

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CAIO CÉSAR TEODORO DOS SANTOS

**ESTUDO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A
UMA RESIDÊNCIA DE BAIXA RENDA.**

UBERLÂNDIA - MG

2020

CAIO CÉSAR TEODORO DOS SANTOS

**ESTUDO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A
UMA RESIDÊNCIA DE BAIXA RENDA.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Elétrica à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como item obrigatório parcial ao título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Luciano Coutinho Gomes

UBERLÂNDIA – MG

2020

CAIO CÉSAR TEODORO DOS SANTOS

**ESTUDO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A
UMA RESIDÊNCIA DE BAIXA RENDA.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Elétrica à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como item obrigatório parcial ao título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Uberlândia, 17 de dezembro de 2020

UBERLÂNDIA – MG

2020

Agradecimentos

Agradeço a minha família pelo total apoio, suporte e carinho, principalmente aos meus pais Claudio e Helaine e meus irmãos Claudio Luiz e Sarah. Vocês são de extrema importância para minha vida.

A todos os professores que me acompanharam até o presente momento, principalmente o professor e orientador Luciano Coutinho Gomes que teve a maior paciência do mundo e graças ao seu suporte esse trabalho pôde ser realizado.

Aos colegas de faculdade que sempre me apoiaram: Yasmin, Ênio, Liniquer, Priscila, Dantes, Fáfa, Marcel, Fernas, Dudu, Pedro Paulo, July, Vini, Peter, Leozeira, Vitão, Danilo e Wandin. Aos colegas de moradia, em especial Luan, Thiago e Parru.

E por fim, minha namorada Maria Clara pelo companheirismo, amor e confiança.

Resumo

Através da evolução tecnológica e da regulamentação da geração distribuída é possível o consumidor gerar sua própria energia elétrica, seja através de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Considerado uma geração limpa e que a cada ano ganha seu espaço, o sistema fotovoltaico é capaz de converter a energia proveniente do Sol em energia elétrica. O presente trabalho tem o objetivo de analisar um sistema fotovoltaico ligado à rede, em uma unidade consumidora de Subclasse Residencial Baixa Renda. Para a realização da análise do sistema proposto, será introduzido o referencial teórico para o entendimento do sistema e o perfil de consumo da residência beneficiada pela Tarifa Social De Energia Elétrica. Em seguida será dimensionado os principais componentes do sistema fotovoltaico e definido o consumo e localidade da residência. Por fim será analisado a viabilidade do projeto com o tempo de retorno do capital investido e a sua rentabilidade.

Palavras chaves: Geração distribuída, Fontes Renováveis, Sistema Fotovoltaico, Subclasse Residencial Baixa Renda, Tarifa Social

Abstract

Through technological evolution and the regulation of distributed generation it is possible for the consumer to generate his own electric energy, either through renewable sources or qualified cogeneration. Considered a clean generation and that each year gains its space, the photovoltaic system is able to convert the energy from the Sun into electrical energy. This work aims to analyze a photovoltaic system connected to the grid, in a consumer unit of the Low Income Residential Subclass. To be able to do the analysis of the proposed system, will be introduced a theoretical framework for the knowledge of the system and consumption profile of the residence benefited by the Social Electricity Tariff. Then the main components of the photovoltaic system will be dimensioned and the consumption and location of the residence will be defined. Finally, the project feasibility will be analyzed with the return time of the invested capital and its profitability.

Keywords: Distributed generation, Renewable Sources, Photovoltaic System, Low Income Residential Subclass, Social Tariff.

Lista de ilustrações

Figura 1- Matriz Energética Mundial 2016 (IEA, 2018).....	14
Figura 2 - Coletor solar térmico (TECH, 2020).....	15
Figura 3 - Placas fotovoltaicas no telhado de uma residência na comunidade Babilônia, Rio de Janeiro. (SOLAR, 2020).....	15
Figura 4 - Geração Distribuída e Geração Tradicional (INCENTIVESOLAR, 2018)..	18
Figura 5 - Geração distribuída (Sistema Fotovoltaico) (MECATRON SOLA, 2020) ...	20
Figura 6- A energia do sol é transmitida na forma de ondas de radiação eletromagnéticas (Dreamstime, 2020)	21
Figura 7 - Composição do espectro da radiação solar (Peter Hermes Furian / Shutterstock.com) (NANOCELL, 2014).....	22
Figura 8 - Ângulo zenital e linha do zênite (CRESESB, 2014).....	23
Figura 9 – Radiação direta, difusa e global	24
Figura 10 - Piranômetro (ALPHAOMEGA)	25
Figura 11 - Pireliômetro (DIRECTINDUSTRY)	25
Figura 12 - Medidor portátil de radiação solar (PCE-INSTRUMENT).....	26
Figura 13 - Gráfico de irradiância solar no período de um dia (VILLALVA, 2012, p. 46)	27
Figura 14 – Radiação média diária, anual de Minas Gerais (Adaptado Cemig) (INMET, 2010)	28
Figura 15 - Insolação diária, média anual do Brasil (CRESESB, 2000)	28
Figura 16 - Mapa de ângulos de correção para encontrar o norte geográfico (VILLALVA, 2012, p. 52)	29
Figura 17 - Órbita da Terra em torno do Sol, indicando estações do ano do hemisfério sul e o ângulo de declinação solar (CRESESB, 2014, p. 70). Adaptado.....	31
Figura 18 - Representação do ângulo de incidência dos raios solares e do ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico (SETOR, 2017).....	32
Figura 19 - Ângulo de inclinação pela latitude geográfica (BOSCH, 2011)	32
Figura 20- Semicondutor com camada P e N (VILLALVA, 2012, p. 67).....	34
Figura 21 - Células fotovoltaicas ligadas em serie (BLUESOL, 2016)	34
Figura 22 - Módulo fotovoltaico de silício cristalino (DIRECTINDUSTRY, 2020)	35
Figura 23 - Módulo fotovoltaico de filme fino (SOLARMAGAZINE, 2020).....	35

