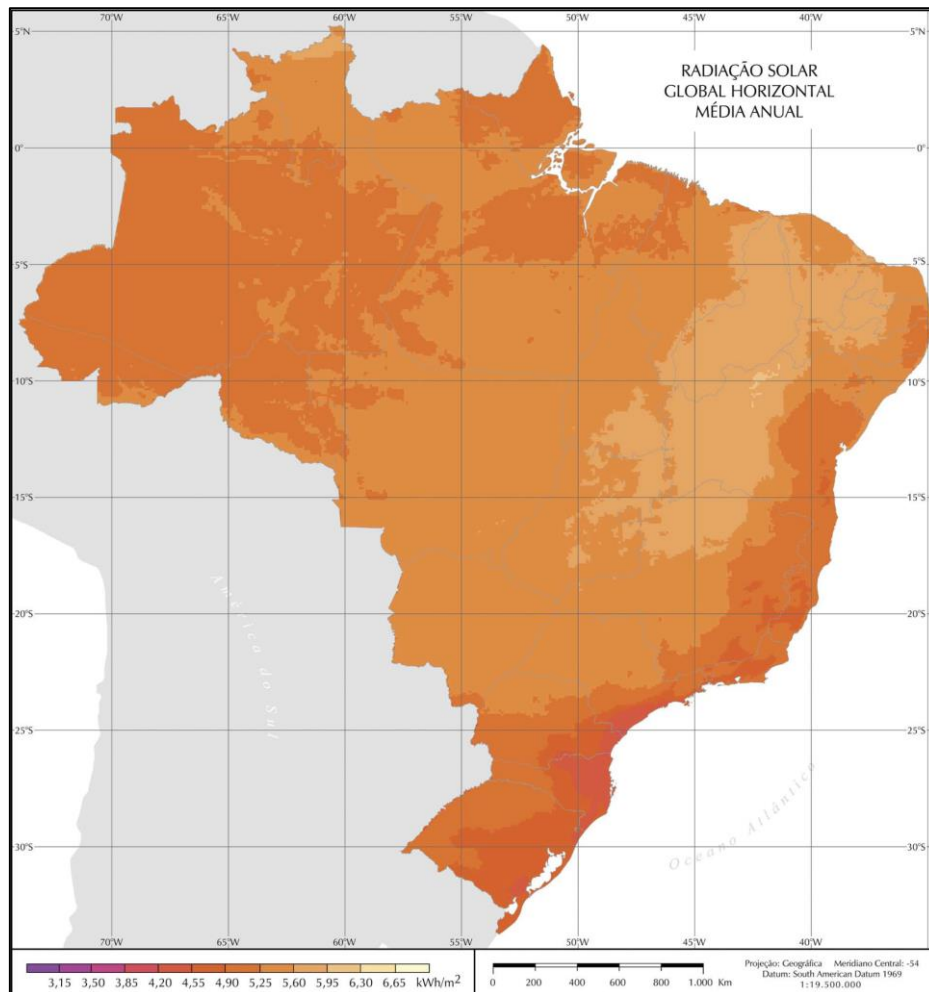


Figura 2.2-1 - Radiação solar horizontal no Brasil, média anual, segundo [13].

O conhecimento sob a radiação solar na região de aplicação do projeto será necessário para o correto dimensionamento do dispositivo, uma vez que a potência de tal será em função direta da radiação no local do estudo.

Com o conhecimento médio da radiação solar para a região em estudo, faz-se necessário o conhecimento do funcionamento das células fotovoltaicas, bem como do sistema que se pretende projetar.

2.2.2 Efeito fotovoltaico

Há na natureza materiais rotulados como semicondutores, que se caracterizam por terem uma banda de valência completamente recheada por elétrons e uma banda de condução integralmente “vazia” em baixas temperaturas. Estes semicondutores são os materiais utilizados na obtenção de energia fotovoltaica.

Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo hoje são baseados em alguma variação do silício. Em 2014, cerca de 85% de todos os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em casas e empresas no mundo todo utilizaram alguma tecnologia baseada em silício (Si) [15]. Isto

por que o silício é um átomo que possui quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos, e quando o silício é puro, forma uma rede cristalina com estes quatro elétrons, conforme Figura 2.2-2.

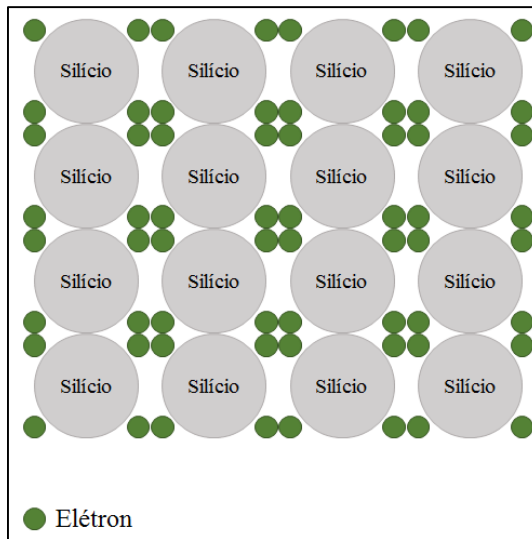


Figura 2.2-2 - Representação da estrutura do silício.

Ao se adicionar um átomo de fósforo (dopante N – portadores negativos), que é um átomo com cinco elétrons de ligação, haverá um elétron em excesso e então este fica “sobrando” e sua ligação com o átomo de origem fica fraca, com pouca energia térmica o elétrons se torna livre, indo para a banda de condução, conforme demonstrado na Figura 2.2-3.

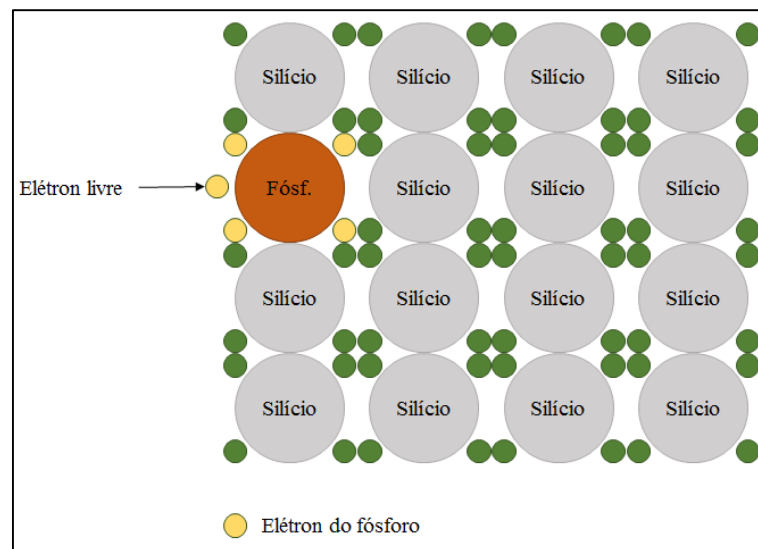


Figura 2.2-3 - Dopagem tipo N.

Ao se somar ao silício, o boro (dopante P – portadores positivos), que é um átomo com três elétrons de ligação, haverá uma falta de um elétrons para satisfazer as ligações com silício, esta falta é chamada de buraco ou lacuna (Figura 2.2-4) e quando está exposto a pouca energia

térmica, um elétron do sítio vizinho passa para a posição vazia, fazendo com que o buraco se desloque.

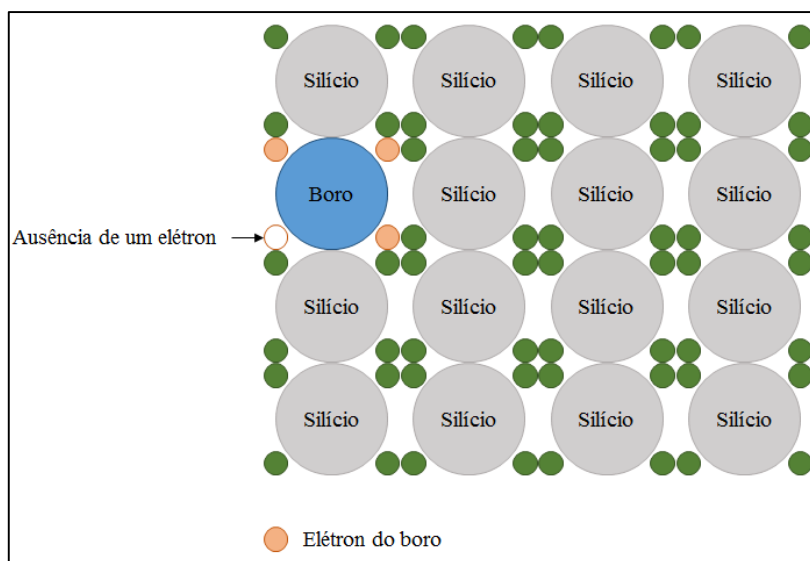


Figura 2.2-4 - Dopagem tipo P.

Os silícios formados com estas dopagens recebem o nome de Silício tipo N e Silício tipo P, respectivamente. Quando são juntas, as duas formas de silício, formam a chamada junção PN, os elétrons livres do tipo N, passam a preencher as lacunas presentes no tipo P, isto forma um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons de N para P, de forma que a passagem de elétrons se torne inviável [16].

Quando esta junção PN é exposta a fótons (luz), com energia maior que o *gap* do campo elétrico formado, ocorrerá a excitação de pares de elétrons/lacunas; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, corrente elétrica, e dando origem à diferença de potencial entre P e N, a este fenômeno dar-se o nome de Efeito Fotovoltaico [16]. Se forem conectados fios nas extremidade de N e P haverá circulação de corrente.

2.2.3 Célula fotovoltaica

A primeira célula fotovoltaica foi criada em 1883 pelo físico Charles Fritts [8], esta criação é o principal componente de estudo deste presente trabalho, uma vez que a conversão de energia solar em elétrica, é realizada através de tal elemento.

Este elemento é composto pelos dois tipos de silícios relatados no tópico 2.2.2, conforme Figura 2.2-5, o tipo N composto, basicamente por elétrons livres e o tipo P, composto por lacunas de elétrons.

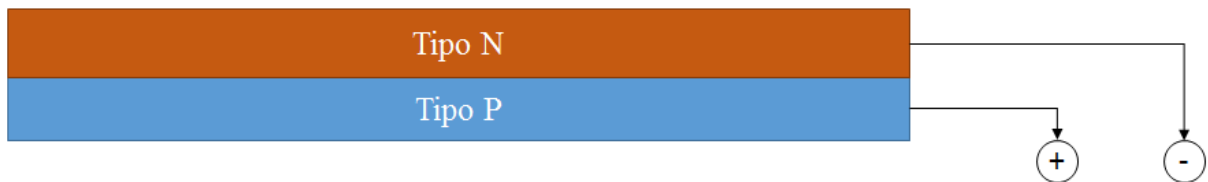


Figura 2.2-5 - Composição da célula fotovoltaica.

A célula criada em 1883, não era muito eficiente, sua eficiência era em torno de 1% conforme [8]. Atualmente, as células fotovoltaicas apresentam eficiência de conversão, normalmente na ordem de 16%. Existem células fotovoltaicas com eficiências de até 28%, fabricadas de arseneto de gálio, mas o seu alto custo limita a produção dessas células solares para o uso da indústria espacial.

2.2.3.1 Eficiência

A eficiência de uma célula fotovoltaica, é a porcentagem de energia do sol que atinge a superfície do painel solar e é efetivamente transformada em energia elétrica para o consumo, a

$$\eta = \frac{P_{mp}}{R_c * A} * 100 \quad (2.2-1)$$

equação (2.2-1), demonstra como pode ser calculada tal eficiência.

Onde:

- P_{mp} – Potência máxima produzida pelo sistema (kWh);
- R_c – Radiação solar (kWh/m²);
- A – Área útil do módulo (m²).

O valor da eficiência quer dizer que, quanto maior é a eficiência do painel fotovoltaico, mais Watts por metro quadrado o sistema gera e menor é o painel para a mesma produção de energia. Assumindo que 1000 W atinja o painel solar fotovoltaico por hora, um painel fotovoltaico com eficiência de 14,5% vai produzir 145 Wh/m², no entanto isso só funciona efetivamente em laboratórios, na prática existem outros fatores a se considerar, como, temperatura, direção do painel dentre outras grandezas.

2.2.3.2 Tipos

A eficiência da célula fotovoltaica depende diretamente do tipo da tecnologia de manufatura e do material envolvido, além disso existem vários tipos de células, e cada um tipo possui suas próprias características, conforme relatado abaixo.

- ✓ Célula de silício cristalino – O material mais importante para as células solares cristalina é o silício, normalmente, encontrado na forma de dióxido de silício (SiO₂). Em relação

a estrutura a células podem ser de silício monocristalino (um único cristal), e policristalino, de silício laminado ou silício cristalino de película fina. Esta é a tecnologia mais empregada no mercado atualmente, com uma participação de 95% do mercado de células fotoelétricas. Atualmente apresenta um rendimento (célula) de 15% a 21% em suas células; painéis solares feitos de células de silício cristalino tem rendimento (painel) de 13% a 17%.

- ✓ Célula de película fina – O material utilizado na sua estruturação é o silício amorfo, o diselenieto de cobre, o índio e o telurieto de cádmio, o custo de produção é relativamente menor que as de silício cristalino, no entanto possuem uma participação de no mercado mundial de apenas 3,7%, pois a sua eficiência é baixa, de aproximadamente apenas 7%.
- ✓ Células de novas tecnologias – Nos últimos anos surgiram novas tecnologias na fabricação de células, como as células cristalinas sensibilizadas com corantes (célula de Grätzel), células microcristalina e micromorfas dentre outros tipos com menor comercialização devido aos seus elevados custos de fabricação.

Independentemente do tipo, material ou princípio de fabricação, uma única célula fotovoltaica não produz eletricidade suficiente que justifique sua fabricação, logo a sua atuação é realizada em um emaranhado conjunto de células, formando, as conhecidas popularmente por placas solares ou com o termo mais técnico painel solar fotovoltaico

2.2.4 Painel solar fotovoltaico

Estes painéis são os dispositivos utilizados para a conversão da energia solar em energia elétrica, é basicamente composto por células fotovoltaicas que são ligadas em série através de contatos metálicos, conforme Figura 2.2-6. Estas células são cobertas por um material transparente e maleável capaz de assegurar o isolamento elétrico entre elas e manter a proteção contra agentes atmosféricos e tensões mecânicas.

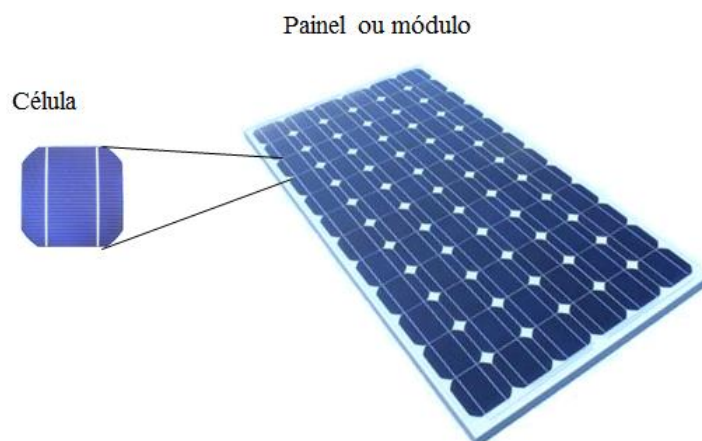


Figura 2.2-6 - Composição de um painel fotovoltaico.

O símbolo elétrico utilizado para representar um painel fotovoltaico é o da Figura 2.2-7.

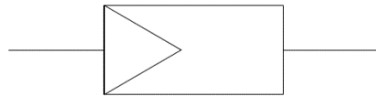


Figura 2.2-7 - Símbolo de um módulo fotovoltaico.

Apesar de um painel fotovoltaico ser um composto de células, pelo fato de um única célula não ser capaz de produzir energia suficiente, um único painel também não é satisfatório para a geração da energia a ser consumida por uma residência.

2.2.4.1 Ligação de painéis

Pelo fato de a energia consumida não poder ser suprida por um único painel, é possível aumentar a geração simplesmente conectando de forma ordenada vários painéis, esta conexão pode ser com painéis em série, em paralelo ou mista de acordo com o desejado, conforme é listado abaixo.

- A conexão em série, conforme demonstrada na Figura 2.2-8, neste caso a tensão de saída do sistema será proporcional à quantidade de painéis, porém o valor da corrente permanecerá o mesmo, permitindo assim o uso de cabos de mesma bitola [7]. Um conjunto de painéis ligados em série forma uma fileira, e a sua desvantagem, está no fato de em caso de sombreamento de algum painel, a produção de todo o sistema estará comprometida.

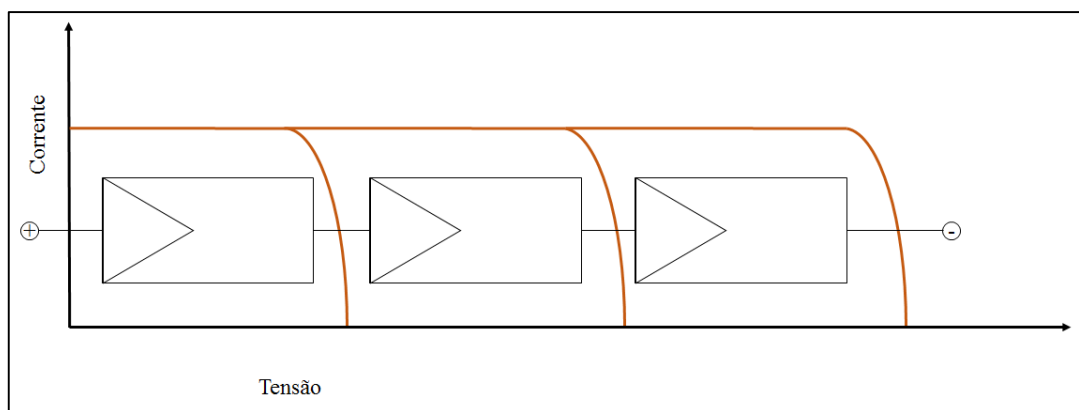


Figura 2.2-8 - Ligação de painéis em série, segundo [7].