Figura 24 - Componentes de um painel fotovoltaico (BOSCH, 2011)	36
Figura 25- Curva de potência P-V e curva característica I-V, para um módulo com potência nominal de 100 Wp (CRESESB, 2014, p. 147).....	37
Figura 26 - Influência da radiação solar na operação de um módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino a 25°C (CRESESB, 2014, p. 149).	38
Figura 27 - Influência da temperatura no módulo (VILLALVA, 2012, p. 80)	39
Figura 28 - Curva característica de três módulos em série (Adaptado) (ELETRICISTACONSCIENTE, 2017)	41
Figura 29 - Curva característica de três módulos em paralelo (Adaptado) (ELETRICISTACONSCIENTE, 2017)	41
Figura 30 – Configuração de sistema fotovoltaico autônomo básico (CRESESB, 2014, p. 256)	42
Figura 31 - Inversor para SFI, JAY ENERGY (ENERGYSHOP, 2019).	42
Figura 32 - Bateria estacionária, Moura Solar (NEOSOLAR, 2020).....	43
Figura 33 - Controlador de carga MPPT, Epever Triron. (NEOSOLAR, 2020).....	43
Figura 34 - Configuração de sistema fotovoltaico básico conectado à rede (CRESESB, 2014, p. 257)	44
Figura 35 - Usina de geração fotovoltaica, Piauí (PIAUIHOJE).....	44
Figura 36 - Minigeração fotovoltaico instalado na cidade de Biguaçu/Santa Catarina (EGNEX)	45
Figura 37 - Sistema de microgeração fotovoltaica (BLUESOL, 2016).....	46
Figura 38 – Componentes de um sistema fotovoltaico residencial (VILLALVA, 2012, p. 153).....	46
Figura 39 - Inversor solar fotovoltaico “on grid” Growatt. (ALDO, 2020)	48
Figura 40 - Curva IxV com perturbação da tensão pelo MPPT (VILLALVA, 2012) ...	49
Figura 41 - Caixa de string ABB (ALDO, 2020).....	49
Figura 42 - Medidor Bidirecional Smart Meter Fronius (ALDO, 2020).....	50
Figura 43 – Módulo fotovoltaico OSDA (NEOSOLAR, 2020)	57
Figura 44- Inversor solar fotovoltaico on grid Ecosolys (ALDO, 2020)	59
Figura 45 – DPS VCL Front 275V CA classe II. (CLAMPER).....	61
Figura 46 - DPS Clamper Solar CC (CLAMPER)	61
Figura 47 - Chave seccionadora bipolar Merz (PROAUTOMACAO).....	62
Figura 48- Tarifa B1 residencial baixa renda (CEMIG).....	64
Figura 49- Tarifa B1 residencial normal (CEMIG)	65

Lista de tabelas

Tabela 1 - Oferta Interna de Energia (MME, 2020)	17
Tabela 2 - Informações técnicas na etiqueta do modulo. (CRESESB, 2014).....	39
Tabela 3 - Tabela de desconto da tarifa de energia (ANEEL, 2010).	51
Tabela 4 - Tabela de desconto da tarifa para quilombolas e indígenas (ANEEL, 2010).	52
Tabela 5 - Dados da radiação solar global (kWh/m ² /dia) por microrregiões de MG (CEMIG), adaptado	54
Tabela 6 - SunData na região de Uberlândia (CRESESB, 2020).....	54
Tabela 7 - Características elétricas do módulo OSDA. (NEOSOLAR)	57
Tabela 8 - Características do inversor Ecos 2000 (ALDO, 2020).....	59
Tabela 9 - Lista dos equipamentos	63
Tabela 10 - Rentabilidades anuais (ECONOMIAS, 2020).....	67

Lista de abreviações e siglas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

BPC – Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais

COPOM – Comitê de Política Monetária

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

DPS – Dispositivo de proteção de surto

E – Consumo diário médio anual

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

H – Horas

HSP – Horas de Sol Pleno

HSPma – Média diária anual das HSP incidente no plano do painel

I – Corrente elétrica

IEA – Agência Internacional de Energia

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional

If – Corrente nominal do fusível

Imp – Corrente de máxima potência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

I_r – Corrente reversa suportada pelo módulo

m/s – Metro por segundo

m^2 – metros quadrados

MG – Minas Gerais

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – Rastreamento de ponto de máxima potência do módulo

NOCT – Temperatura normal de operação

$N^{\circ}mi$ – Número máximo de módulos para o inversor

$N^{\circ}m$ – Número de módulos

$N^{\circ}mp$ – Número máximo de strings conectadas em paralelo

$^{\circ}C$ – Celsius

OIE – Oferta interna de Energia

OIEE – Oferta Interna de Energia Elétrica

P_{fv} – Potência total dos módulos

P_{mg} – Potência máxima gerada

P_{mp} – Ponto de máxima potência

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.

Qtd – Quantidade

SFCR – sistema fotovoltaico conectado à rede

SFI – Sistema fotovoltaico isolado

STC – Condições padronizadas de teste

TD – Taxa de desempenho

Tep – Toneladas equivalentes de petróleo

TSEE – Tarifa Social de Energia Elétrica

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Vmp – Tensão de máxima potência

Vms – Tensão máxima de saída

W – Watts

Wp – potência de pico

[A] – ampère

[eV] – elétrons-volt

[Hz] – hertz

[J.s] – Joules vezes segundos

[J] – joules

[km/s] – quilômetros por segundo

[kW] – quilowatts

[MW] – megawatts

[nm] – Nanômetro

[V] – volts

[W/m²] – watt por metro quadrado

[Wh/m²] – (watt-hora por metro quadrado)

Sumário

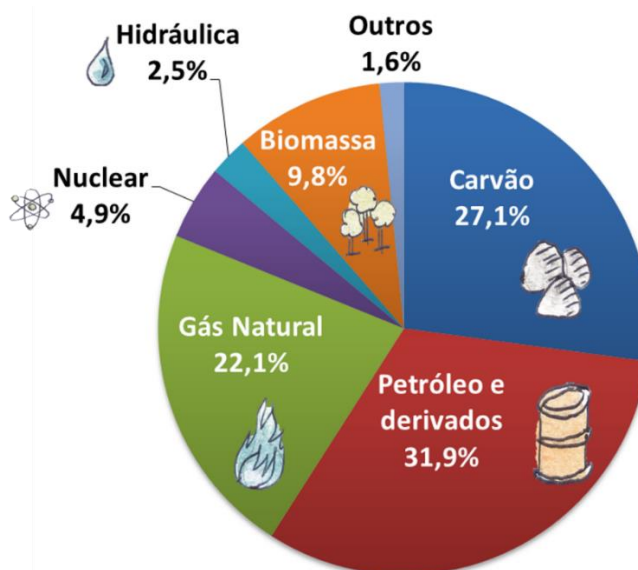
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo.....	16
1.2 Justificativas.....	17
2. Referencial teórico	18
2.1 Geração distribuída de energia elétrica	18
2.2 Conceitos básicos.....	20
2.2.1. <i>Radiação solar</i>	20
2.2.2. <i>Massa de ar e tipos de radiação solar</i>	23
2.2.3. <i>Irradiância</i>	26
2.2.4. <i>Insolação</i>	27
2.2.5. <i>Orientação dos módulos fotovoltaicos</i>	28
2.2.6. <i>Movimentos da terra e inclinação do módulo solar</i>	30
2.3 Sistema fotovoltaico.....	33
2.3.1. <i>Característica dos módulos</i>	36
2.3.2. <i>Conjuntos fotovoltaicos</i>	40
2.3.3. <i>Sistemas fotovoltaicos autônomos</i>	41
2.3.4. <i>Sistemas fotovoltaicos conectados à rede</i>	44
2.4 Tarifa social.....	50
3. Cálculo e Análise financeira	52
3.1 Consumo médio, localidade e recurso solar	53
3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.....	55
3.3 Dimensionamento do inversor e dispositivos de proteção	58
3.4 Análise financeira	63
4. Conclusão.....	67
5. Referências.....	68

1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia ganham mercado a cada ano, principalmente no Brasil, e são consideradas uma alternativa mais sustentável para obtenção de energia elétrica. Fazem parte deste grupo as fontes: solar, eólica, hídrica, biomassa, geotérmica, oceânica entre outras. Com a baixa emissão de gases do efeito estufa e por se tratar de um recurso inesgotável, se tornam uma opção para a substituição da principal fonte de energia da atualidade, o petróleo.

O petróleo e o seus derivados compõe a maior parte da matriz energética mundial (2016), cerca de 31,9%, enquanto as fontes renováveis correspondem a 14% (IEA, 2018) como mostrado na Figura 1. Já no Brasil (2017) as fontes renováveis compõem 42,9% (BEN, 2018). Dessa forma é importante ter um estudo voltado a esse tipo de matriz, onde o trabalho em questão a energia solar será o foco.

Figura 1- Matriz Energética Mundial 2016 (IEA, 2018)



Essa energia solar pode ser aproveitada como fonte de calor ou para produção de eletricidade. Para sistemas de aquecimento solar, são instalados coletores solares sobre o telhado da residência, assim o calor proveniente do Sol é captado e aquece a água, que circula em tubos dentro dos coletores e por fim é armazenada em reservatórios. A seguir na Figura 2 um exemplo de coletor solar térmico.

Figura 2 - Coletor solar térmico (TECH, 2020)



O calor também pode ser empregado em usinas solares térmicas, com a finalidade de produzir energia elétrica. O princípio de funcionamento é básico, em que o calor aquece um fluido e o vapor gerado aciona uma turbina acoplada a um gerador elétrico.

E por fim a energia do sol pode ser aproveitada pelo efeito fotovoltaico, consistindo na conversão direta da luz solar em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos captam a luz solar e produzem corrente elétrica, através de dispositivos controladores e conversores processando essa corrente. De acordo com a finalidade desejada, a corrente pode ser armazenada em baterias ou utilizada de forma direta em sistemas conectados à rede elétrica. A Figura 3 apresenta uma residência com painéis fotovoltaicos.

Figura 3 - Placas fotovoltaicas no telhado de uma residência na comunidade Babilônia, Rio de Janeiro. (SOLAR, 2020)



A energia unida a sustentabilidade são dois fatores importantes. Além da geração de energia limpa, essa união trata as questões sociais e econômicas. A energia solar fotovoltaica pode auxiliar na economia das contas de luz e possibilita que localidades de baixa renda tenham acesso à energia. O uso da energia elétrica é essencial para promover uma qualidade de vida, dessa forma todos deveriam ter acesso. Devido ao custo da energia elétrica muitas famílias são impossibilitadas de acessá-la, principalmente famílias de baixa renda, com isso deve ser analisado a implementação do sistema fotovoltaico a famílias menos favorecidas.

Em suma, o trabalho proposto apresenta, inicialmente a geração distribuída de energia elétrica que possibilita a implementação de sistemas fotovoltaicos em modelos de microgeração, em seguida o referencial teórico necessário para o entendimento de sistemas fotovoltaicos principalmente ligados à rede. A partir do conhecimento prévio, é realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico para uma residência definida de baixa renda. Por fim é verificada a viabilidade de sua implementação por meio da análise financeira do projeto.

1.1 Objetivo

Oferta Interna de Energia (OIE) é a energia necessária para movimentar a economia de um país. No Brasil em 2019, ela foi de 294 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), significando um aumento de 1,4% em relação ao ano de 2018, como mostrado na Tabela 1. Na Matriz Energética Brasileira as fontes renováveis, sustentadas por fontes altas em produtos de cana, solar, biodiesel e eólica, tiveram alta de 2,8%. Já a oferta de energia hidráulica teve um recuo de (-0,3%).

Ainda no ano 2019 segundo a (MME, 2020), a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) foi de 651,3 TWh (terawatts hora), revelando um aumento da geração solar em 92,2%, comparado ao ano de 2018. Mesmo com aumento essa geração solar de 6.655 GWh (gigawatts hora), no ano de 2019 representa baixa representatividade. O Brasil possui um potencial para gerar energia solar muito alto, e devido a sua localização, recebe altos índices de irradiação solar. Entretanto não é tão aproveitado, muitas vezes devido ao custo de implementação.

Tabela 1 - Oferta Interna de Energia (MME, 2020)

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		19/18 %	Estrutura %	
	2018	2019		2018	2019
NÃO-RENOVÁVEL	157.972	158.395	0,3	54,5	53,9
<i>PETRÓLEO E DERIVADOS</i>	<i>99.627</i>	<i>101.051</i>	<i>1,4</i>	<i>34,4</i>	<i>34,4</i>
<i>GÁS NATURAL</i>	<i>35.905</i>	<i>35.909</i>	<i>0,0</i>	<i>12,4</i>	<i>12,2</i>
<i>CARVÃO MINERAL E DERIVADOS</i>	<i>16.418</i>	<i>15.480</i>	<i>-5,7</i>	<i>5,7</i>	<i>5,3</i>
<i>URÂNIO (U308) E DERIVADOS</i>	<i>4.174</i>	<i>4.174</i>	<i>0,0</i>	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>
<i>OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (a)</i>	<i>1.848</i>	<i>1.780</i>	<i>-3,7</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>
RENOVÁVEL	131.898	135.642	2,8	45,5	46,1
<i>HIDRÁULICA E ELETRICIDADE</i>	<i>36.460</i>	<i>36.364</i>	<i>-0,3</i>	<i>12,6</i>	<i>12,4</i>
<i>LENHA E CARVÃO VEGETAL</i>	<i>25.511</i>	<i>25.725</i>	<i>0,8</i>	<i>8,8</i>	<i>8,7</i>
<i>DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>	<i>50.090</i>	<i>52.841</i>	<i>5,5</i>	<i>17,3</i>	<i>18,0</i>
<i>OUTRAS RENOVÁVEIS (b)</i>	<i>19.837</i>	<i>20.712</i>	<i>4,4</i>	<i>6,8</i>	<i>7,0</i>
TOTAL	289.870	294.036	1,4	100,0	100,0
<i>dos quais fósseis</i>	<i>153.798</i>	<i>154.221</i>	<i>0,3</i>	<i>53,1</i>	<i>52,4</i>

(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre; (b) lixo, biodiesel, eólica, solar, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

O objetivo principal deste trabalho é realizar a análise de um sistema fotovoltaico ligado à rede em uma residência de baixa renda. Será definido o consumo médio da residência igual ao valor máximo de consumo médio mensal que apresenta desconto na Tarifa Social, e a localidade para efeito de cálculo. A partir dessas informações o projeto será dimensionado desde os painéis fotovoltaicos até as proteções elétricas necessárias, de maneira a suprir todo o consumo da residência. E ao final será avaliada a viabilidade econômica desse projeto, comparando sua rentabilidade com outros investimentos e analisando o tempo de retorno do capital.