- A conexão em paralelo, demonstrado na Figura 2.2-9, não altera o valor de tensão na saída, assim vários equipamentos, que exigem uma determinada tensão de entrada, utilizados no projeto para apenas um painel, como inversores e baterias poderão ser aproveitados. Neste caso ocorrerá o aumento da corrente [7]. Caso haja um sombreamento, apenas os módulos afetados por ele irão deixar de contribuir.

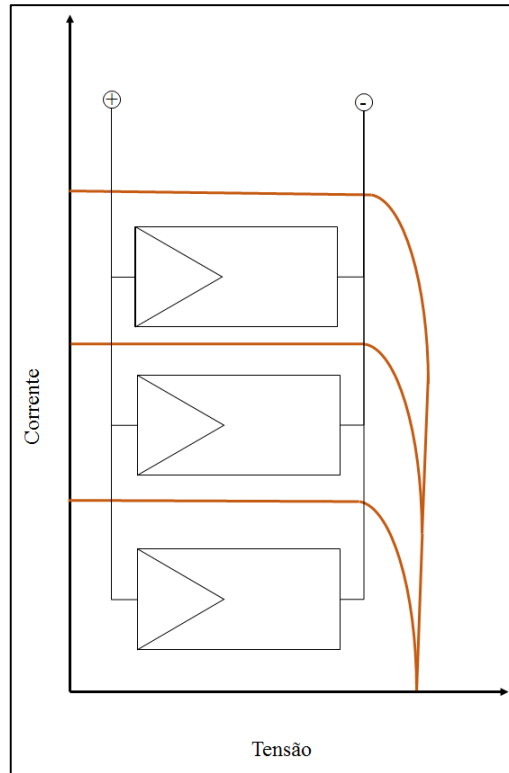


Figura 2.2-9 - Ligação de painéis em paralelo, segundo [7].

- Outra alternativa de ligação dos painéis é a constituída por ligações série-paralelo, conforme Figura 2.2-10, esta é a configuração mais utilizada em projetos que exigem um determinado nível de tensão de saída, uma vez que a corrente e a tensão são elevadas nesta composição.

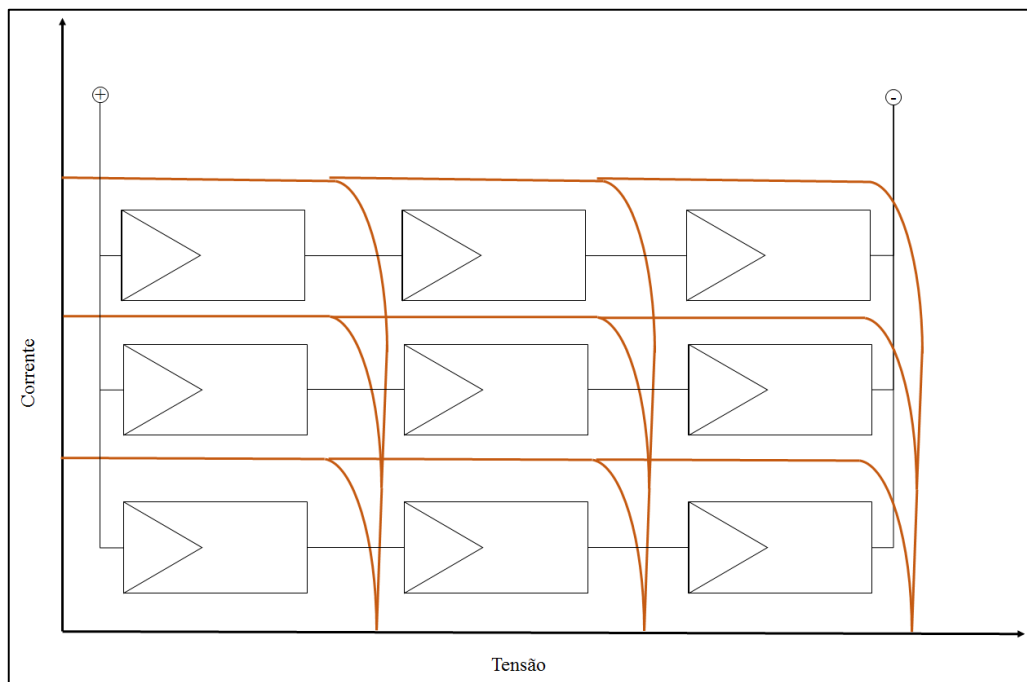


Figura 2.2-10 - Ligação série-paralelo de painéis, segundo [7].

O tipo de instalação dos painéis fotovoltaicos são de suma importância para as definições que o projeto atuará, se com elevada ou baixa corrente ou tensão, como um sistema de apoio ou com um objetivo fixo e etc.

2.2.5 Tipo de sistema voltaico

Outro ponto que define o objetivo final de um projeto fotovoltaico é o tipo de sistema projetado, este sistema pode ser dividido em três tipos, consideravelmente simples. São eles o sistema autônomo ou isolado, sistema conectado à rede e sistema híbrido.

2.2.5.1 Sistema isolado ou autônomo (Off-Grid)

Os sistemas autônomos são independentes da rede elétrica pública ou similares, geralmente aplicado em locais de difícil acesso às redes de transmissão e distribuição, como ilhas ou zonas rurais isoladas. Para este tipo de sistema há várias possíveis configurações, conforme expostas abaixo:

- Carga CC sem armazenamento – Onde a energia gerada é utilizada no momento da geração por equipamentos que operam com corrente contínua;
- Carga CC com armazenamento – Nesta configuração se utiliza equipamentos em corrente contínua, independente do horário da geração;
- Carga CA sem armazenamento – Similar ao sistema CC sem armazenamento, diferenciando pela presença de um inversor e agora a operação de equipamentos em corrente alternada;
- Carga CA com armazenamento – Este é similar ao CC com armazenamento, diferenciando pela inserção do inversor CC/CA, entre a geração e a carga;

Estas configurações podem ser analisadas na observação da Figura 2.2-11, sendo que no esquema está a demonstração do quarto caso.

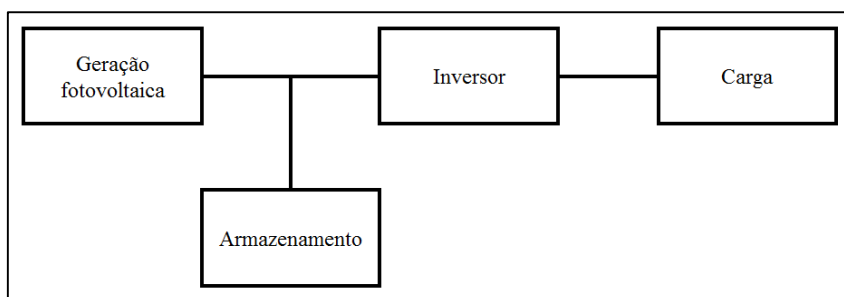


Figura 2.2-11 - Representação esquemática do sistema autônomo.

2.2.5.2 Sistema Conectado à rede (Grid-Tie)

Na configuração de sistema conectado à rede, não há meios de armazenamento no local da geração, a própria rede elétrica pública é utilizada para o “armazenamento”, com ligação conforme a Figura 2.2-12. Em resumo, estes sistemas fornecem eletricidade para o consumidor junto com a rede elétrica tradicional. Toda a eletricidade produzida a partir do sol pode ser usada para o consumo próprio, pode-se dizer:

- Quando existe luz solar o consumidor usa a energia produzida localmente;
- Quando não há a luz solar o consumidor continua sendo abastecido normalmente pela rede elétrica pública.

Nesta configuração, toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é imediatamente injetada na rede elétrica, sendo consumida internamente ou exportada para a concessionária, de acordo com os níveis de geração e consumo instantâneos.

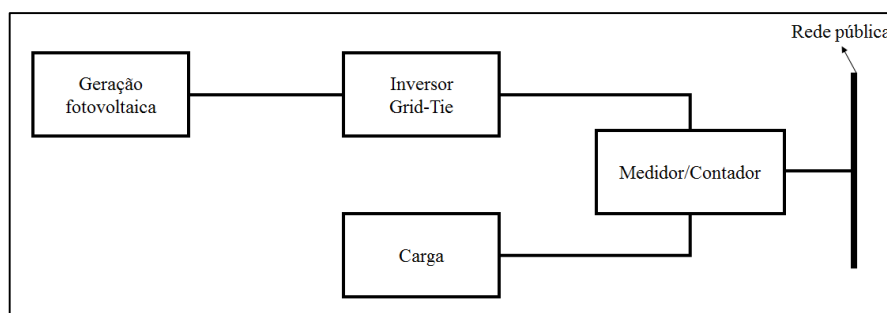


Figura 2.2-12 - Representação de sistema conectado à rede.

Sistema do tipo *grid-tie*, podem ser inclusos no conceito de geração distribuída e no sistema de compensação de créditos, presentes em [17].

Na prática, uma residência que possui um sistema fotovoltaico incluso no sistema de compensação de crédito passa a consumir menos ou nenhuma eletricidade da rede pública, podendo zerar a conta de eletricidade ao fim do mês.

O sistema de compensação de crédito foi definido na Resolução N° 482 da ANEEL em abril de 2012 [17] (tópico 2.2.6), e permite o intercâmbio entre pequenos produtores de energia e o sistema de distribuição público das concessionárias.

Em uma outra linguagem:

- Quando os aparelhos eletroeletrônicos estão consumindo, e o sistema fotovoltaico está gerando energia suficiente, a energia gerada é aproveitada pelo consumidor seja uma residência, comércio, indústria ou entidade pública.

- Quando os aparelhos eletroeletrônicos estão consumindo mais do que o sistema fotovoltaico está gerando no momento, a parte que falta é 'puxada' da rede elétrica.
- Quando o sistema fotovoltaico está gerando mais potência do que está sendo consumida, a energia excedente 'automaticamente' sai para rede. Nesse momento, o medidor de energia 'gira ao contrário' e o cliente têm um crédito energético aplicado a sua conta para ser consumido em até 36 meses.

2.2.5.3 Sistema híbrido

Sistemas híbridos são menos utilizados, são aqueles que são desconectados da rede elétrica pública, no entanto existe mais de uma forma de geração de energia, como um gerador a diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos. Estes sistemas são complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar, alternar e controlar os vários geradores.

Os mais variados tipos de sistema, devem ter seu projeto, respeitando considerados níveis de segurança, geralmente definidos por alguma norma. O órgão que gerencia estas normas é a ANEEL, especificamente, o tipo de sistema estudado neste trabalho regulamentado pela resolução de Nº 482 de 2012.

2.2.6 Normas da ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, criou no ano de 2012 a Resolução Normativa Nº 482:2012, esta tem como objeto principal, as pequenas geradoras de energia, como a pretendida neste trabalho. Os projetos de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas devem atender os requisitos imposto por esta norma, assegurando assim, segurança e qualidade na energia.

O Procedimento de Distribuição de Energia no Sistema Elétrico Nacional [18], retém normas que tratam do intercâmbio de informações entre a ANEEL e as distribuidoras, padronizando e normatizando as atividades técnicas relacionadas ao sistema de distribuição de energia elétrica.

A Resolução Nº 482:2012 possui as seguintes definições [17]:

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

“III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.”

A ANEEL define ainda, os componentes necessários que o sistema de geração de energia deve possuir, esses são os requisitos mínimos definidos pelas agência de acordo com a classificação da geração na qual o sistema se encaixa, conforme definido na **Tabela 2.2-1**.

Tabela 2.2-1 – Requisitos mínimos de acordo com o tipo de geração, segundo a ANEEL [17] [19].

Componente exigido	Tipo de geração	
	Microgeração (<100 kW)	Minigeração (>100 kW ≤ 1 MW)
Elemento de desconexão	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim
Transformador acoplado	Não	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim
Proteção de sub e sobre frequência	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não
Sobrecorrente direcional	Não	Não
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não
Relé de sincronismo	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim
Estudo de curto circuito	Não	Sim
Medidor bidirecional	Sim	Sim
Ensaio	Sim	Sim

Buscando atender o máximo possível as definições da ANEEL abaixo estarão descritos os componentes utilizados no projeto, bem como as suas definições e funções dentro do mesmo.

2.2.7 Componente de sistema fotovoltaico

Os componentes de um sistema fotovoltaico incluem além do painel de geração outros elementos que são usuais em todo e qualquer tipo de sistema elétrico. Elementos de proteção, de medição, controle e transportes são alguns dos componentes fundamentais para o adequado funcionamento do sistema como o projetado, conforme representado na Figura 2.2-13.

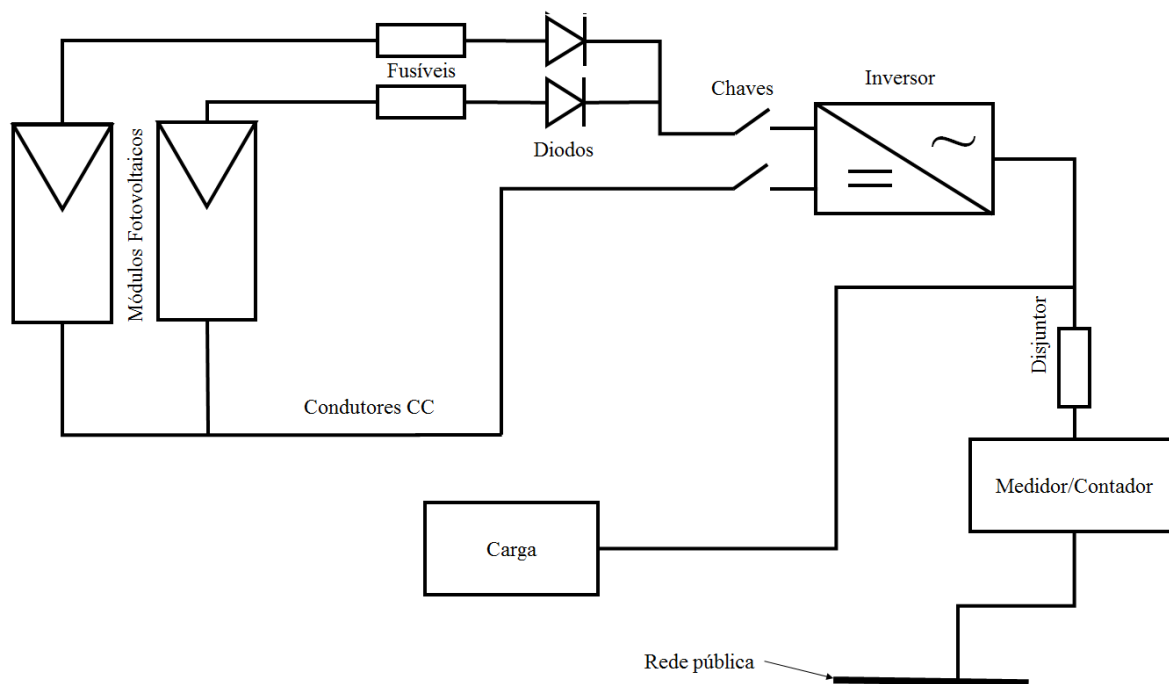


Figura 2.2-13 - Representação esquemática de um sistema fotovoltaico [7] [16] [20].

A Figura 2.2-13 possui uma representação esquemática do tipo de instalação que será abordada neste trabalho, não será discutido os componentes presentes no tipo de geração autônomo, uma vez que o foco do trabalho, é um sistema conectado à rede.

2.2.7.1 Conjunto fotovoltaico

O conjunto fotovoltaico, neste trabalho, será definido como o conjugado dos painéis fotovoltaicos discutidos no tópico 2.2.4. O conjunto é formado por placas, módulos ou painéis fotovoltaico, conforma a Figura 2.2-14.

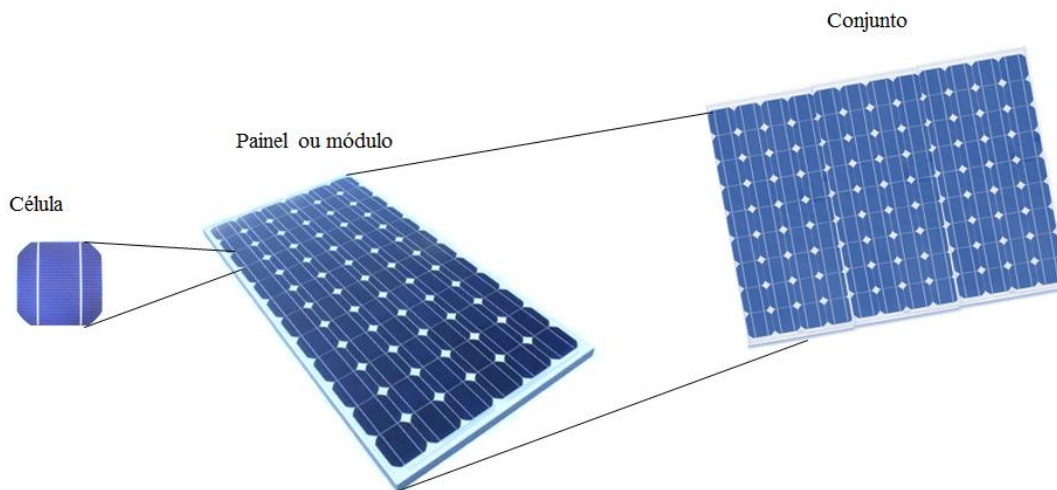


Figura 2.2-14 - Formação de um conjunto fotovoltaico.

Usualmente a potência dos painéis fotovoltaicos é especificada pela sua potência de pico expressa em unidade de watt-pico (Wp). Para saber qual a carga necessária em uma residência, nem só é necessário conhecer a carga instalada como ter uma base de alterações futuras.

O dimensionamento de um conjunto fotovoltaico se resume em:

- Definir a carga necessária;
- O tamanho da área necessária para a instalação;
- A quantidade de painéis para suprir a carga almejada;
- O tipo de ligação.

Com os dados de carga do local de instalação já mensurados, é necessário saber quantos Wp irão ser necessários para suportar a carga calculada. Este valor depende da:

- Potência nominal do painel fotovoltaico utilizado (Wp);
- Potência média consumida diariamente (kWh/dia);
- E radiação solar diária no local da instalação (kWh/m²);

Segundo [21] a potência de um microgerador que compõe um sistema fotovoltaico pode ser calculada pela equação (2.2-2), onde se pode escolher uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende suprir com o SFCR.

$$P_{FV} = \frac{P_{kWh/dia}}{TD * HSP} \quad (2.2-2)$$

Onde:

- HSP – Horas de Sol Pleno;
- TD – Taxa de Desempenho.

Horas de pleno é a grandeza que reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², sendo assim a energia resultante é equivalente a energia disponibilizada. Pode se dizer que é dado conforme a equação (2.2-3).

$$HSP = \frac{R_{Wh/m^2}}{1 Wh/m^2} \quad (2.2-3)$$

Logo,

$$HSP = \frac{R_{Wh}}{m^2} (Radiação) \quad (2.2-4)$$

Segundo [21], a taxa de desempenho – TD, é definida como a relação entre o desempenho real e o desempenho teórico do sistema fotovoltaico. Sendo que para sistemas conectados à rede, bem ventilados e não sombreados, um TD entre 70% e 80% deve ser considerada nas condições de radiação solar encontradas no Brasil [21], será uma referência desses valores que será utilizada para a realização deste trabalho.

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, antes de chegar na carga ou na rede, deve passar por um dispositivo capaz de convertê-la de sua forma contínua para a forma alternada.

2.2.7.2 Inversor CC/CA

A corrente produzida pelos módulos fotovoltaicos, durante todo o processo de conversão de energia solar para elétrica, é do tipo contínua. Como é de conhecimento, no mercado existe um número limitado de dispositivos eletroeletrônicos que operam com este tipo de corrente.

Para adequar a corrente gerada pelo sistema fotovoltaico, para a corrente utilizada pela maioria dos eletrodomésticos, corrente alternada, é utilizado um inversor do tipo CC/CA. Os inversores são equipamentos que convertem energia elétrica de corrente contínua para corrente alternada [7]. Em suma o papel do inversor é, basicamente, estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede ou carga, ajustando a energia elétrica gerada para a frequência e nível de tensão da rede na qual encontra-se ligado. Assim pode-se dizer que este é um dos principais elementos que compõem o sistema em estudo.

Os inversores podem ser classificados em dois tipos distintos dependendo do tipo de sistema fotovoltaico no qual será instalado, ele são: inversor *Off-Grid*; e inversor *Grid-Tie*.

2.2.7.2.1 Inversor *Off-Grid*

Os inversores *Off-Grid* ou autônomos são utilizados em sistemas do tipo autônomo, normalmente esses sistemas possuem um banco de bateria que armazenam a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, por este motivo além de se comportarem como inversor este dispositivo também tem que tolerar as flutuações de tensão das baterias e a proteger contra profundas descargas.

2.2.7.2.2 Inversor *Grid-Tie*

Inversor do tipo *Grid-Tie*, é instalado em sistemas conectados à rede, ele transfere a energia produzida pelos módulos diretamente para o quadro de distribuição de força do local. É o inversor o responsável pelas ações descritas no subtópico 2.2.5.2, ele realiza todas as atividade de modo automático, sem nenhuma intervenção do usuário [20].

Além do inversor realizar a sua função de converter CC para CA e de manter o equilíbrio entre o sistema e a rede, ele desempenha outras atividade dentro do sistema de suma importância, tais como:

- Registros de dados operacionais;
- Dispositivo de proteção CA e CC;
- Desconexão automática e manual da rede;
- Proteção de ilhamento, galvânica;
- Relé de sincronismo;
- Seccionamentos;
- Realiza a função de equilíbrio de potência, dentre outras possíveis atividade.

A eficiência de todos os inversores depende do método de conversão e filtragem utilizados para suavizar a saída e eliminar os harmônicos indesejáveis que resultam do processo de conversão. A eficiência é na verdade a relação entre potência de saída pela potência de entrada do inversor, portanto está caracterizada pelas perdas ocasionadas pelos comutadores eletrônicos, controladores e pelos dispositivos de registro de dados operacionais, a eficiência dos inversores varia de 50% a 95%, podendo diminuir quando estão funcionando abaixo da potência nominal, esta eficiência é dada pela equação (2.2-5) [21].

$$\eta_i = \frac{P_{AC}}{P_{CC}} \quad (2.2-5)$$

A potência de saída (P_{AC}) do inversor deve ser próxima a potência total necessária para alimentar as cargas, em suma a potência do inversor está associada à potência do conjunto fotovoltaico [21].

A tensão de entrada dos inversores na configuração *grid-tie*, devem sempre ser atendidas pela associação série/paralelo dos painéis, já as tensões e frequências de saída podem ser de acordo com a rede à qual está instalado.

Pelo fato de a corrente na saída do inversor ser produzida eletronicamente, por meio de um sistema que utiliza a informação da própria tensão da rede para a síntese da corrente, quaisquer outros dispositivos de sincronismo e proteção são dispensados nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede [22].

2.2.7.3 Seguidor do ponto de máxima potência (MPPT)

A corrente produzida pelas células fotovoltaicas é diretamente proporcional à radiação solar e é muito pouco afetada pela temperatura, entretanto, a tensão e a potência decrescem significativamente com o aumento da temperatura [16]. Dito isso, é observável que durante o dia, o arranjo fotovoltaico está exposto aos mais variados níveis de radiação e logo, de temperatura. Assim sendo, o ponto de máxima potência varia dentro de uma determinada faixa, conseqüentemente é necessário que haja um dispositivo capaz de otimizar o ponto de operação, que aumentará no rendimento de geração.

Este dispositivo que busca o ponto de potência ideal é o chamado MPPT do inglês *Maximum Power Point Tracker* (Seguidor de ponto de máxima potência). Ele opera de modo a regular a tensão e corrente de operação do arranjo fotovoltaico, a fim de obter o máximo produto de corrente x tensão.

Normalmente este dispositivo está incluso no sistema interno do inversor, no entanto pode também ser adquirido separadamente.

2.2.7.4 Sistema de proteção

Como em todo e qualquer sistema elétrico, o sistema fotovoltaico também requer um bem concebido e dimensionado sistema de proteção capaz de o proteger em caso de falha ou erro de operação. A composição deste sistema está exposta abaixo:

2.2.7.4.1 Diodo de bloqueio

Caso uma corrente elétrica atravesse, um determinado painel ou fileira de painéis, no sentido contrário ao que foi projetado, seu funcionamento estará comprometido

permanentemente. Afim de evitar tais correntes, a entrada do painel deverá ser protegida com um diodo de bloqueio.

Um diodo de bloqueio promove o desacoplamento entre as fileiras dos módulos individuais, em caso de ocorrer um curto-circuito ou o sombreamento de uma fileira, as restantes poderão continuar a funcionar sem serem comprometidas, em caso de uma corrente fora do projetado, este diodo fará a devida proteção [7].

A tensão do diodo de bloqueio da fileira deve ser, obrigatoriamente, maior ou igual ao dobro da tensão de circuito aberto da fileira fotovoltaica sob condições de teste padrão [20]. Durante a operação do sistema, os diodos de bloqueio das fileiras estão diretamente polarizadas. Isto permite que a corrente da fileira flua através deles. A corrente circulante provoca quedas de tensão de aproximadamente 0,5 V-10 V.

Os módulos fotovoltaicos atuais já incluem um ou mais diodos de bloqueio, evitando que o projetista tenha que adicioná-los em seu projeto, estes diodos ficam, normalmente dentro da caixa de conexão dos módulos, onde sua localização pode ser constatada, visivelmente [21].

2.2.7.4.2 Dissipador de calor

Em função da queda de tensão que ocorre no diodo de bloqueio, é possível que ocorra o aumento de temperatura neste, em função disso, é aconselhável que se utilize um dissipador de calor acoplado aos diodos nas fileiras, para que estes não sejam danificados pelo temperatura de operação do sistema fotovoltaico [20].

2.2.7.4.3 Fusível de fileira

Estes também fazem parte da proteção por fileira, eles protegem os cabos contra sobrecargas e devem ser concebidos para funcionar em corrente contínua [16]. Ele é um componente de proteção utilizado para proteger a série fotovoltaica do fluxo de corrente reversa de uma fileira em série, no entanto só se faz necessário se houver mais de duas séries, ele deve ser alocado na saída de cada série, tanto no polo positivo quanto no negativo [21].

2.2.7.4.4 Disjuntores

Disjuntor, não foge do padrão, é um clássico dispositivo capaz de conduzir, estabelecer e interromper correntes normais e anormais especificadas, tais correntes são definidas de acordo com as correntes normais de operação respeitando os dados definidos pelo fabricante do disjuntor e pelo projetista do sistema. São dimensionados tendo como limites, a corrente nominais do sistema e dos condutores, conforme a equação (2.2-6) [7].

$$I_n \leq I_d \leq I_{m\acute{a}x} \quad (2.2-6)$$

Sendo:

- I_n – Corrente nominal do circuito;
- I_d – Corrente nominal do disjuntor;
- $I_{m\acute{a}x}$ – corrente maxima permitida no condutor.

Em suma os disjuntores sao aparelhos de protecao contra sobre intensidades, que podem voltar a ser rearmados depois de dispararem. Isolam automaticamente o sistema fotovoltaico da rede eltrica, caso ocorra uma sobrecarga ou um curto-circuito. Estes dispositivos automticos sao frequentemente usados como interruptores AC.

2.2.7.4.5 Protecao anti-ilhamento

Basicamente o ilhamento  definido quando parte de uma rede de distribuicao, que tenha geracao e carga, continua energizada dentro dos nveis operacionais mesmo com a rede principal desconecta, ou seja, sem fornecimento da rede. O sistema de protecao de anti-ilhamento, consiste na deteccao de uma ausncia da tenso de rede, que pode ser intencional, para execucao de trabalhos de manutencao, ou no intencional, pela atuacao de algum equipamento de protecao de linha em casos de falhas na rede. Nessas situacoes ocorre a abertura automtica de um dispositivo de interligacao, que corta a ligacao entre a instalacao de geracao e a rede, permitindo que a geracao fotovoltaica, fique “ilhada”, no fornecendo energia a rede desenergizada.

Segundo [16] os mtodos de deteccao de ilhamento, pode ser dividido em trs grupos:

- **Mtodo do tipo passivo residente no inversor** – Consiste da deteccao de uma anomalia na tenso do ponto de acoplamento comum entre o inversor e a rede;
- **Mtodo do tipo ativo residente no inversor** – Utilizam diversas tcnicas a fim de causar uma condicao anormal da tenso no ponto de acoplamento comum, e atravs da resposta do sistema a essa anormalidade o ilhamento poder se detectado;
- **Mtodos do tipo no residente no inversor** – So baseados na transmisso de dados do sistema pelo inversor ou por algum sistema de monitoramento da rede, que  enviada para a concessionria e com esses dados se determina a abertura ou no do sistema fotovoltaico.

2.2.7.5 Sistema de medicao

Os medidores de energia so importantes para que se tenha o conhecimento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico, bem como quanto a residncia est demandando da energia

fornecida pela rede. O ideal é utilizar um medidor de 4 quadrante ou bidirecional que é capaz de medir tanto a geração quanto o consumo.

2.2.7.5.1 Medidor bidirecional ou 4 quadrantes

É o medidor que faz a medição da energia ativa e reativa de forma bidirecional e através da memória armazena os dados. Este medidor é obrigatório quando se quer realizar, ou um estudo de qualidade de energia ou um levantamento de curvas de carga e haja a possibilidade de se ter fluxo de energia nos dois sentidos no ponto de medição, conforme especificado em [18].

Para medição do grupo B (unidades consumidoras com fornecimento de tensão menor que 2,3 kV) é necessária apenas a medição de energia ativa, sendo opcional a medição de energia reativa [16].

3 RESULTADOS

O projeto foi iniciado com a coleta dos dados de dimensões da residência (Figura 3.1-1) em estudo e em seguida foi feito o desenho exposto na Figura 3.1-2. Utilizando os conhecimentos adquiridos no tópico 2.1, foi realizado a distribuição e previsão de carga na residência exposto no tópico 3.1, em sequência foram obtidos os valores de carga efetivamente instalados, sendo os eletrodomésticos e lâmpadas atualmente presentes na residência, para a definição do consumo da casa, tais dados e definições estão expostos no tópico 3.2. Em seguida, no tópico 3.3, foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico *Grid-Tie* e por fim, no tópico 3.4, foi realizada a comparação teórica do consumo da energia elétrica fornecida pela rede da concessionária antes e depois da implementação do projeto.

3.1 PREVISÃO DE CARGA

Os cálculos para previsão de carga foram realizados, após o conhecimento do local onde seria determinada a instalação elétrica. O desenho da Figura 3.1-2 é a representação da planta baixa da residência que será estudada neste trabalho, tal residência está exposta na Figura 3.1-1.



Figura 3.1-1 - Residência onde se pretende instalar o projeto.

Na Figura 3.1-2 estão descritas as dimensões físicas da casa, serão estas que irão ser utilizadas para as definições dos pontos de iluminação, PTUGs e PTUEs.

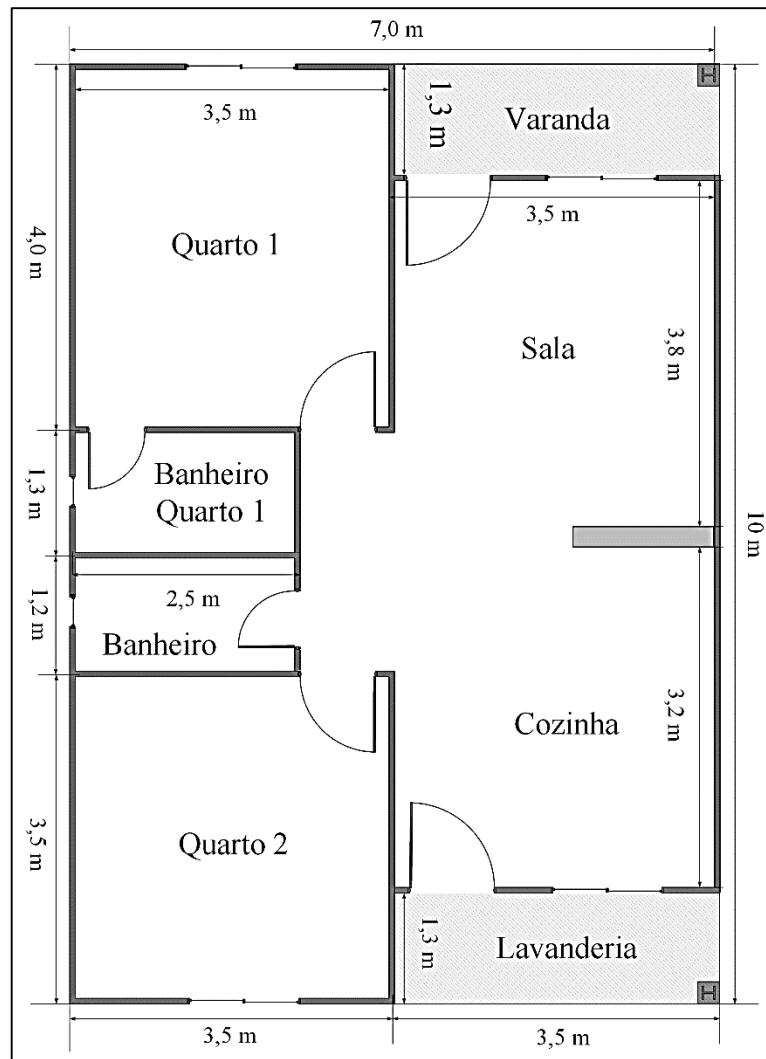


Figura 3.1-2 - Estrutura da residência em estudo.

As definições das cargas se dividiu em duas, carga para os circuitos de iluminação e carga para os pontos de tomadas, conforme segue.