1.2 Justificativas

No ano de 2020 foi proposto pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), ao governo e aos líderes do Congresso Nacional, a implementação de painéis solares a consumidores de baixa renda. Estima-se uma economia de R\$ 817 milhões ao longo de 25 anos para essa população.

Foi previsto um gasto de R\$ 350 milhões por mês, caso o governo e o Congresso, isentasse a cobrança da tarifa de energia aos brasileiros de baixa renda cadastrados no programa de Tarifa Social no período de três meses. Segundo a ABSOLAR (2020), com esse gasto seria possível implementar R\$ 87,5 mil sistemas solares fotovoltaicos e que ainda resultaria na economia de R\$ 253 milhões na Conta de Desenvolvimento Energético (CDE).

Com isso, o presente trabalho apresenta uma análise da implementação de um sistema fotovoltaico, dimensionado a uma residência de baixa renda beneficiada pelo programa de Tarifa Social, que além da produção limpa de energia possibilita grande economia na conta de luz.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

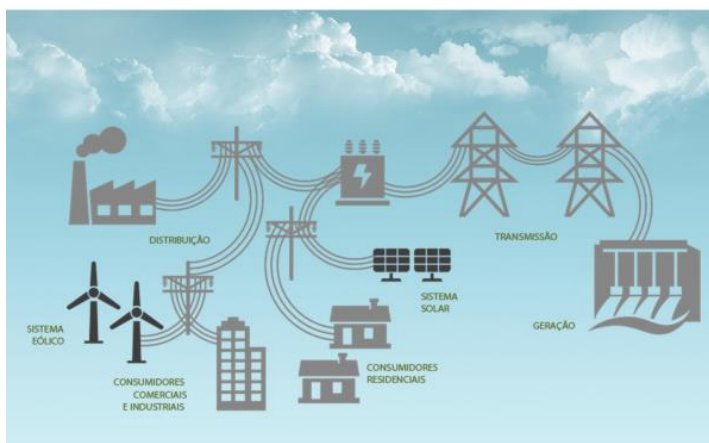
2.1 Geração distribuída de energia elétrica

Consiste na produção de energia elétrica a partir de geradores descentralizados instalados próximo aos locais de consumo, utilizam fontes renováveis ou cogeração qualificada.

A cogeração qualificada é um conceito definido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) na Resolução Normativa nº 235/2006, que estabelece uma eficiência energética total mínima para geração de energia elétrica e térmica com gás natural (CHPBRASIL, 2017).

O modelo tradicional de geração embasa-se em usinas de grande porte localizadas distante dos consumidores.

Figura 4 - Geração Distribuída e Geração Tradicional (INCENTIVESOLAR, 2018)



Também fazem parte desse modelo de geração distribuída, parques de geração em áreas abertas e pequenos geradores conectados ao sistema elétrico e instalados dentro das áreas urbanas. Os geradores podem ser instalados em telhados

de empresas, residências, comércios e escolas formando micro e mini usinas que geram eletricidade ligados ao sistema elétrico nacional.

Os sistemas fotovoltaicos “on grid”, no Brasil, são conectados ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Foram estabelecidas as condições gerais para o acesso de minigeração e de microgeração distribuída, pela resolução 482 de abril de 2012 pela ANEEL, a seguir alguns incisos da norma de interesse para este trabalho:

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, ou fontes renováveis de energia elétrica; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015).

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica; (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017).

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015).

Pelo fato de as usinas serem ligadas diretamente às redes de baixa tensão de distribuição, transformadores e linhas de distribuição de eletricidade são dispensáveis. Por estarem ligadas ao sistema elétrico, elas além de fornecerem energia para o consumo local, também ajudam com a geração de eletricidade do país. No Brasil a micro e minigeração distribuída de eletricidade, através de fontes renováveis, podem suprir o consumo próprio e nos períodos de geração maior do que o consumo, geram créditos de energia. Isso é muito importante principalmente nos períodos de seca. Como a principal fonte de energia do país atualmente são as hidrelétricas, quanto maior a instalação de pequenos sistemas de geração distribuída, maior será a contribuição para disponibilidade de eletricidade em nosso país.

Em um âmbito mundial, a energia solar fotovoltaica é uma das fontes alternativas que tem recebido uma maior atenção. Devido ao fato da instalação do sistema de geração distribuída baseado na energia solar, ser adequada em qualquer

local com grande incidência de luz. Com isso os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados nos grandes centros urbanos e nas cidades, possibilitando a produção de energia elétrica limpa, sem emissão de gases poluentes e resíduos. Dessa forma podem ajudar no suprimento da energia dos centros consumidores. Por ser uma fonte limpa, também proporciona uma melhoria da qualidade de vida, evitando poluição do ar das cidades e tornando mais sustentável o modelo de vida.

Figura 5 - Geração distribuída (Sistema Fotovoltaico) (MECATRONSOLA, 2020)



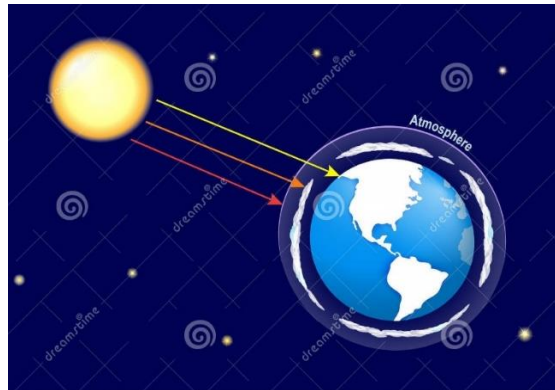
2.2 Conceitos básicos

Para prosseguir com o estudo proposto, será abordado os principais conceitos de sistemas fotovoltaicos e como será aplicado a uma residência de baixa renda. O livro “Energia Solar Fotovoltaica: CONCEITOS E APLICAÇÕES” do VILLALVA (2012) irá proporcionar um melhor embasamento teórico.

2.2.1. Radiação solar

Na forma de radiação eletromagnética a energia do sol é transmitida para o nosso planeta. É constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de ondas diferentes.