3.1.1 Iluminação

Com o conhecimento das dimensões da casa em estudo e seguindo as regras ditadas pela norma conforme exposta em [9] e no subitem 2.1.1, foram realizados os dimensionamentos das cargas instaladas, iniciando-se pelo pontos de iluminação expostos na **Tabela 3.1-1**. Para este, foram respeitadas a regra do subtópico 2.1.1.1, foi utilizado o *software Excel®* do pacote *Microsoft* para o cálculo da carga, simplificando o trabalho, utilizando uma fórmula para uma área de até 30 m², a fórmula foi:

$$=SE(E4=0;0;SE(E4<10;100;(SE(E4>=30;460;(SE(E4>=26;400;SE(E4>=22;340;SE(E4>=18;280;SE(E4>=14;220;SE(E4>=10;160))))))))))$$

Esta fórmula foi utilizada na 5ª coluna da **Tabela 3.1-1**.

Tabela 3.1-1 - Cálculo de previsão de carga de iluminação.

Local	Dimensões		Área (m ²)	Carga ideal de iluminação (VA)
	Largura (m)	Comprim. (m)		
Varanda	6,00	1,30	7,80	100
Sala	3,50	3,90	13,65	160
Quarto 1	3,50	3,90	13,65	160
Banheiro Q.	2,50	1,30	3,25	100
Banheiro	2,50	1,30	3,25	100
Quarto 2	3,50	3,50	12,25	160
Cozinha	3,50	3,50	12,25	160
Lavanderia	3,50	1,30	4,55	100

As lâmpadas previstas são todas de iluminação de teto. A Figura 3.1-3, mostra a locação dos pontos de iluminação e dos respectivos disjuntores. Após as definições das cargas e pontos de iluminação, seguiu-se adiante no projeto.

3.1.2 Pontos de tomadas

Igualmente seguindo as recomendações normatizadas conforme [9], foram definidos os pontos de tomada, tanto de uso geral quanto de uso específico. As definições estão expostas na **Tabela 3.1-2**. Como PTUE, foram definidos:

- ✓ Televisão para a sala com carga de 150 W;
- ✓ Uma central de ar no Quarto 1 com 822 W;
- ✓ Um chuveiro para o banheiro do quarto com 5500 W;
- ✓ Um geladeira na cozinha com 300 W;
- ✓ Uma máquina de lavar roupa com 330 W;

Conforme citado no subtópico 2.1.1.2.1 as cargas das PTUE serão dimensionadas maior que o previsto, conforme exposto na tabela.

Tabela 3.1-2 - Previsões de carga para PTUGs e PTUEs.

Local	Dimensões		Área (m ²)	Perímetro (m)	Quantidade		Previsão de carga	
	Largura (m)	Comprim. (m)			PTUG	PTUE	PTUG (VA)	PTUE (W)
Varanda	3,50	1,30	4,55	9,60	1,00	-	1x100	-
Sala	3,50	3,90	13,65	14,80	2,00	1,00	2x100	1x200
Quarto 1	3,50	3,90	13,65	14,80	3,00	1,00	3x100	1x900
Banheiro Q	2,50	1,30	3,25	7,60	1,00	1,00	1x600	1x5600
Banheiro	2,50	1,30	3,25	7,60	1,00	1,00	1x600	-
Quarto 2	3,50	3,50	12,25	14,00	4,00	-	4x100	-
Cozinha	3,50	3,50	12,25	14,00	4,00	1,00	3x600 1x100	1x330
Lavanderia	3,50	1,30	4,55	9,60	2,00	1,00	1x600	1x350

A **Tabela 3.1-2**, mostra os locais e quantidade de tomadas que a residência deve ter, as alocações destas tomadas fica melhor especificada na Figura 3.1-3.

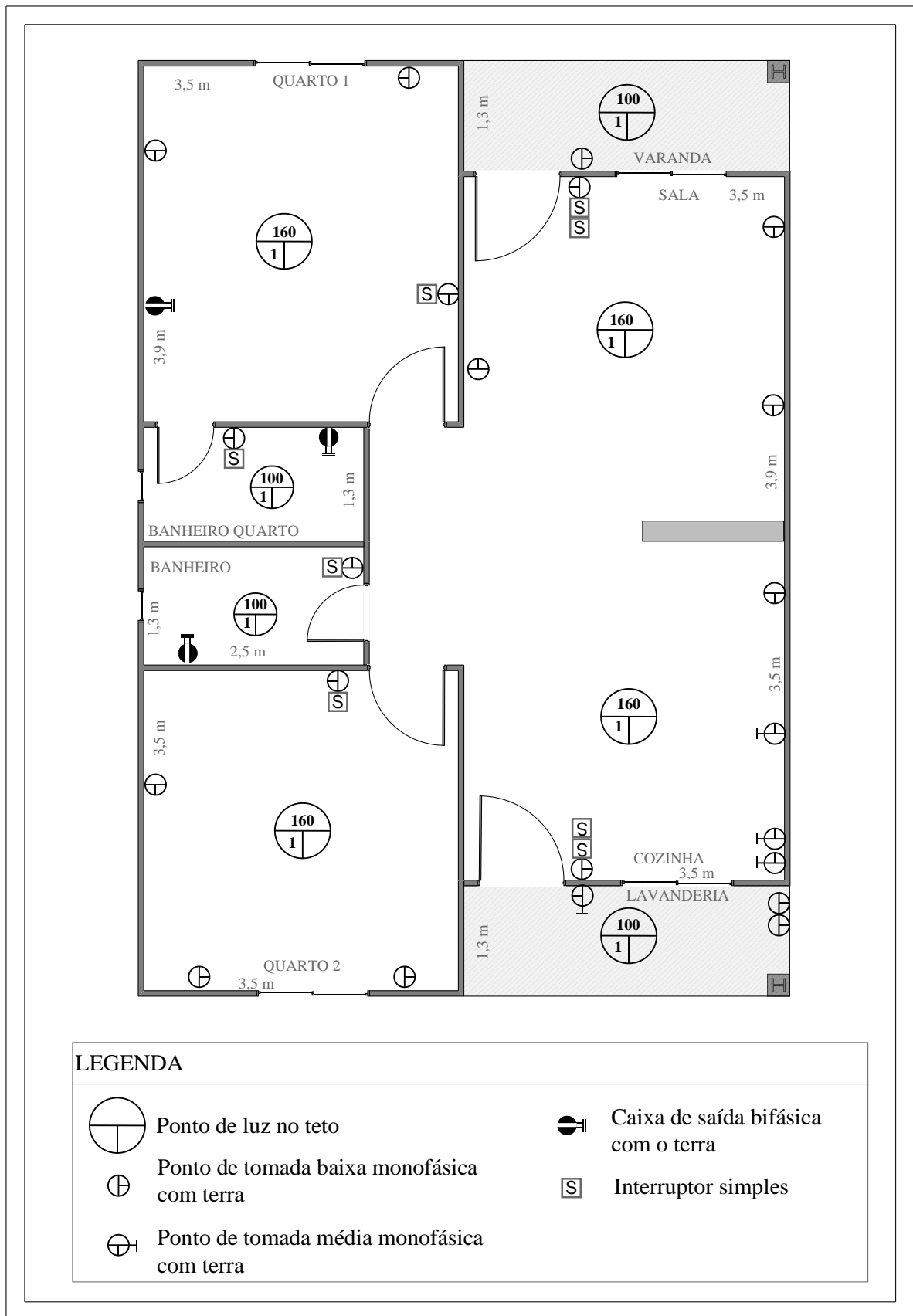


Figura 3.1-3 - Desenho com as disposições ideais dos pontos de tomadas, de iluminação e interruptores.

Seguindo as disposições de pontos de tomadas, exposta na Figura 3.1-3, evita-se ao máximo a atualização de benjamins e extensões, evitando assim pequenas perdas de energia, que podem influenciar bastante na conta de luz.

3.1.3 Carga total

Com os dados de previsão de carga e com conhecimento das regras para as definições pode-se realizar o cálculo das cargas totais instaladas na residência. Em resumo dos dados obtidos na **Tabela 3.1-1** e na **Tabela 3.1-2**, foi obtida a **Tabela 3.1-3**.

Nesta tabela estão expostos os valores previstos e as somatórias destes valores para se obter o valor da carga total instalada, observa-se que tem dois tipos de potências na tabela, potência aparente e potência ativa, para a realização dos cálculos, a potência aparente deverá ser convertida em potência ativa, tal atividade é realizada utilizando a equação (2.1-2) e os valores definidos no subtópico 2.1.1.3.

Tabela 3.1-3 - Resumo das previsões de carga.

Local	Dimensões		Carga de iluminação (VA)	PTUG		PTUE	
	Área (m ²)	Perímetro (m)		Quant.	Carga (VA)	ID	PTUE (W)
Varanda	4,55	9,60	100	1,00	100,00	-	-
Sala	13,65	14,80	160	2,00	200,00	TV	200,00
Quarto 1	13,65	14,80	160	3,00	300,00	Central de Ar	900,00
Banheiro Q	3,25	7,60	100	1,00	600,00	Chuveiro	5600,00
Banheiro	3,25	7,60	100	1,00	600,00	-	-
Quarto 2	12,25	14,00	160	4,00	400,00	-	-
Cozinha	12,25	14,00	160	4,00	1900,00	Geladeira	330,00
Lavanderia	4,55	9,60	100	2,00	1200,00	Máquina	350,00
Totais			1040	18	5300	6,00	7380
			Carga Aparente total (VA)		Carga Ativa total (W)		
			5040,00		7380,00		

Na **Tabela 3.1-4** está exposta a conversão da potência aparente em potência ativa, o fator de potência utilizado, a quantidade de pontos que possui cada tipo de carga e o cálculo da potência total prevista para o sistema.

Tabela 3.1-4 - Cálculo da potência total prevista.

Tipo	Fator de pot.	Carga (VA)	Carga (W)	Quant.
Iluminação	1	1040	1040	8
PTUG	0,8	5300	4240	18
PTUE	-	-	7380	6
Carga total prevista			12660 W	
			12,66 kW	

Para este valor de carga o tipo de fornecimento previsto é o tipo bifásico tipo de fornecimento escolhido foi o bifásico sendo ambas as fase de 127 V.

3.1.4 Balanceamento de carga

Um dos pontos adotados neste trabalho foi redirecionar a carga da iluminação a um circuito que possui distinção dos grandes pontos de consumo estacionário, como principal exemplo o chuveiro elétrico, logo sendo este que possui maior consumo, as fases direcionada a cada elementos foi distinta de modo a manter o equilíbrio da carga, conforme observado na **Tabela 3.1-5**.

Tabela 3.1-5 - Balanceamento de carga.

Local	Carga de iluminação (W)	PTUG	PTUE	FASE I	6,38 kW
		Carga (W)	PTUE (W)		
Varanda	100	80,00	-		
Sala	160	160,00	200,00		
Quarto 1	160	240,00	900,00		
Banheiro Q	100	480,00	5600,00		
Banheiro	100	480,00	-		
Quarto 2	160	320,00	-		
Cozinha	160	1520,00	330,00		
Lavanderia	100	960,00	350,00		

As cores laranja de verde representam as fase, sendo que para uma fase foi direcionada uma carga de 6,38 kW e para a outra foi direcionada uma carga de 6,28 kW, modestamente bem equilibrado com uma diferença de 100 W de uma para a outra.

3.2 CONDIÇÃO ATUAL DA RESIDÊNCIA

Acima foram definidas as cargas previstas para a residência em estudo, eventualmente o estudo se mostra eficiente, uma vez que como demonstrado na residência este foi efetivo, pois apesar de a residência não possui o exato número de pontos de tomadas definidos no projeto, a alimentação da rede é bifásico e até 220 V, conforme definido.

A Figura 3.2-1, mostra os pontos de tomadas, lâmpadas e interruptores reais instalados na residência, estes dados foram obtidos diretamente no local do estudo.

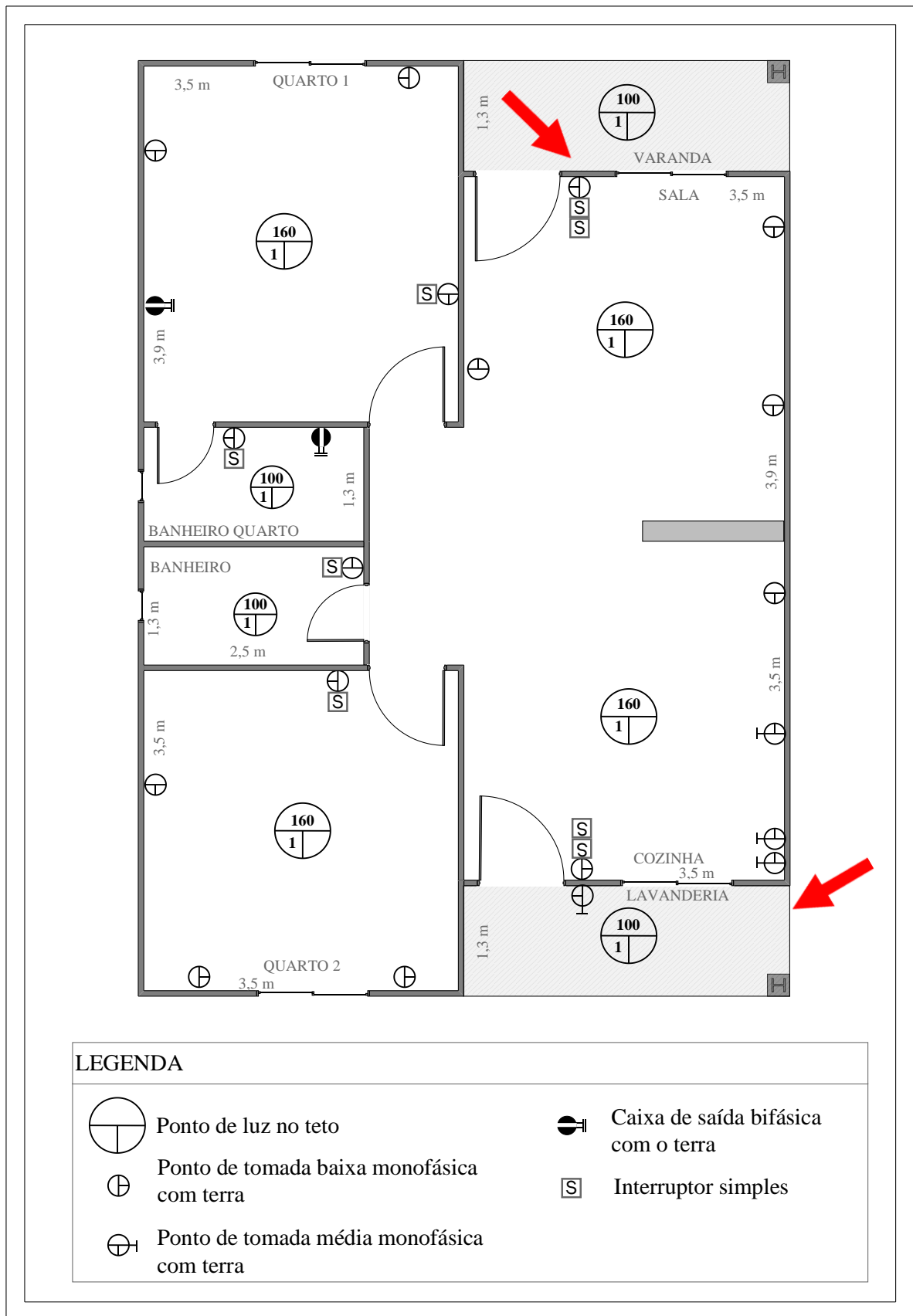


Figura 3.2-1 - Alocação real dos ponto de lâmpadas, tomadas e interruptores atualmente instalados na residência.

Em análise na residência constatou-se que não há pontos de tomada na varanda, e na lavanderia há apenas um ponto, conforme identificado com as setas vermelhas na Figura 3.2-1, deferente do que foi projetado (Figura 3.1-3). No entanto, a ausência destas tomadas não alterou a forma de fornecimento, que foi bifásico com três fios, conforme previsto e pode ser visto na Figura 3.2-2.

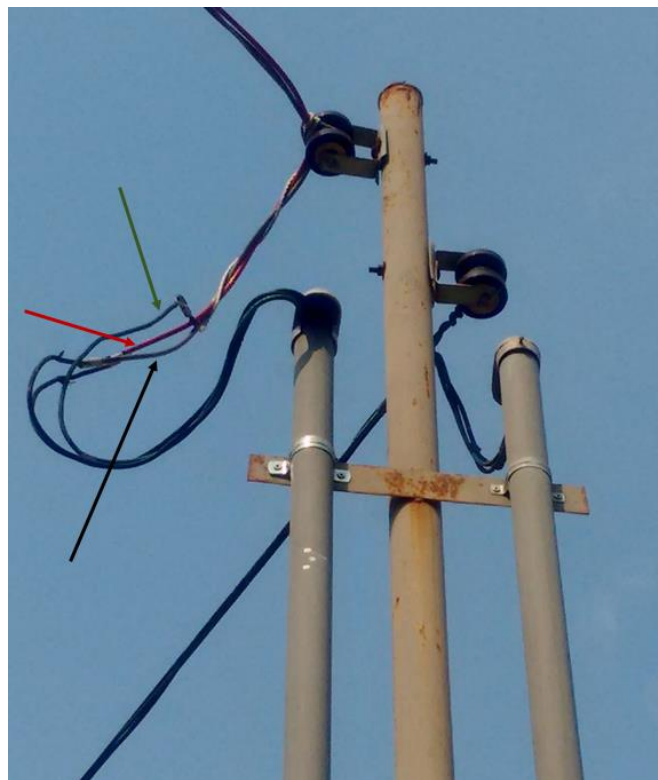


Figura 3.2-2 - Tipo de fornecimento real.

Agora, será realizado uma demonstração do que efetivamente encontra-se funcionando diariamente dentro da residência, para se ter uma ideia do consumo de eletricidade do local, será demonstrado um acompanhamento das faturas de energia pagas mensalmente a concessionária de energia, este acompanhamento irá seguir algumas prévias definições.

3.2.1 Carga realmente instalada

Dentro da residência encontra-se instalados os eletrodomésticos listados na **Tabela 3.2-1**, na tabela está exposto também a potência nominal estampada na etiqueta técnica de cada equipamento.

Tabela 3.2-1 - Equipamentos instalados.

Local	Tipo	Equipamento	Potência nominal (W)
Varanda frente	Lâmpada	Luz	40
Sala	Lâmpada	Luz	40
Quarto 1	Lâmpada	Luz	36
	Tomada 1	Computador	65
	Tomada 2	Celular	45
	Tomada 3	Som	20
	Tomada 4	Central	822
Banheiro Quarto	Lâmpada	Luz	25
	Tomada 1	Chuveiro	5500
Quarto	Lâmpada	Luz	25
	Tomada 1	Ventilador	45
Banheiro externo	Lâmpada	Luz	25
	Lâmpada	Luz	25
Cozinha	Tomada 1	Geladeira	330
	Tomada 2	Sanduícheira	700
	Tomada 3	Liquidificador	370
Lavanderia	Lâmpada	Luz	25
	Tomada 1	Lavadeira	330
Total máximo (W)			8468

O valor máximo que esta residência pode consumir, com todos os dispositivos ligados, é uma carga de 8,468 kW, no entanto, sabe-se que em condições normais em uma residência, isso não acontece, logo para avaliar a média de consumo diário, foi realizada uma estimativa de quanto tempo cada dispositivo ficaria ligado no período de um mês. Tal estimativa encontra-se na **Tabela 3.2-2**.

Tabela 3.2-2 - Consumo estimado.

Local	Tipo	Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)/dia	Consumo (Wh)/dia
Varanda frente	Lâmpada	Luz	40	6	240
Sala	Lâmpada	Luz	40	6	240
Quarto 1	Lâmpada	Luz	36	0,5	18
	Tomada 1	Computador	65	15	975
	Tomada 2	Celular	45	2	90
	Tomada 3	Som	20	1	20
	Tomada 4	Central	822	8	6576
Banheiro Q	Lâmpada	Luz	25	0,5	12,5
	Tomada 1	Chuveiro	5500	0,3	1650
Quarto	Lâmpada	Luz	25	3	75
	Tomada 1	Ventilador	45	6	270
Banheiro	Lâmpada	Luz	25	0,5	12,5
	Lâmpada	Luz	25	6	150
Cozinha	Tomada 1	Geladeira*	330	10	3300
	Tomada 2	Sanduicheira	700	0,5	350
	Tomada 3	Liquidificador	370	0,2	74
Lavanderia	Lâmpada	Luz	25	6	150
	Tomada 1	Lavadeira	330	1	330
Consumo	Total (Wh/dia)				14533
Consumo	Total (kWh/mês)				435,99

*Tempo de funcionamento do compressor pra manter o interior refrigerado.

Esta é a média do consumo de carga da residência em estudo com as definições que foram apresentadas. As informações de tempo foram obtidas dos moradores, estes são dois e entraram em comum acordo com os tempo definidos, uma vez que está sendo utilizada um estimativa para um mês comum sem feriados e com os dois moradores em situações normal de estadia diária.

3.2.2 Gasto com energia

Foi realizado um acompanhamento mensal, através dos boletos de pagamentos de energia, do gasto obtido com seu consumo pelo período de 6 meses na residência em estudo, em quatro condições:

- ✓ Condição I – Apenas um morador, permanecendo na residência esporadicamente;
- ✓ Condição II – Apenas um morador permanente na residência, com economia de energia;
- ✓ Condição III – Os dois moradores, com um alto grau de economia;

- ✓ Condição IV – Os dois moradores em condições normais;

Os valores de gasto e consumo referente aos quatro acompanhamentos na situações expostas encontram-se na **Tabela 3.2-3**.

Tabela 3.2-3 - Acompanhamento do valor gasto com o consumo de energia da concessionária.

Condição	Data	Consumo (kWh)	Valor pago (R\$)	Valor (R\$/kWh)
I	Jun./15	101	89,56	0,886732673
	Jul./15	86	72,8	0,846511628
II	Ago./15	182	162,77	0,894340659
III	Abr./15	220	190,15	0,864318182
	Mai./15	237	198,45	0,837341772
IV	Nov./15	376	321,28	0,854475309

No ANEXO D encontra-se a fatura do mês de novembro de 2015, onde também pode-se averiguar os meses com os consumos anteriores.

Realizando uma média com estes valores pode-se dizer que o valor pago pelo kWh é a média dos valores pagos no período analisado, que é aproximadamente definido na equação (3.2-1):

$$G_{R\$/kWh} = 0,864 R\$/kWh \quad (3.2-1)$$

Este valor é o que se obtém na fatura, está incluso além do gasto efetivo com energia (R\$/kWh) exposto na **Tabela 1.1-1**, também os imposto, encargos e custos extras que são um percentual do que é consumido.

Com o consumo estipulado por mês pelos moradores, na **Tabela 3.2-2** de 435,99 kWh, o valor que deveria ser aproximadamente pago, em reais, para a concessionária, pela utilização de forma normal dos eletrodomésticos na residência seria o expresso na equação (3.2-2).

$$P * G_{R\$/kWh} \cong G_{mensal} \quad (3.2-2)$$

$$435,99 * 0,864 \cong \mathbf{376,69 R\$}$$

A seguir será realizado o projeto de instalação do sistema fotovoltaico nos circuitos da residência, para, como objetivado neste trabalho, reduzir o consumo e custo de energia da concessionária local.

3.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO *GRID-TIE*

Após o conhecimento das previsões de cargas para a residência, relatadas no tópico 3.1, e o conhecimento da carga efetivamente instalada (tópico 3.2), pode-se dar início ao projeto fotovoltaico conectado à rede que se almeja instalar na residência.

A principal informação antes mesmo de saber o valor da carga a ser alimentada, é conhecer o potencial solar da região, isto define se será ou não um bom local de instalação do sistema de energia fotovoltaica. A Figura 2.2-1, mostra os níveis de radiação que o Brasil possui.

3.3.1 Radiação solar

A localização do projeto relatado neste trabalho, é no norte no Brasil, na região sudeste do estado do Pará, na cidade de Breu-Branco, cujas latitude e longitude estão expostas na **Tabela 3.3-1**.

Tabela 3.3-1 - Localização da residência.

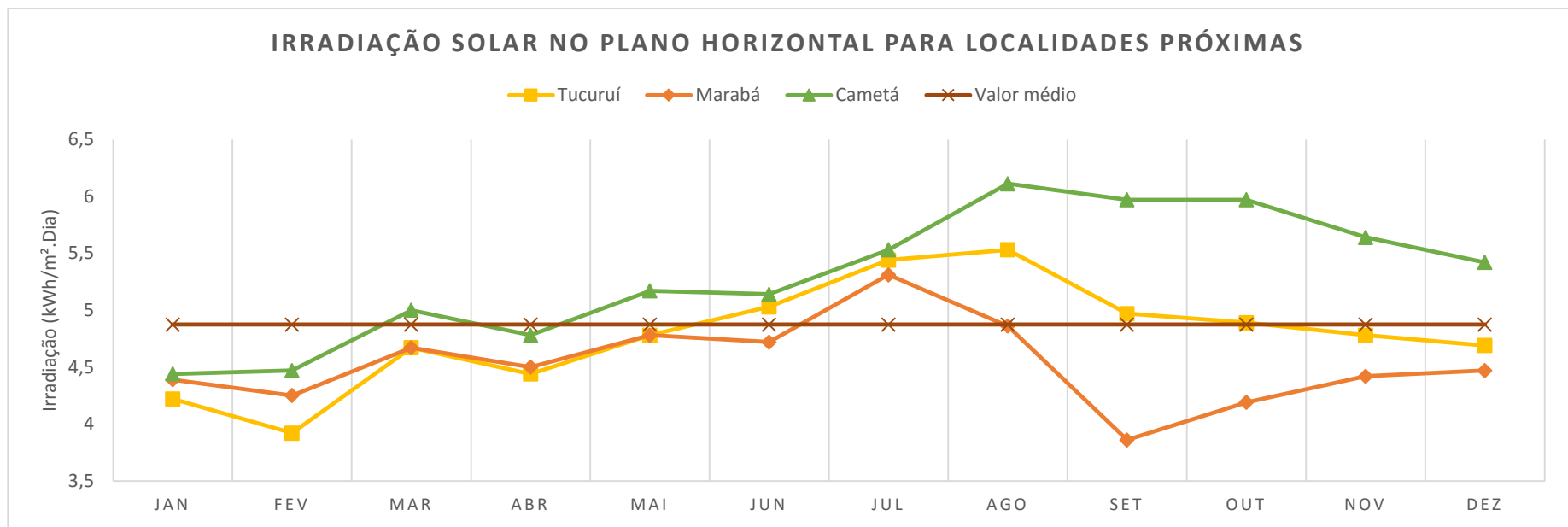
Latitude	4,067778°	ou	04°04'03"
Longitude	49,636944°	ou	49°38'13"

Não foi obtido a radiação para o local específico em estudo, no entanto se obteve este dados, nas proximidades do local, o que já se faz satisfatório se comparado as cidades vizinhas com todo o globo. Através do site [23], se obteve os dados de radiação expostos na **Tabela 3.3-2** e no **Gráfico 3.3-1**.

Tabela 3.3-2 - Tabelas com os valores de irradiação solar na região em estudo [23].

Município de medição	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
			Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Tucuruí	PA	BRA	3,7° S	49,6725° O	41,1	4,22	3,9	4,67	4,44	4,8	5	5,4	5,5	4,97	4,9	4,78	4,69	4,78	1,61
Marabá	PA	BRA	5,3° S	49,1177° O	148,8	4,39	4,3	4,67	4,5	4,8	4,7	5,3	4,9	3,86	4,2	4,42	4,47	4,54	1,45
Cametá	PA	BRA	2,2° S	49,4958° O	208,5	4,44	4,5	5	4,78	5,2	5,1	5,5	6,1	5,97	6	5,64	5,42	5,3	1,67

Gráfico 3.3-1 - Representação gráfica dos valores de irradiação.



Estes dados mostram a capacidade produção da região, mostrando se satisfatório para o projeto, uma vez que é mostrado que a cada metro quadrado, pode se produzir uma média de 4,87 kW por hora em um dia, valor estimado ‘bom’ dentro do campo fotovoltaico. Será levado em consideração para os cálculos esta média, sob o fato de o local de instalação, Breu-Branco ser localizado a poucos quilômetros de Tucuruí, cuja média é 4,78 kWh/m², bem próximo do valor que será utilizado, logo o valor estimado está ideal.

3.3.2 Carga necessária na residência

Em seguida, será avaliada a carga a ser instalada no sistema, esta carga foi discutida no tópico 3.2.1, sob o valor de 435,99 kWh/mês, no entanto no decorrer da elaboração do projeto, optou-se por diminuir este valor, com a simples eliminação do aquecimento de água do chuveiro do banheiro. Isso diminui aproximadamente 49,5 kWh/mês, a nova tabela com o consumo da casa fica conforme a **Tabela 3.3-3**.

Tabela 3.3-3 - Carga a ser alimentada pelo sistema projetado.

Local	Tipo	Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)/dia	Consumo (Wh)/dia
Varanda frente	Lâmpada	Luz	40	6	240
Sala	Lâmpada	Luz	40	6	240
Quarto 1	Lâmpada	Luz	36	0,5	18
	Tomada 1	Computador	65	15	975
	Tomada 2	Celular	45	2	90
	Tomada 3	Som	20	1	20
	Tomada 4	Central	822	8	6576
Banheiro Q	Lâmpada	Luz	25	0,5	12,5
Quarto	Lâmpada	Luz	25	3	75
	Tomada 1	Ventilador	45	6	270
Banheiro	Lâmpada	Luz	25	0,5	12,5
Cozinha	Lâmpada	Luz	25	6	150
	Tomada 1	Geladeira*	330	10	3300
	Tomada 2	Sanduicheira	700	0,5	350
	Tomada 3	Liquidificador	370	0,2	74
Lavanderia	Lâmpada	Luz	25	6	150
	Tomada 1	Lavadeira	330	1	330
Consumo	Total (Wh/dia)				12883
Consumo	Total (kWh/mês)				386,49

*Tempo de funcionamento do compressor pra manter o interior refrigerado.

Sem a utilização do aquecimento de água no chuveiro instalado no banheiro do quarto, o novo consumo passaria a ser de **386,49 kWh/mês**, esta diminuição acarretará em um sistema fotovoltaico ligeiramente menor. O aquecimento da água do chuveiro pode ser facilmente suprido por um aquecedor solar, este pode ser, inclusive, projetado artesanalmente através de materiais reutilizáveis.

3.3.3 Dimensionamento do conjunto fotovoltaico

Com os conhecimentos acima, de radiação e carga, pode-se mensurar a potência que o conjunto fotovoltaico deve produzir, em Wp para suprir adequadamente a carga. Para tal será utilizado a equação (2.2-2), no entanto, para esta, é necessário ter conhecimento da taxa de desempenho do painel a ser utilizado. Será utilizada a taxa média presente no mercado, indicada por [21], que é o valor de 80%.

Assim, com os valores acima relatados, arredondando o valor da carga, para mais, sob um valor mensal de 400 kWh, o valor que será utilizado para os cálculos, será o consumo diário de 13333,33 Wh e aplicando-os na equação (2.2-2), os cálculos geram o valor de potência de pico que o sistema, conforme equação (3.3-1).

$$P_{FV} = \frac{13333,33}{0,8 * 4,87} = 3422,31 Wp \quad (3.3-1)$$
$$P_{FV} \cong 3,5 kWp$$

Esta será a potência ideal que o conjunto de painéis precisará produzir.

As demais definições para o conjunto, só poderão ser realizada após a escolha do painel que será utilizado. No ANEXO A, encontra-se a ficha técnica do painel escolhido, os dados que serão necessários para a conclusão do dimensionamento, encontram-se na **Tabela 3.3-4** e na Figura 3.3-2. A Figura 3.3-1, mostra o painel selecionado.

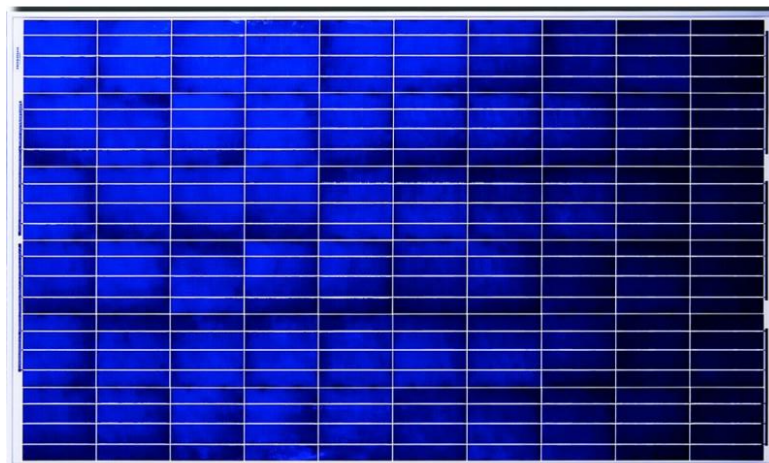


Figura 3.3-1 - Painel solar escolhido.

Tabela 3.3-4 - Dados do painel utilizado.

Dados Elétricos CS6P	255P
Potência nominal (P_{max})	255 W
Tensão de operação (V_{mp})	30,2 V
Corrente de operação (I_{mp})	8,43 A
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	37,4 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{cc})	9,00 A
Tensão Máx. do sistema	1000V

Além de este módulo satisfazer os solicitados, ele possui outras vantagens, por exemplo, já vem incluso, conforme mencionado no subtópico 2.2.7.4.1, diodos de bloqueio, no caso deste, 3 diodos do tipo *IP67*, conforme especificado na **Tabela 3.3-5** e também pode ser confirmados no manual no ANEXO A.

Tabela 3.3-5 - Especificações mecânicas do painel.

Painel / Dados extras	
Especificação do dado	Dado
Tipo de célula	Policristalino
Arranjo de células	60 (6 x 10)
Dimensões	1638 x 982 x 40 mm
Peso	18 kg
Capa de proteção	3,2 mm de vidro temperado
Material de quadro	Liga de alumínio anodizado
Caixa de Junção	3 diodos tipo <i>IP67</i>
	4 mm ² (IEC) ou 4 mm ² & 12 AWG
Cabo	1000 V(UL), 1000 mm (39.4 in)

O modelo de painel escolhido foi o *CSI CS6P-255P* da fabricante *Canadian*[®], as dimensões definidas na Figura 3.3-2, e demais dados definidos no anexo.