Figura 6- A energia do sol é transmitida na forma de ondas de radiação eletromagnéticas (Dreamstime, 2020)



Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida, já que a energia da onda é diretamente proporcional à sua frequência. O comprimento da onda eletromagnética é inversamente proporcional à frequência. Dessa forma a relação de Planck ou equação de Planck-Einsten, mostra a relação entre frequência e a energia de uma onda eletromagnética. Segue a equação 1:

$$E = h * f \quad (1)$$

O E representa a energia da onda expressa em joules [J] ou elétrons-volt [eV], h é uma constante física de proporcionalidade, tem o nome de constante de Planck comum valor aproximado de $6,636 * 10^{-34}$ [J.s], e por fim, f a frequência expressa em hertz [Hz].

No vácuo a luz viaja com uma velocidade constante, com isso a próxima formula matemática relaciona, frequência, comprimento de onda e a velocidade da onda eletromagnética. Como mostrado na equação 2:

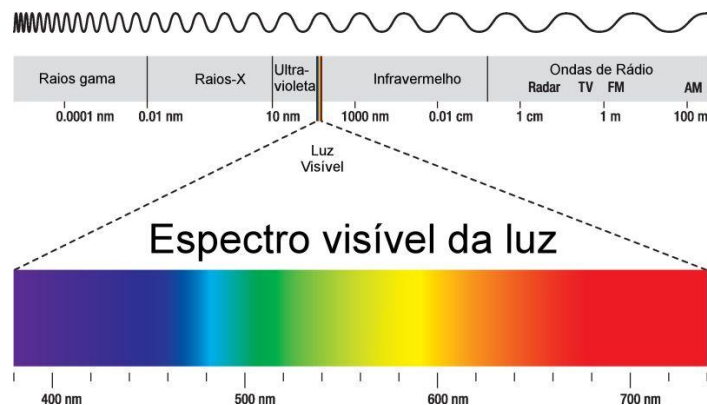
$$c = \lambda * f \quad (2)$$

onde c é velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 300.000 [km/s]), λ é o comprimento da onda (expressa em submúltiplos de metros) e f é a frequência em hertz.

Sobre objetos e seres vivos as ondas eletromagnéticas podem produzir efeitos diversos. Luz visível é uma pequena parte das ondas eletromagnéticas, ela é

captada pelos olhos humanos. Já outra parte radiação solar não pode ser captada pelo olho humano, mas é possível perceber sua presença de outras formas.

Figura 7 - Composição do espectro da radiação solar (Peter Hermes Furian / Shutterstock.com) (NANOCELL, 2014)



Na Figura 7 temos o espectro da radiação solar, composto por todas as frequências de ondas eletromagnéticas que são emitidas pelo Sol. A radiação solar antes de atingir a atmosfera é composta por 53% radiação invisível (pequena parcela de luz infravermelha e grande parcela de luz ultravioleta) e 47% de luz visível. A luz visível, que o olho humano consegue captar, é a mesma parte do espectro que as plantas utilizam para realizar a fotossíntese (VILLALVA, 2012, p. 40).

A transformação da energia eletromagnética em energia térmica, pelos corpos e materiais que a recebem, é chamada de captação do calor solar. Quando um corpo tem a capacidade de absorver a radiação, e a energia eletromagnética é transformada em energia cinética. É chamado esse processo de energia térmica ou transmissão de calor. Dessa forma podemos definir que quanto maior o estado de agitação dos átomos e moléculas, maior será a temperatura do corpo. A incidência de ondas eletromagnéticas em determinados materiais, podem produzir alterações nas propriedades elétricas ou originar correntes elétricas e tensões. Um desses efeitos é o efeito fotovoltaico, foco desse estudo e a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica, baseia-se na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica através de uma diferença de potencial criada ou uma tensão elétrica, sobre um sanduíche de materiais semicondutores que formam uma célula. Já o efeito fotoelétrico pode acontecer em materiais metálicos e não metálicos sólidos, gasosos

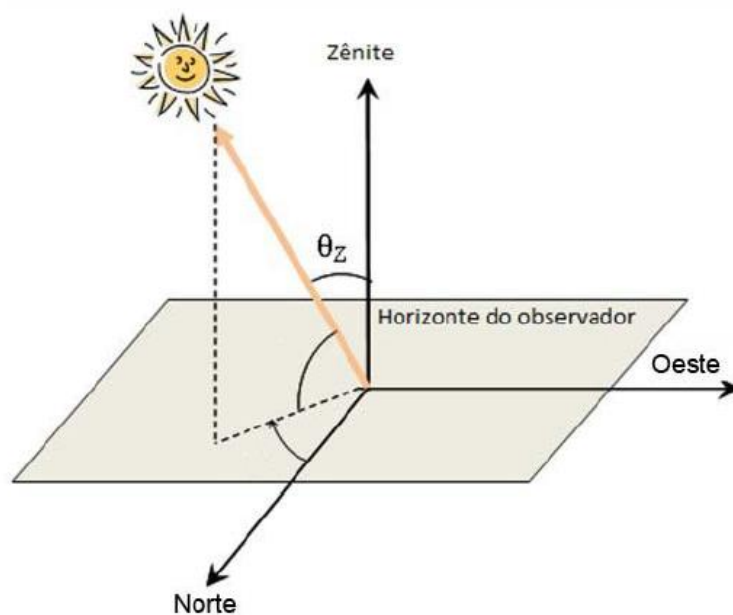
ou líquidos. Diferente do efeito fotovoltaico ele não é capaz de criar uma tensão elétrica, mas sim ocasionar a remoção dos elétrons.

2.2.2. Massa de ar e tipos de radiação solar

Quando a radiação solar atravessa a atmosfera terrestre ela sofre diversas alterações. Sua característica irá depender da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, englobando os elementos suspensos e o ar. Essa espessura, depende do comprimento do trajeto dos raios solares até o solo. E o trajeto irá depender do ângulo de inclinação do sol com a linha do zênite.

O zênite é uma linha imaginária perpendicular ao solo. O ângulo zenital do Sol é zero quando ele se encontra exatamente acima do observador. A espessura da massa de ar atravessada pelos raios solares na atmosfera depende do ângulo zenital do Sol. (VILLALVA, 2012, p. 42)

Figura 8 - Ângulo zenital e linha do zênite (CRESESB, 2014)



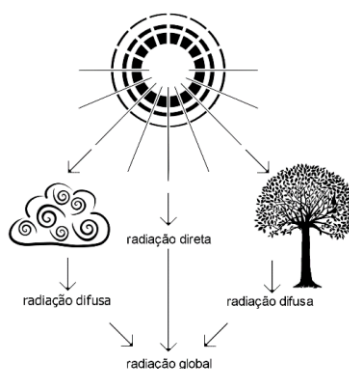
A massa de ar é calculada pela equação (3), onde AM (do inglês *Air Mass*) é a massa de ar e θ_z é o ângulo zenital do Sol, mostrado na figura 9.