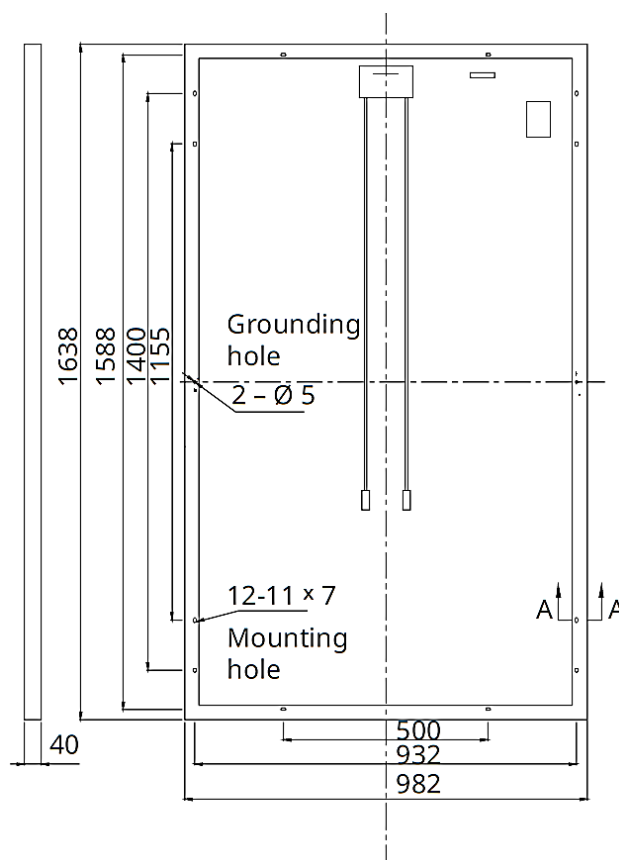


Figura 3.3-2 - Estrutura física do painel.

3.3.3.1 Quantidade de painéis

O painel escolhido possui potência nominal de pico de 255Wp, logo o número de painéis necessários para supri carga instalada de 3,5 kWp, será de acordo com o valor inteiro e fração da equação (3.3-2).

$$Q_{\text{Painéis}} = \frac{3500}{255} = 13,72 \quad (3.3-2)$$

Serão necessários 14 painéis para supri toda a carga solicitada para a residência.

3.3.3.2 Área necessária para instalação

A dimensão de um painel é de 1,61 m², logo a dimensão mínima necessária para a instalação é dado pala equação (3.3-3).

$$A = 1,61 * 14 \cong 23 \text{ m}^2 \quad (3.3-3)$$

3.3.3.3 Alocação do conjunto

A residência onde serão instalados os painéis é uma construção térrea, cuja planta base foi demonstrada da Figura 3.1-2, com sua respectiva dimensão.

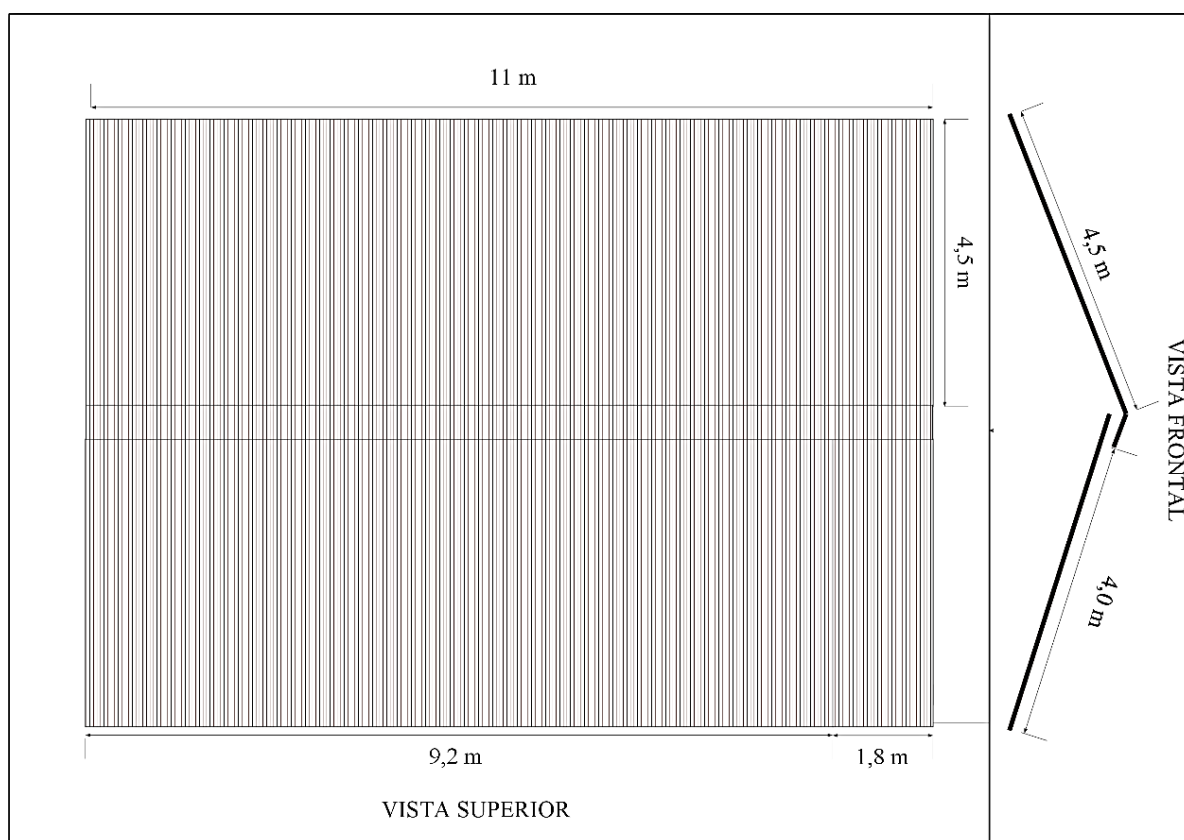


Figura 3.3-3 - Vista superior e frontal do telhado onde será instalada o conjunto fotovoltaico.

Os painéis serão alocados no telhado que possui uma inclinação média de 23° graus e dimensões de disponível de aproximadamente 100 m^2 , conforme Figura 3.3-3.

Sendo um telhado do tipo duas-águas, livre de sombras, ambos os lados do telhado estão disponíveis para alocação dos painéis, a Figura 3.3-4, mostra o telhado no horário das 15:00 horas do dia 11 de novembro de 2015.



Figura 3.3-4 - Telhado real onde se almeja instalar o sistema projetado.

O lado escolhido será o de maior área (lado esquerdo da Figura 3.3-4) com aproximadamente 50 m², a distribuição dos painéis será em fileiras, conforme a Figura 3.3-5, possuindo um espaço entre os painéis de meio metro para posteriores manutenções.

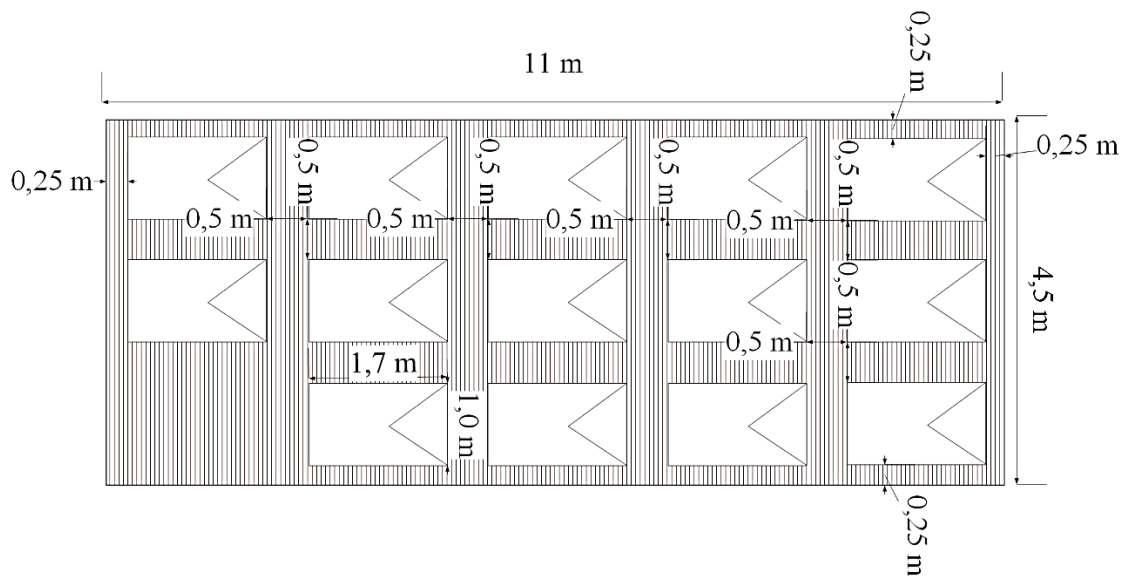


Figura 3.3-5 - Alocação dos painéis fotovoltaicos sob o telhado.

Esta disposição ainda será avaliada e/ou realocada de acordo com os suportes utilizados para os painéis, ela foi realizada neste momento, apenas como confirmação de disponibilidade de local para instalação. O desenho apresentado é apenas com intuito de demonstração, não sendo representado em escala exata.

3.3.3.4 Forma de ligações dos painéis

A ligação dos painéis de forma série/paralelo será a responsável pelas corrente e tensões produzidas pelo sistema. A definição das ligações dos painéis foi de modo a fornecer a tensão superior de 220 V, mas respeitando a tensão máxima do painel, definida na **Tabela 3.3-4**, de modo que foi planejado uma organização de duas fileiras paralelas de sete painéis em série em cada fileira, conforme a Figura 3.3-6.

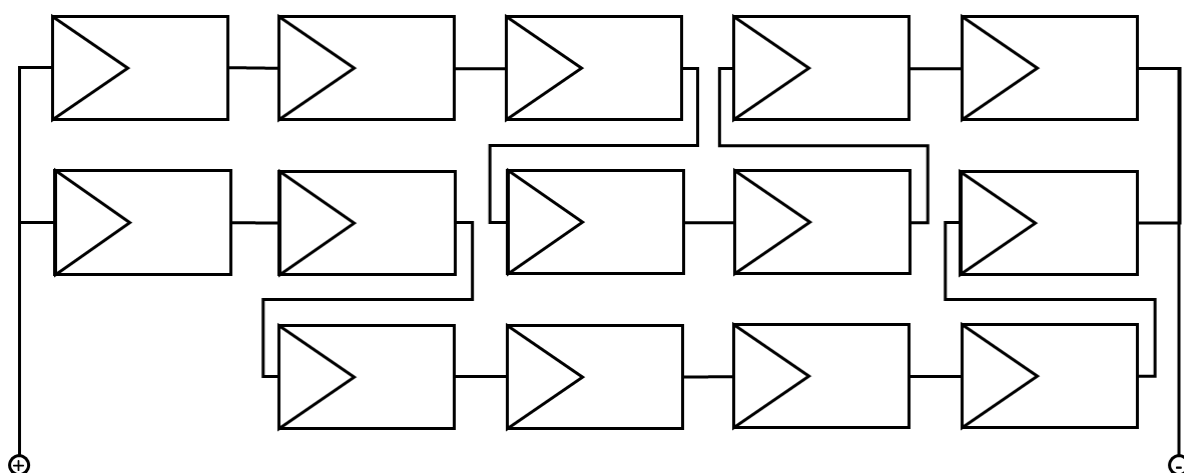


Figura 3.3-6 - Definição da ligação dos painéis no projeto.

Esta configuração vai gerar uma tensão e corrente contínuas, conforme as equações (3.3-4) e (3.3-5), respectivamente.

$$V_{maxCC} = 7 * 37,4 = 261,8 V \quad (3.3-4)$$

$$I_{maxCC} = 2 * 9 = 18 A \quad (3.3-5)$$

Tendo conhecimento deste valores pode-se definir o inversor que deverá ser utilizado pra fornecer a energia na forma alternada.

3.3.4 Inversor

A definição dos parâmetros para a escolha do inversor, são baseados na tensão, corrente e carga que o sistema de geração proporciona e a demanda da carga que esta alimenta. Logo, para o sistema *grid-tie* com alimentação da rede de 220 V como o estudado neste projeto, cuja geração prevista é em torno de 3500 Wp, o inversor escolhido deve ser capaz de suportar estes valores.

Além de possui parâmetros pra suportar a grandezas do sistema de geração fotovoltaico, o inversor deve também assegurar os níveis de proteção mínima requisitado pela norma da ANEEL [17], garanti a segurança em casos de falhas, a desconexão em caso de ilhamento e etc.

Assim sendo, o inversor escolhido foi o *Sunny Boy 3300* da fabricante *SMA –Solar Technology*[®], seu *hardware* está exposto na Figura 3.3-7.



Figura 3.3-7 - Inversor escolhido para o sistema.

A **Tabela 3.3-6**, mostra as grandezas padrões do inversor escolhido, é importante notar que os dados presentes na tabela, são para condições normais de operação. O manual com demais dados técnicos do inversor encontram-se no ANEXO B.

Tabela 3.3-6 - Dados do inversor selecionado.

Dados técnicos	Sunny Boy 3300
Entrada (CC)	
Máxima potência CC	3 820 W
Máxima entrada de tensão CC	500 V
Faixa de tensão PMP* / Tensão nominal de entrada	200 V – 400 V / 200 V
Tensão mínima de entrada / Tensão de início	200 V / 250 V
Máxima corrente de entrada CC	20 A
Máxima corrente de entrada por fileira	16 A
Número de entrada por PMP* / Fileiras por entrada de PMP*	1 / 3
*PMP – Ponto de máxima potência	
Saída (CA)	
Potência nominal	3 300 W
Máxima potência aparente CA	3 600 VA
Tensão Nominal CA / Delta	220 V, 230 V, 240 V / 180 V – 265 V
Frequência CA / Delta	50 Hz, 60 Hz / -4.5 Hz ... +4.5 Hz
Frequência nominal / Tensão de grade	50 Hz / 230 V
Máxima corrente de saída	18 A
Fator de potência	1
Fator de deslocamento, ajustável	0.8 Sobrecitado-0.8 Subexcitado
Alimentação de fase / Conexão de fase	1 / 1

Eficiência	Sunny Boy 3300
Máxima eficiência / Eficiência europeia	95.2 % / 94.4 %
Dispositivos de proteção	Sunny Boy 3300
Dispositivo de desconexão do lado de entrada	Sim
Monitoramento de falha-terra / Monitoramento de rede	Sim / Sim
Para-raios (tipo II), pode ser integrado	Não
Proteção contra inversão de polaridade CC	Sim
Capacidade de corrente de curto-circuito CA	Sim
Separação galvânica	Sim
Monitoramento de corrente residual	Não
Classe de proteção (Conforme IEC 62103)	I
Categoria de sobretensão (Conforme IEC 60664-1)	III
Configuração de proteção de sincronismo	Sim

É observado na última secção da tabela acima, os elementos de proteção presentes no inversor escolhido, elementos como sobretensão, de curto-circuito, sincronismos, monitoramento e meios de seccionamento.

3.3.5 Sistema de medição

O sistema de medição exigido pela ANEEL [17], é um medidor capaz de medir as energia imputadas, na rede pelo sistema fotovoltaico e ainda ser capaz de realizar a medição convencional da energia consumida, da rede pelo residência em questão. O dispositivo selecionado deve, indubitavelmente atender as exigência da resolução normativa para que possa ser atendido o objetivo do trabalho, pelo sistema de compensação de energia.

Além de atender a norma, o equipamento selecionado deve ter suas grandezas nominais de acordo com o sistema fotovoltaico instalado. Foi escolhido, de acordo com as parametrizações do sistema fotovoltaico e as grandezas nominais da instalação elétrica da residência, o medidor *Spectrum K ART* desenvolvido pela traficante *NANSEN S/A*, tal medidor, representado na Figura 3.3-8, realiza medição ativa e reativa, sendo capaz de realizar e gravar as medições nos dois sentidos, tanto de consumo quanto de alimentação [24].



Figura 3.3-8 - Medidor 4 quadrante selecionado para o sistema projetado.

As grandezas nominais e características técnicas consideráveis encontram-se na **Tabela 3.3-7**, no ANEXO C encontra-se o material referente ao seu modo de ligação e demais dados técnicos.

Tabela 3.3-7 - Valores nominais para o medidor bidirecional.

Configurações técnicas			
Tensão	Tensão nominal (V_n): 120V ou 240V		
Corrente	Ligação indireta	Corrente nominal (I_n): 2,5 A	
Corrente	Ligação direta	Corrente nominal (I_n): 15 A	
Frequência	50 ou 60Hz		
Precisão	Energia reativa: 2%		
Constantes	Ligação direta:	$K_h = 1,8 \text{ Wh/pulso} - 0,3 \text{ VARh/pulso}$	
Sequência de fase	ABC ou CBA		
Tipo de Ligação	2 ou 3 elementos (Estrela ou Delta)		
Faixa de temperatura	-25°C a 70°C		
Consumo Circuito de Potencial Monofásico	120V	< 1W e < 2VA	240V < 2W e < 3VA
Consumo Circuito de Potencial Trifásico	120V	< 1W e < 1VA	240V < 2W e < 2VA
Consumo Circuito de Corrente	< 0,15 VA		
Tipo de medição	Bidirecional		

Com os principais elementos do projeto pré-definidos definidos, a continuação do projeto seguiriam com as definições dos cabearmentos para as conexões tanto dos painéis quanto do sistema como um todo, tal atividade seria realizada, utilizando os valores de corrente presente e definidas acima, normalmente as bitolas dos cabos são tabeladas de acordo com a corrente nominal da instalação.

A instalação do sistema ficaria similar a Figura 3.3-9. Para a real instalação, seria necessário o projeto elétrico em *Software* específicos, como o *AutoCad*[®] por exemplo, dentre outros possíveis.

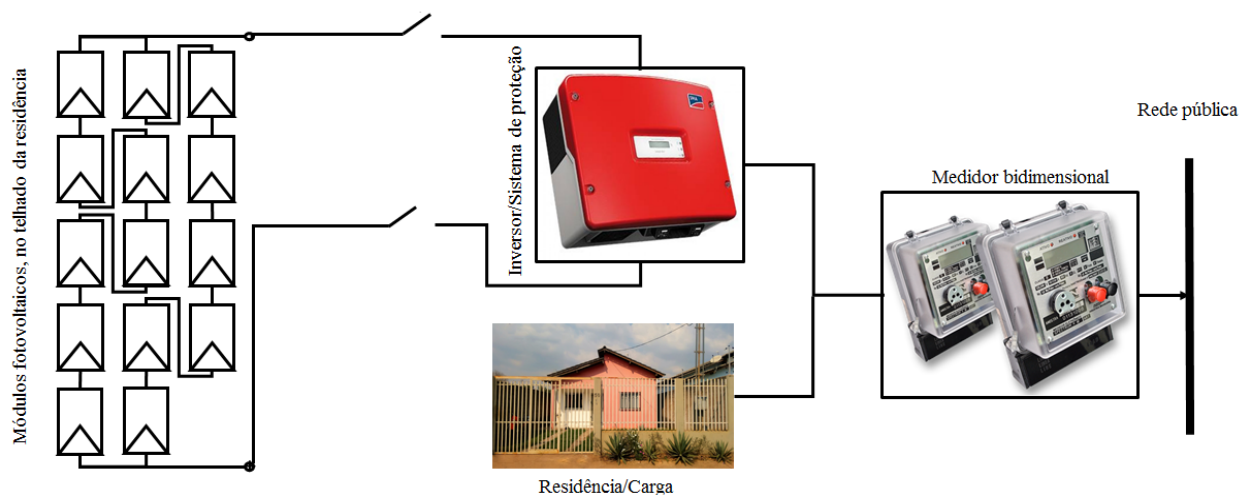


Figura 3.3-9 - Possível instalação do sistema.

A figura, é apenas a nível de informação, de como seria a alocação dos elementos mensurados no presente trabalho.

Para o presente trabalho, que tem como objetivo um projeto para a redução do gasto com a energia elétrica, não foi realizado o dimensionamento dos cabos, nem o desenho do projeto elétrico, sendo que o objetivo, pode ser alcançado com os cálculos já realizados, valores e parâmetros definidos até este ponto. Tal objetivo é a análise de gasto/consumo da residência.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA

A análise foi realizada para constatar a redução ou ausência de gastos como consumo de eletricidade fornecida pela rede pública de energia, através da concessionária. Para tal, novamente foi recorrido aos moradores da residência para averiguar a utilização de energia em função do tempo de funcionamento dos aparelhos elétricos, nos diferentes horários do dia.

Como resultado foi obtido a **Tabela 3.4-1**, na realidade esta tabela só define o que é, e o que não é, consumido pela da rede pública.

Tabela 3.4-1 - Consumo de carga nos horários de dia e noite.

Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)/dia	Consumo (Wh/dia)	Tempo (h)/noite	Consumo (Wh/Noite)	Tempo (h)/Total	Consumo (Wh)/total
Luz	40	0	0	6	240	6	240
Luz	40	0	0	6	240	6	240
Luz	36	0	0	0,5	18	0,5	18
Computador	65	10	650	5	325	15	975
Celular	45	1	45	1	45	2	90
Som	20	1	20	0	0	1	20
Central	822	0	0	8	6576	8	6576
Luz	25	0	0	0,5	12,5	0,5	12,5
Luz	25	0	0	3	75	3	75
Ventilador	45	6	270	0	0	6	270
Luz	25	0	0	0,5	12,5	0,5	12,5
Luz	25	0	0	6	150	6	150
Geladeira*	330	5	1650	5	1650	10	3300
Sanduicheira	700	0,5	350	0	0	0,5	350
Liquidificador	370	0,2	74	0	0	0,2	74
Luz	25	0	0	6	150	6	150
Lavadeira	330	1	330	0	0	1	330
Consumo	Total (Wh/dia)		3389		9494		12883
Consumo	Total (kWh/mês)		101,67		284,82		386,49

*Tempo de funcionamento do compressor pra manter o interior refrigerado.

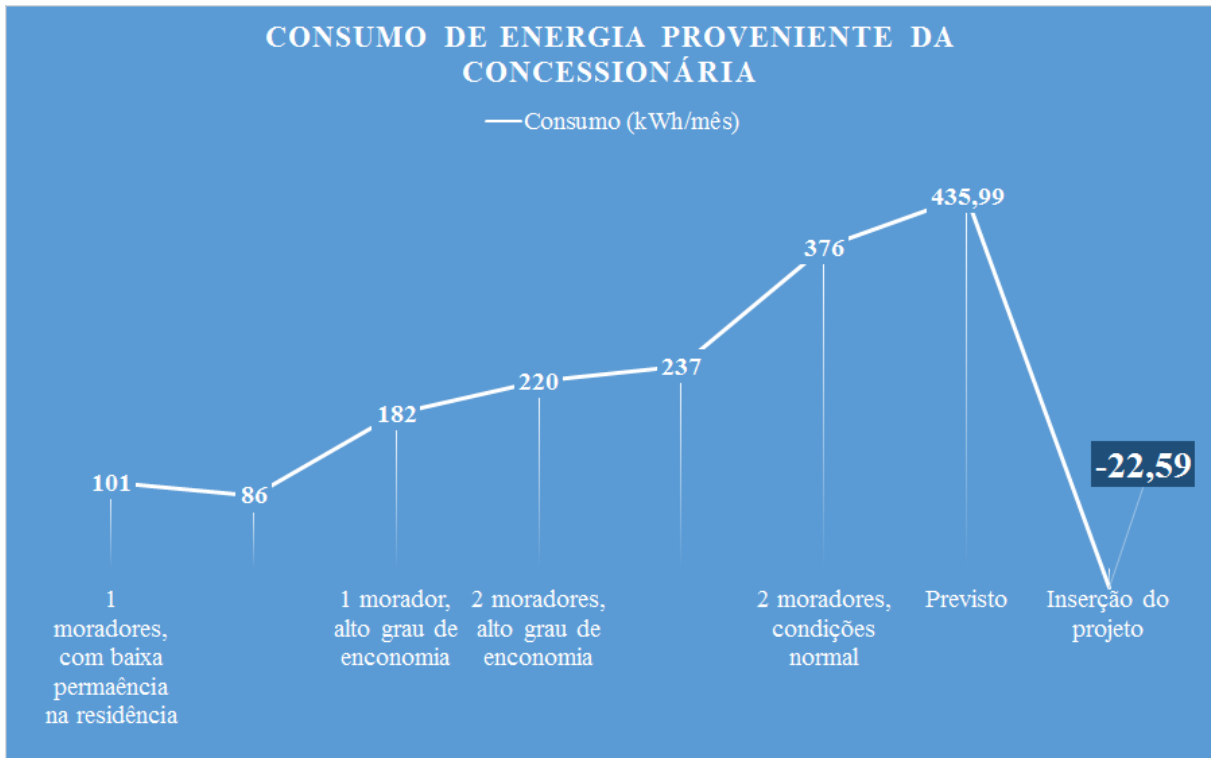
Logo, percebe-se que o que é consumido da rede, é o referente ao período da noite de aproximadamente 9494 Wh/dia, que é o referente ao período sem produção fotovoltaica, dia de chuva, por exemplo entraria nesta conta. Assim, facilmente pode-se chegar no implicação da **Tabela 3.4-2**.

Tabela 3.4-2 - Resultados.

Sistema produz (Wh)	Consumido do SFV (Wh)	Consumido da Rede (Wh)	Injetado na rede (Wh)	Crédito do sistema (Wh)
13636	3389	9494	10247	753
Saldo mensal	(kWh/mês) positivo ou negativo			22,590

Antes era consumido um valor de até 376 kWh/mês (**Tabela 3.2-3**), com um valor previsto de 435,99 kWh/mês (**Tabela 3.2-2**), com a implementação do projeto este valor cai para -22,590 kWh, conforme demonstrado no **Gráfico 3.4-1**.

Gráfico 3.4-1 - Comparativo de consumo.



Como pode-se observar, o consumo da energia proveniente da concessionária teria um considerável decaimento, com a implementação do projeto estudado, no entanto, é necessário ainda avaliar se a implementação deste sistema é viável pelas circunstâncias financeiras, tal avaliação está exposta a seguir.

3.5 ANÁLISE FINANCEIRA

Relação custo benefício é o indicador que relaciona os benefícios de um projeto ou proposta, como a exposta neste trabalho e o seus custos, para a sua implementação. A proposta de projeto presente neste trabalho, possui elevados custos financeiros, no entanto é também um considerável investimento a longo prazo.

3.5.1 Custos do projeto

Os preços dos elementos necessários para a implementação do projeto são consideravelmente elevados, conforme demonstrado na **Tabela 3.5-1**. Observa-se na tabela, que os painéis possuem um grande custo, devido a sua quantidade, mas o equipamento que realmente faz a diferença, é o inversor, possuindo mais de 37% do gastos em função da sua aquisição.

Tabela 3.5-1 - Relação de prováveis gastos/investimentos.

Dispositivo	Quant.	Valor Un.	Total	Onde
Painel	14	R\$ 1.016,64	R\$ 14.232,96	[25]
Inversor	1	R\$ 12.278,00	R\$ 12.278,00	[26]
Medidor	1	R\$ 438,00	R\$ 438,26	[27]
Suporte	14	R\$ 268,80	R\$ 3.763,20	[28]
Cabos/Instalação*	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00	[29]
Investimento total			R\$ 33.212,42	

*Valor Estimado

Como facilmente pode-se constatar este tipo de sistema é consideravelmente caro, no entanto, ele certamente é também um bom investimento, pois valoriza a propriedade e beneficia o proprietário, além de possui o âmbito da sustentabilidade, respeitando o ambiente e suas fontes.

3.5.2 Relação custo benefício

Neste trabalho, foi previsto um gasto médio com energia na residência, de aproximadamente R\$ 376,69, na equação (3.2-2), sendo este um valor estimado com as operações normais dos residentes. As reais faturas de energia possuíram valor de até R\$ 321,28.

Entretanto este é o valor da fatura total e nela estão inclusos impostos, encargos e outros custos que são percentagens do que é consumido. Apesar de com a implementação do projeto, a residência ser capaz de injetar na rede mais do que consumir, o talão de luz ainda não será igual a zero. Segundo o capítulo III, Art. 7º da norma [17], o faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, conforme o caso. De acordo com o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL, o custo de disponibilidade é o valor mínimo faturável, aplicável ao faturamento de unidades consumidoras do Grupo “B”, de acordo com os limites fixados para cada tipo de ligação, para uma ligação bifásica o que é cobrado é o equivalente a um consumo de 50 kW/h [30].

Como o trabalho está amplamente baseado em valores de estimativas, para os cálculos de custo/benefício, será utilizado o valor da equação (3.5-1), obtida com os valores da *Tabela 3.3-3*, diminuída do custo de disponibilidade, vezes o valor da equação (3.2-1).

$$\begin{aligned} \text{Custo de diponib.} &= 50 * 0,864 \cong 43,2 \text{ R\$/mês} \\ (386,49 - 50) * 0,864 &\cong 300,00 \text{ R\$/mês} \end{aligned} \tag{3.5-1}$$

Ou seja, mesmo não consumindo da rede, a fatura mensal da residência será aproximadamente R\$ 43,2 por mês, e para a análise de custo benefício será adotado o valor de uma economia de R\$ 300,00 por mês, conforme exposto na **Tabela 3.5-2**.

Tabela 3.5-2 - Tempo de pagamento.

Valor Mensal	Tempo pra pagar o sistema	
	Meses	Anos
R\$ 300,00	111	9

Realizando a divisão do valor gasto com a implantação do sistema (**Tabela 3.5-1**), de acordo com a estimativa de gastos com energia mensal, se levaria 111 mensalidades de faturamento de energia da concessionária, para concluir o pagamento do sistema, isto, é o equivalente à um período aproximado de 9 anos.

Segundo, [15], [16], [21] e outros estudos, a vida útil de um sistema fotovoltaico, possui uma média de 25 a 40 anos. Com o adequado sistema de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, um SFV pode durar décadas [7], logo, sendo que aproximadamente, nos primeiros 9 anos o sistema estará pago, os seus demais anos de funcionamento, serão apenas de lucro do investimento.

3.5.3 Facilidades de investimento

Apesar de não ser amplamente conhecido, mas já existem algumas opções de financiamento de sistemas como o deste projeto no Brasil. Abaixo, está exposto as alternativas presentes em dois bancos nacionais de categoria pública que fornecem este serviço, estes dados são disponibilizados na referência [31].

A primeira alternativa é no Banco do Brasil, com o sistema BB Crédito Material de Construção, realizado para clientes do banco, disponibilizando de R\$ 70,00 a R\$ 50.000,00 com taxas de juros de até 2,1% ao mês, sendo o prazo máximo do financiamento de 60 meses, sendo 54 meses para amortização e até 180 dias para pagamento da primeira parcela [31].

A segunda alternativa é Caixa Econômica Federal, com a linha *Construcard* Caixa, os limites disponibilizados estão entre R\$ 1.000,00 a R\$ 180.000,00, os juros podem variar de 1,5% a 1,75%, dependendo do prazo de amortização definido pelo cliente. O valor da prestação é limitado a 30% da renda do solicitante, e o prazo máximo de pagamento é de 96 meses [31].

Abaixo na **Tabela 3.5-3**, está uma simulação para o caso de um empréstimo realizado junto à Caixa Econômica.

Tabela 3.5-3 - Empréstimo pela Caixa.

Salário (R\$)	Máximo da parcela (30%)	Valor (R\$)	Juros de 1,5% a.m. (R\$)	Total a pagar (R\$)	Parcela (R\$)	Tempo pra pagar (96 meses)	
						Meses	Anos
5.000,0	R\$ 1.500,0	34.000,0	35.190,0	69.190,0	720,73	96	8

Para uma residência cuja renda mensal seja em torno de R\$ 5.000,00, a alternativa do empréstimo da Caixa Econômica Federal torna-se aceitável, uma vez que os limites impostos pelo banco são atendido por este valor de renda e o valor da parcela ficaria aproximadamente 15% da renda total, o financiário poderia pagar o sistema dentro do prazo estipulado na **Tabela 3.5-2**.

Em função da incidência de juros sobre a realização de um possível empréstimo, esta alternativa seria menos favorável, restando um tempo para uso de puro lucro, inferior à metade do tempo de vida útil do sistema, 25 a 40 anos, seria aproximadamente um tempo de 19 anos pagando o empréstimo, caso o pagamento fosse feito apenas com o que se deixou de pagar de energia, conforme a equação (3.5-1), aproximadamente R\$ 300,00.

4 CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS

O projeto presente neste trabalho, tem o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica proveniente da rede pública da concessionária local, para tal foi idealizado a implementação de um sistema fotovoltaico *Grid-Tie*, a energia produzida neste tipo de sistema é diretamente injetada na rede elétrica pública, gerando o chamado crédito de energia. Este crédito é reduzido da fatura mensal de eletricidade.

Como demonstrado na análise comparativa, no tópico 3.4, o resultado do consumo previsto com a inserção do projeto, foi um saldo negativo para a concessionária, favorecendo o consumidor, dono da residência. É esperado, com o projeto do SFV do trabalho, que o sistema além de suprir toda a carga da residência injete uma considerada quantidade de eletricidade na rede.

É importante ressaltar que o inversor escolhido, possui tensão e corrente máxima na entrada contínua, superior às definidas na alocação série/paralelo dos painéis, ou seja, os valores definidos no projeto estão de comum acordo com os equipamentos que foram selecionados.

No trabalho não foi completado o projeto da instalação elétrica da residência, o principal motivo, foi pelo fato de tal residência já ser construída e com um sistema elétrico já operante, na parte do projeto que foi realizada, constatou-se que o projeto operante, possui pequenas falhas, no entanto estas são relevantes para este projeto.

Em função dos dispositivos utilizados possuem alto grau de modernidade, englobando em um único dispositivo, várias funções, não se fez necessário no projeto a inserção de elementos normalmente calculados, pois os mesmos já encontravam-se inclusos. Como exemplo o painel fotovoltaico escolhido, *CSP-255P* já possui diodo de bloqueio, dispensando assim os cálculos para este dispositivo, o mesmo se segue para o inversor, possuidor dos dispositivos de seccionamento e proteção.

A conclusão do projeto elétrico do SFV, inclui o dimensionamento dos cabos utilizados para a instalação e alteração do quadro de distribuição de força atualmente presente na casa. No entanto tal atividade inclui o conhecimento do verdadeiro projeto elétrico da residência ou a implantação de um novo, o que excederia o objetivo deste trabalho. Sendo essa uma considerável alternativa para a elaboração de um trabalho futuro.

O chuveiro do banheiro do quarto foi eliminado dos cálculos, devido ao seu elevado consumo, é possível utilizar outros métodos para a utilização de tal dispositivo, sem a utilização

da eletricidade, um exemplo é através da radiação solar com um coletor industrial ou até mesmo de material reaproveitável, ficando esta, uma outra proposta para um posterior projeto.

Este tipo de sistema torna-se parcialmente inviável em razão dos altos custos envolvidos e do pouco incentivo governamental com políticas voltas para esta área, como pode-se notar no tópicos de facilidades de investimento, percebe-se que em razão dos juros que incidem sobre um possível financiamento se pagaria, desta forma, duas vezes o valor solicitado. Entretanto afirma-se aqui que a instalação deste sistema reduziria o consumo e gasto com a energia proveniente da concessionária.