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad (3)$$

Quanto maior o ângulo zenital mais espessa será a camada de ar, com isso maior a influência na radiação solar. A distribuição de energia do espectro de radiação solar depende da hora do dia, dia do ano, localização geográfica, condições climáticas, altitude, composição da atmosfera e de diversos outros fatores. Experimentalmente, o perfil característico médio da radiação solar em uma localidade pode ser obtido, variando em função da massa de ar. A AM1,5 é obtida pelo ângulo zenital $48,5^\circ$ que é a massa de ar padrão em simuladores e referência em uma parcela significativa de catálogos de sistemas fotovoltaicos. Essa distribuição espectral representa o comportamento médio da radiação solar em países do hemisfério norte (clima temperados). Já nos países dentro da zona tropical, como o Brasil, os ângulos azimutais são menores, assim os raios solares são sujeitos a massas de ar reduzidas deixando a zona tropical mais iluminada e quente. (VILLALVA, 2012, p. 43).

Após o detalhamento de massas de ar serão tratados os tipos de radiação solar. A radiação global é a soma da radiação difusa e direta. Radiação difusa é o resultado da reflexão da luz na poeira e difração na atmosfera, nas nuvens e outros objetos e correspondem aos raios solares que chegam de forma indireta ao plano. Radiação direta é quando os raios solares incidem, em linha reta, diretamente sobre o plano horizontal. Já inclinação depende do ângulo zenital explicitado anteriormente.

Figura 9 – Radiação direta, difusa e global



Fonte: Do Autor 2020

Através do instrumento piranômetro, pode-se medir a radiação global. Ele é constituído de um vidro que recebe luz de todas as direções e consegue concentrar em um sensor de radiação solar no centro do equipamento.

Figura 10 - Piranômetro (ALPHAOMEGA)



O pireliômetro é usado para medir a radiação direta, pois diferente do piranômetro, ele é composto de um tubo com abertura estreita em linha reta e um sensor de radiação solar no seu interior. Dessa forma é permitida a entrada somente da luz direta.

Figura 11 - Pireliômetro (DIRECTINDUSTRY)



Medidores baseados em células fotovoltaicas de silício, também são utilizados. São sensores que capturam uma faixa estreita do espectro solar, no entanto não conseguem distinguir a radiação direta da difusa. Possuem baixo custo e

avaliam muito bem o desempenho dos módulos fotovoltaicos. Existem diferenças entre os sensores, cada tipo enxerga uma porção maior ou menor do espectro. E sua faixa de frequência é especificada pelo fabricante, que determinará o custo e a precisão do dispositivo.

Figura 12 - Medidor portátil de radiação solar (PCE-INSTRUMENT)



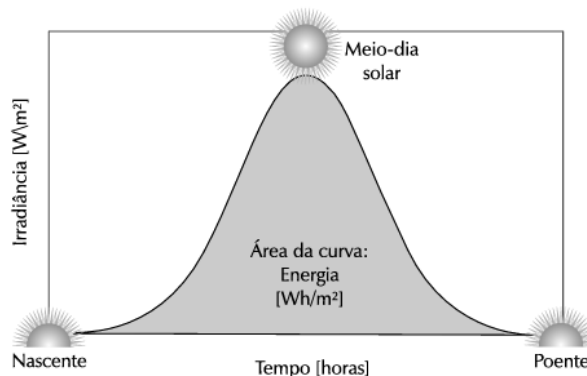
2.2.3. Irradiância

Também conhecida por irradiação, a irradiância é uma grandeza utilizada para quantificar a radiação solar. É uma unidade de potência por área, expressa por W/m^2 (watt por metro quadrado). E quanto maior a potência da radiação solar, maior será a quantidade de energia transportada em um determinado intervalo de tempo. Anteriormente foram exibidos alguns sensores, que fornecem medidas de irradiância. Dentro da superfície terrestre, a irradiância tem valor em torno de $1000 W/m^2$. Ela é adotada como padrão para sistemas fotovoltaicos, assim como a AM1,5, sendo citada em quase todos catálogos e especificações de módulos fotovoltaicos. Com a medida da irradiância pode-se avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos.

Para calcular-se a quantidade de energia recebida do sol por uma determinada área naquele dia, basta medir a irradiância e armazenar os valores obtidos ao longo do período desejado. Pode-se realizar para qualquer período, na Figura 13 tem-se um exemplo típico da irradiância solar em um período de um dia. A

área embaixo da curva representa o valor da energia recebida do sol durante o período de um dia por uma unidade de área, denominada insolação.

Figura 13 - Gráfico de irradiância solar no período de um dia (VILLALVA, 2012, p. 46)



2.2.4. Insolação

A grandeza insolação, citada na seção 2.2.3, expressa a energia solar que incide sobre uma área de superfície plana ao longo de um intervalo de tempo. Possui a unidade de medida Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado), que corresponde a densidade de energia por área. (VILLALVA, 2012, p. 46).

No dimensionamento de sistemas fotovoltaicos a medida de insolação em Wh/m^2 é muito utilizada. Logo na prática encontra-se mapas e tabelas de insolação com valores expressos em $Wh/m^2/dia$ (watt-hora por metro quadrado por dia). Através de sensores em estações meteorológicas, são realizados levantamentos da insolação em vários lugares do planeta, formando bancos de dados e expressos em tabelas. De forma usual, utiliza-se calculadoras solares e mapas de insolação. Segue um exemplo de um mapa de insolação do estado de Minas Gerais e outro do Brasil: Figuras 14 e 15

Figura 14 – Radiação média diária, anual de Minas Gerais (Adaptado Cemig) (INMET, 2010)