5 REFERÊNCIAS

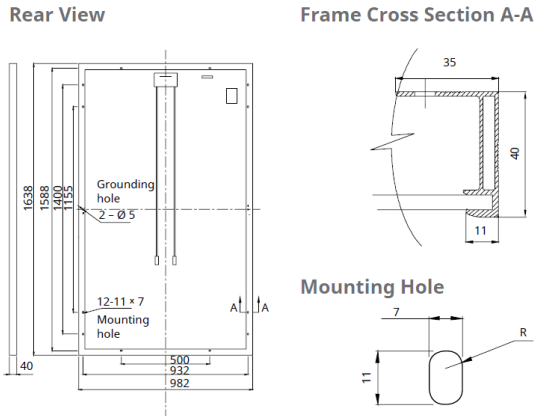
- [1] L. M. FARIAS e M. A. SELBITTO, “Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras,” *Revista Liberato*, vol. XII, nº 17, p. 01, 2011.
- [2] ABRADÉE, “A distribuição de energia,” Associação Brasileira de Distribuidores de energia Elétrica, 30 Junho 2015. [Online]. Available: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>. [Acesso em 07 Novembro 2015].
- [3] AGÊNCIA BRASIL, “Custo da energia elétrica aumenta 60% em 12 meses,” ZH Economia, 8 Abril 2015. [Online]. Available: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/economia/noticia/2015/04/custo-da-energia-eletrica-aumenta-60-em-12-meses-4735600.html>. [Acesso em 14 Novembro 2015].
- [4] ANEEL, “Informações técnicas,” ANEEL, [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>. [Acesso em 14 Novembro 2015].
- [5] R. AZEVEDO, “Afluência de água aos reservatórios é a menor em 84 anos; risco de falta de energia é 46% superior ao limite considerado prudente;,” *Veja*, 05 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/geral/>. [Acesso em 14 Novembro 2015].
- [6] EPE, “Empresa de Pesquisa Energética,” 15 OUTUBRO 2015. [Online]. Available: [http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiaelectricaporclasse\(regioesesubsistemas\)-2011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiaelectricaporclasse(regioesesubsistemas)-2011-2012.aspx). [Acesso em 07 11 2015].
- [7] M. S. SERRÃO, “Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaiba-Paraty,” UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- [8] S. PRETTEJOHN, “Emerging Culture,” *ECOCITEZEN*, 16 AGOSTO 2011. [Online]. Available: <http://www.ecocitizenaustralia.com.au/charles-edgar-fritts-solar-power-pioneer/>. [Acesso em 07 NOVEMBRO 2015].

- [9] NBR5410:2004, *Instalações elétricas de baixa tensão*, Brasília: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004.
- [10] PRYSMIAN ENERGIA E SISTEMA S.A., “Instalações Elétricas Residenciais,” Victory, Santo André - SP, 2006.
- [11] EW7, “Balanceamento de fases em sistema trifásico,” ew7, 19 10 2015. [Online]. Available: <http://ew7.com.br/projetos-eletricos-no-autocad/index>. [Acesso em 8 Novembro 2015].
- [12] ANEEL, “Resolução normativa N° 141/2010,” ANEEL, Brasília, 2012.
- [13] R. RÜTHER, E. B. PEREIRA, F. R. MARTINS e S. L. D. ABREU, “Atlas brasileiro de Energia Solar,” SWERA, São José dos Campos, 2006.
- [14] ITAIPU BINACIONAL, “Geração de Energia,” ITAIPU, 14 12 2014. [Online]. Available: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>. [Acesso em 09 11 2015].
- [15] PORTAL SOLAR, “Solar,” Portal Solar, 3 OUTUBRO 2013. [Online]. Available: <http://www.portalsolar.com.br/>. [Acesso em 09 Novembro 2015].
- [16] H. A. BARROS, “Anteprojeto de um sistema fotovoltaico de 13kWp conectado à rede,” UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2011.
- [17] ANEEL, “Resolução Normativa N° 482/2012,” ANEEL, Brasília, 2012.
- [18] PRODIST, “ANEEL,” 1 Janeiro 2011. [Online]. Available: http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1871. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [19] PRODIST, “Seção 3.7 - Acesso de micro e minigeração distribuída,” ANEEL, Brasília, 2011.
- [20] GREENPRO, “Manual de instalação fotovoltaico,” 20 Junho 2011. [Online]. Available: <http://www.greenpro.de/po/index.html>. [Acesso em 9 Novembro 2015].
- [21] J. T. PINHO e M. A. GALDINO, “Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos,” CEPTEL- CRESESB, Rio de Janeiro - RJ, 2014.

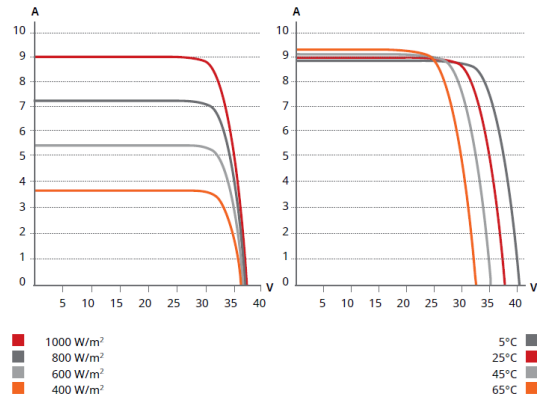
- [22] J. R. GANZOLI e M. G. VILLALVA, “Energia solar fotovoltaica – sistemas conectados à rede,” O Setor Elétrico, Rio de Janeiro - RJ, 2013.
- [23] CRESESB, “Centro de referência solar e eólica Sergio Brito,” CEPEL, 1 Janeiro 2015. [Online]. Available: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [24] FOTOVOLT, “Medidores bidirecionais de energia,” 11 Agosto 2015. [Online]. Available:
http://www.arandanet.com.br/midiaonline/fotovolt/index.php?option=com_content&view=article&id=155&Itemid=165. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [25] NEOSOLAR, “Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P (255Wp),” [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-csi-cs6p-255p-255wp.html>. [Acesso em 13 Novembro 2015].
- [26] NEOSOLAR, “Inversor Grid-Tie SMA Sunny Boy 3300 (SB 3300),” [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-grid-tie-sma-sunny-boy-3300.html>. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [27] NANSEN, “Spectrum K ART,” [Online]. Available: <http://www.nansen.com.br/spectrum-k-art,1,12>. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [28] NEOSOLAR, “Kit de montagem Schletter para telhado - para painéis até 260Wp,” [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/loja/kit-de-montagem-schletter-para-telhado-2-paineis-260wp.html>. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [29] NEOSOLAR, “Cabo solar Prysmian Tecsun PV1-F 4mm² Preto 1kV,” [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/loja/energia-solar/cabo-solar-prysmian-tecsun-pv1-f-4mm-preto-1kv.html>. [Acesso em 10 Novembro 2015].
- [30] ANEEL, “Resolução 414/2011,” ANEEL, Brasília, 2011.
- [31] P. SCHEIDT, J. KISSEL, R. RÜTHER e A. S. FILHO, “Guia de microgeradores fotovoltaicos,” IDEAL, 13 Junho 2014. [Online]. Available: <http://www.americadosol.org/guiaFV/>. [Acesso em 14 Novembro 2015].

ANEXO A

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-255P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	255 W	260 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.2 V	30.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.43 A	8.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.00 A	9.12 A
Module Efficiency	15.85%	16.16%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C	
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000V (UL)	
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	0 ~ + 5 W	

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	185 W	189 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.5 V	27.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.71 A	6.80 V
Open Circuit Voltage (Voc)	34.4 V	34.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.29 A	7.39 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiation, +96.5 % module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this Datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MODULE / MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1638×982 × 40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	24 pcs, 480 kg (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	672 pcs (40' HQ)

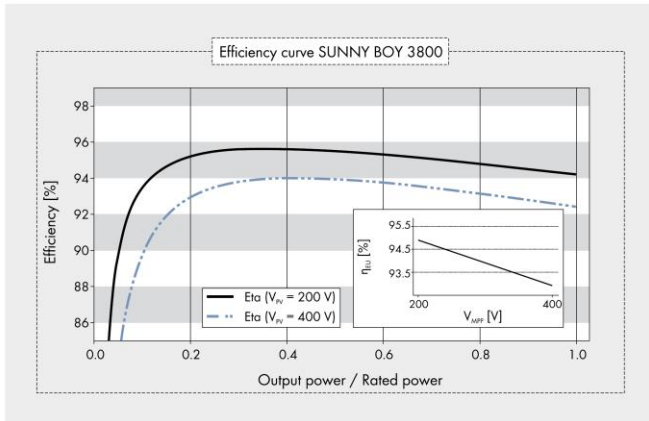
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

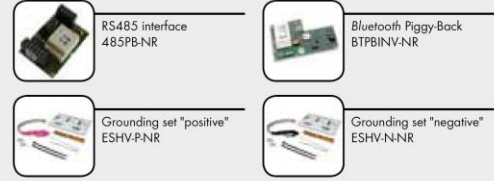
PARTNER SECTION



ANEXO B



Accessories



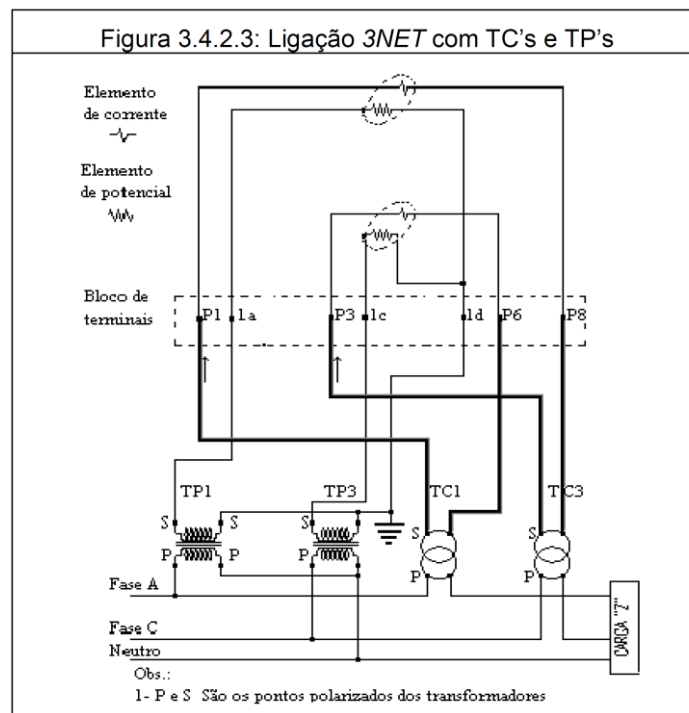
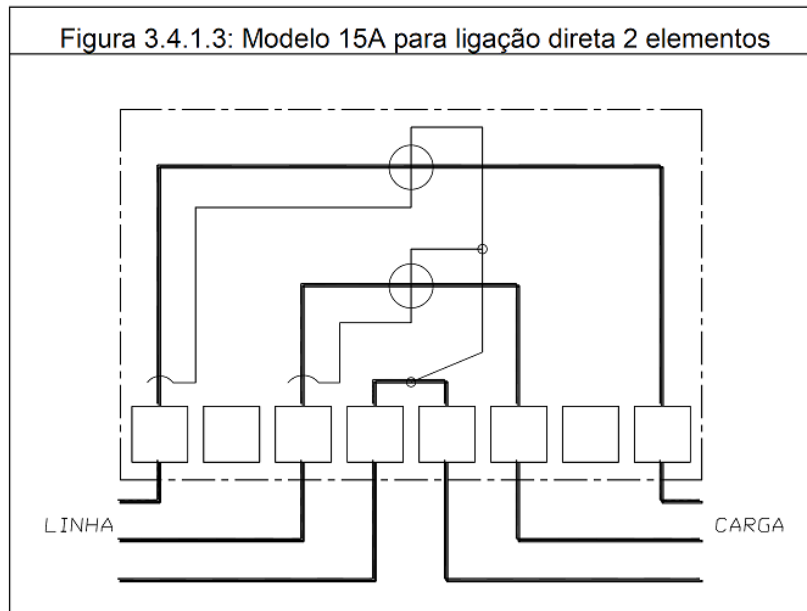
* Does not apply to all national appendices of EN 50438
 ** If ESS is deselected, the number of string inputs is reduced to 2
 ● Standard features ○ Optional features – Not available
 Data at nominal conditions

Technical data	Sunny Boy 3300	Sunny Boy 3800
Input (DC)		
Max. DC power (@ cos φ = 1)	3 820 W	4 040 W
Max. input voltage	500 V	500 V
MPP voltage range / rated input voltage	200 V - 400 V / 200 V	200 V - 400 V / 200 V
Min. input voltage / start input voltage	200 V / 250 V	200 V / 250 V
Max. input current	20 A	20 A
Max. input current per string	16 A	16 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 3**	1 / 3**
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	3 300 W	3 800 W
Max. apparent AC power	3 600 VA	3 800 VA
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 265 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 265 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -4.5 Hz ... +4.5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -4.5 Hz ... +4.5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	18 A	18 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	1 / 1
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	95.2 % / 94.4 %	95.6 % / 94.7 %
Protective devices		
Input-side disconnection device	○	○
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC surge arrester (type II), can be integrated	–	–
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / ●	● / ● / ●
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	–	–
Protection class (as per IEC 62103) / overvoltage category (as per IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	450 / 352 / 236 mm (17.7 / 13.9 / 9.3 inches)	450 / 352 / 236 mm (17.7 / 13.9 / 9.3 inches)
Weight	38 kg / 83.6 lb	38 kg / 83.6 lb
Operating temperature range	-25°C ... +60°C / -13°F ... +140°F	-25°C ... +60°C / -13°F ... +140°F
Noise emission (typical)	40 dB(A)	42 dB(A)
Self-consumption (at night)	0.1 W	0.1 W
Topology	LF transformer	LF transformer
Cooling concept	OptiCool	OptiCool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65	IP65
Degree of protection of connection area (as per IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	100%
Features		
DC connection	SUNCLIX	SUNCLIX
AC connection	Connector	Connector
Display	Text line	Text line
Interface: RS485 / Bluetooth	○ / ○	○ / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○
Multi-function relay	–	–
Certificates and approvals (more available on request)	CE, VDE0126-1-1, VDE-AR-N 4105	
Certificates and approvals (planned)	G83 / 1-1, CER / 06 / 190, RD 1663 / 2000, RD 661 / 2007, PPC, AS4777, EN 50438*, PPDS, UTE C15-712-1, C10 / 11	
Type designation	SB 3300-11	SB 3800-11

ANEXO C

O diagrama elétrico e a forma de instalação mais comuns para ligação do medidor SPECTRUM® K ART no caso estudado.

nansen



nansen

ANEXO D



Centrais Elétricas do Pará S.A

Rodovia Augusto Montenegro, km 8,5 | Belém - PA
CEP 66823-010 | CNPJ 04.895.728/0001-80

Conta de Energia Elétrica | Nota Fiscal | Série B 868471

Nº da Fatura 01-20154190370199-11

Referente ao mês
11/2015

Vencimento
26/11/2015

Unidade Consumidora

Para atendimento, informe este número.

Dados da Unidade Consumidora

Classe de Consumo: RESIDENCIAL
Classificação: RESIDENCIAL CONVENCIONAL - BIFASICO
Tipo de Tarifa: CONVENCIONAL
Fator de Potência: Tensão nominal (V): 127 / 220
Perdas de Transformações (%): 0

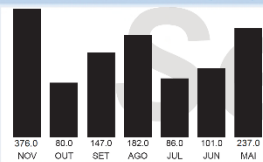
Datas

Emissão	Apresentação	Previsão Próxima Leitura
12/11/2015	12/11/2015	15/12/2015

Informações do consumo do mês

Nº Medidor	Leitura Anterior	Leitura Atual	Consumo	Quantidade de dias	Constante
13783949	4600 13/10/2015	4976 12/11/2015	376	30	1,00

Histórico do Consumo (kWh)



Tarifa sem tributos (R\$)

Número do Programa Social

Composição dos preços em R\$ (Art. 31 Resolução 166/2005)

Distribuição	Enc. Setoriais	Compra de Energia	Transmissão	Tributos	Soma (R\$)
73,84	21,52	113,36	5,72	85,32	299,76

Informações de tributos

Tributos	Base de Cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	299,76	25,00000	74,92
COFINS	299,76	2,84670	8,53
PIS	299,76	0,61860	1,85

Indicadores de continuidade

SET15	DIC	FIJ	DMIC
Limite Mês	5,91	3,99	3,46
Limite Trim.	11,82	7,98	-
Limite Anual	23,64	15,96	-
Apurado Mês	-	-	-
Conjunto: BREU BRANCO I	EUSD (R\$): 45,80		

Demonstrativo do Faturamento

Descrição	Quantidade	Tarifa	Valor (R\$)
Consumo (kWh)	376	0,525390	197,54
Adic Band. Vermelha			16,92
Icms			74,92
Cofins			8,53
Pis			1,85
Subtotal (R\$)			299,76

Lançamentos e Serviços

Cip-Contrib de Ilum Pub	21,52
Subtotal (R\$)	21,52

Total a pagar: R\$ 321,28

Reservado ao Fisco

Período Fiscal: 12/11/2015

EAAC.2F35.A89E.5AC6.CC69.30AF.9A29.4434

Reaviso de vencimento