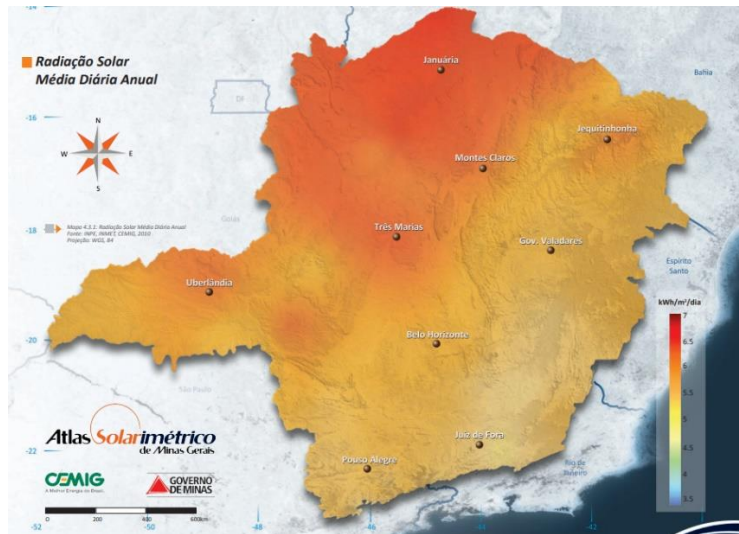
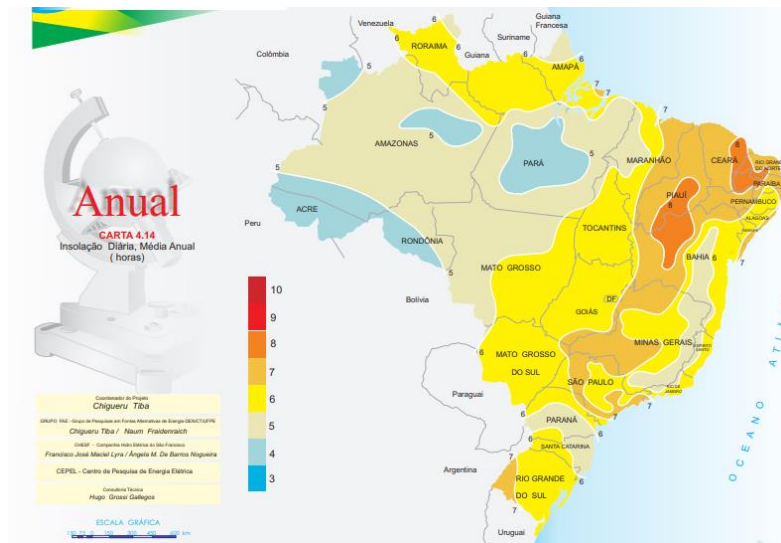


Figura 15 - Insolação diária, média anual do Brasil (CRESESB, 2000)



2.2.5. Orientação dos módulos fotovoltaicos

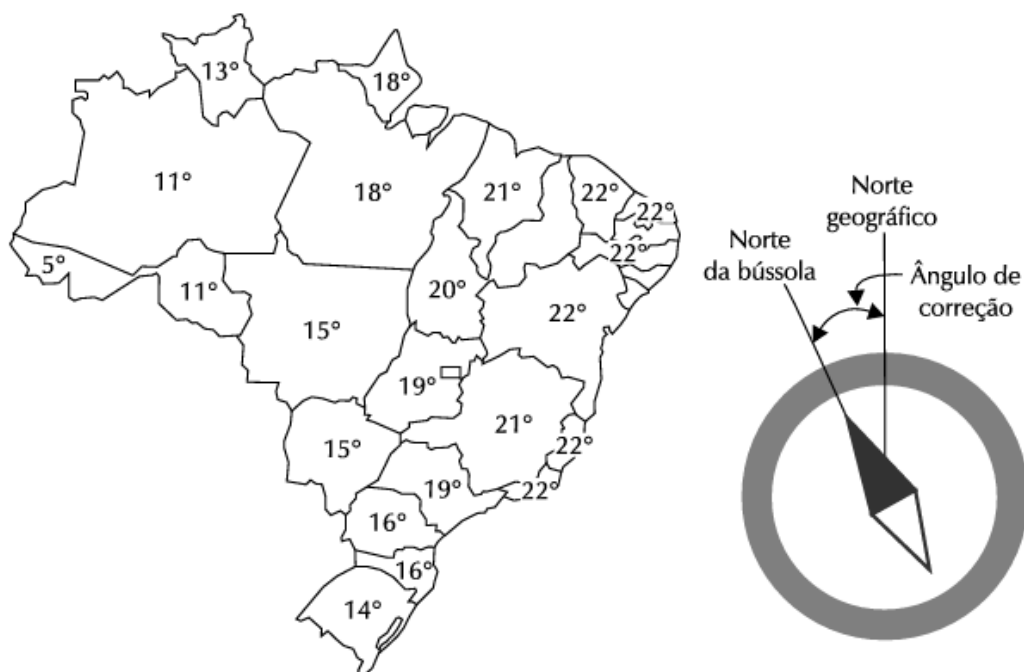
Para captar a energia solar da melhor forma possível, necessita-se do conhecimento da incidência dos raios solares e por fim direcionar os módulos para melhor otimização. As ondas eletromagnéticas do Sol chegam ao planeta Terra, paralelas entre si e em linha reta. No estudo de sistemas fotovoltaicos em geral, considera-se que os raios são linhas retas. Após cruzar a atmosfera terrestre são

refletidos e desviados, efeito de difusão, no entanto a maior parte segue em linha reta. Chama-se de radiação direta e foi tratada na seção 2.2.2 (VILLALVA, 2012, p. 50).

A radiação direta incide, com inclinação diferente, em cada ponto do planeta. A inclinação varia ao decorrer dos dias e meses do ano, dependendo da posição da Terra e do Sol. Como não é possível captar a radiação difusa de uma maneira otimizada, já que ela chega de maneira aleatória na superfície terrestre, pode-se maximizar a captação da radiação direta, que é o foco desse tópico e importante para seguir com trabalho proposto.

Para dar continuidade é necessário o conhecimento do norte geográfico, onde o mesmo pode ser encontrado através da bússola de forma indireta. A bússola fica alinhada no mesmo sentido das linhas do campo magnético terrestre. Como as linhas são distribuídas de forma irregular nem sempre a agulha aponta para o norte geográfico. Logo para determinar o norte geográfico (norte real) utiliza-se de um mapa de ângulos de correção (Figura 16) a serem subtraídos na leitura da bússola, em cada região do Brasil. Esse ângulo de correção também varia com o tempo, entretanto essa mudança é lenta e leva centenas de anos (VILLALVA, 2012, p. 52).

Figura 16 - Mapa de ângulos de correção para encontrar o norte geográfico (VILLALVA, 2012, p. 52)



A partir do conceito de norte geográfico é possível definir o azimutal, que é o ângulo de orientação dos raios solares com relação ao norte real. Assim com o

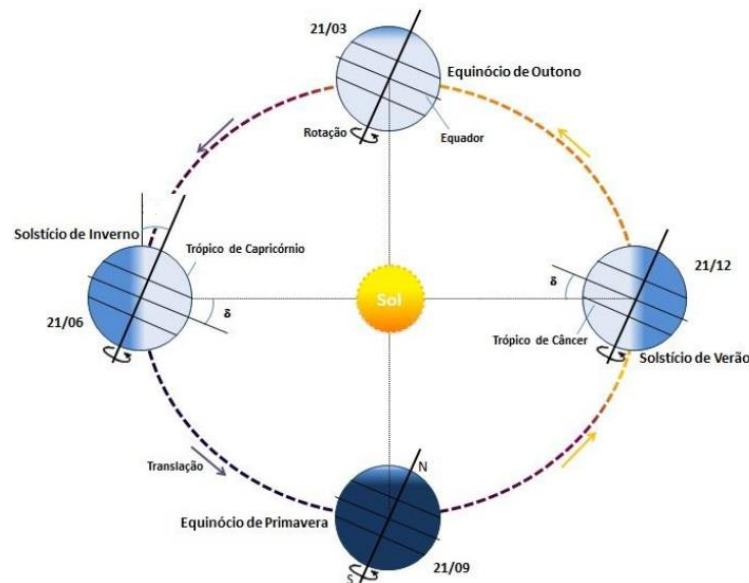
movimento natural do Sol desde o nascente até o poente, diferentes ângulos azimutais são descritos. Durante o meio-dia solar, um observador no hemisfério sul orientado para o norte irá observar o sol exatamente a sua frente, isso significa que o ângulo azimutal será nulo. Já no hemisfério norte o ângulo azimutal é medido com relação ao sul geográfico. Vale lembrar que nem sempre o azimutal nulo coincide com o horário de meio-dia.

Com essas informações conclui-se que a melhor orientação para um módulo solar é com sua face em voltada em direção ao norte geográfico. Dessa forma terá um melhor aproveitamento da luz solar ao longo do dia, e receberá em sua superfície raios solares a todo momento e ao meio-dia solar, o ápice de incidência.

2.2.6. Movimentos da terra e inclinação do módulo solar

O planeta Terra orbita o Sol, em uma trajetória elíptica com duração de 365 dias e seis horas. Simultaneamente, a Terra gira em torno do seu próprio eixo, onde esse movimento é chamado de rotação e possui duração de 24 horas. Já o movimento em torno do Sol é chamado de translação. No calendário a duração de um ano corresponde a 365 dias, logo após quatro anos tem-se um ano bissexto (366 dias) para compensar as seis horas entre o ano do calendário e do ano real. Com relação ao eixo de translação, o eixo de rotação da Terra possui uma inclinação de $23,5^\circ$. Essa inclinação é o que define as estações, pois com o decorrer do ano os hemisférios norte e sul ficam mais próximos ou distantes do Sol.

Figura 17 - Órbita da Terra em torno do Sol, indicando estações do ano do hemisfério sul e o ângulo de declinação solar (CRESESEB, 2014, p. 70). Adaptado.

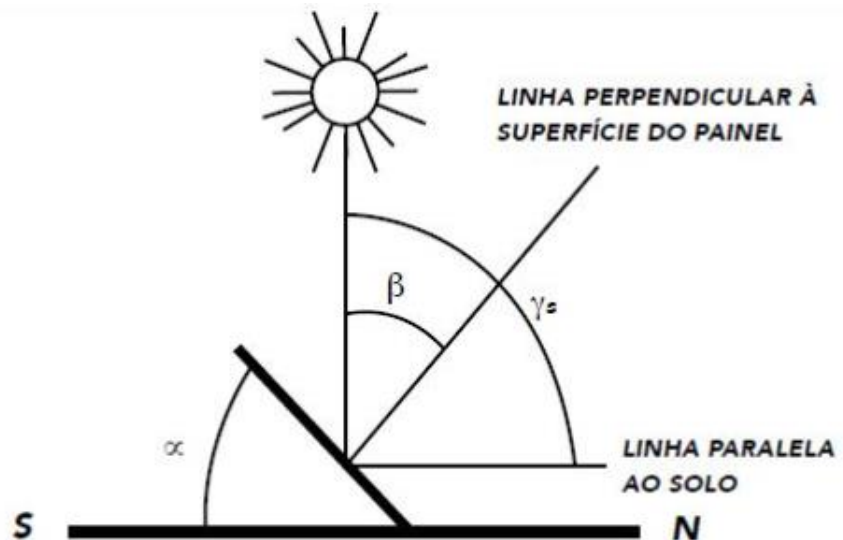


Outra consequência da inclinação do eixo da Terra é a formação da declinação solar (δ) Figura 17, que consiste no ângulo formado entre os raios solares e o plano do equador, logo ele varia com a posição do Sol. Nos solstícios, início do verão e do inverno, também é a época em que a declinação solar tem ângulo máximo. Em contrapartida no equinócio, início do outono e da primavera, a declinação solar é mínima com um ângulo nulo. Nos dias de verão, a altura do Sol é maior para um observador que olha em direção ao norte. Nesse período os raios solares incidem sobre o observador com ângulo zenital menor, pois a massa de ar que os raios percorrem é reduzida. Por outro lado, a altura solar no céu é menor nos dias de inverno, assim durante essa época, o ângulo zenital juntamente com a massa de ar percorrida pelos raios possuem valores maiores. Finalmente pode-se definir o ângulo de altura solar (γ_s) como, o ângulo de inclinação da trajetória do Sol com o plano horizontal Figura 18. Esse ângulo irá depender do ângulo da declinação solar e da localização do observador, e também fica fácil perceber que quanto mais próximo da linha do equador maior será a altura solar (VILLALVA, 2012, p. 56).

Na Figura 18 observa-se um módulo solar orientado para o norte geográfico e com inclinação α . Na imagem o ângulo β , representa os raios solares que incidem sobre a superfície do módulo em relação a linha perpendicular à superfície do painel. Devido à altura solar γ_s variar, em cada dia do ano o painel irá receber os raios solares com inclinação β diferente. Na condição $\beta=0$, os raios solares incidem de forma

perpendicular ao módulo, e aproveitamento da energia solar é o máximo. De forma ideal, para maximizar a captação da energia proveniente do Sol, deve-se ajustar a inclinação do módulo diariamente para adequar-se a γ_s daquele dia (VILLALVA, 2012, p. 57).

Figura 18 - Representação do ângulo de incidência dos raios solares e do ângulo de inclinação do modulo fotovoltaico (SETOR, 2017)



Atualmente a maioria dos módulos fotovoltaicos possui uma inclinação fixa. Para maximizar a captação dos raios solares, durante todo o seu período de produção de energia, deve-se escolher um ângulo α ideal. Ainda não existe um consenso para a melhor forma de escolha do ângulo fixo de inclinação. Adotado por muitos fabricantes, existe o método de escolha do ângulo de inclinação para a latitude geográfica desejada e que permite uma boa produção média de energia. A Figura 21 apresenta o ângulo de inclinação para as faixas de latitude, o α mínimo desse método é 10° , para evitar o acúmulo de poeira sobre os painéis.

Figura 19 - Ângulo de inclinação pela latitude geográfica (BOSCH, 2011)

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

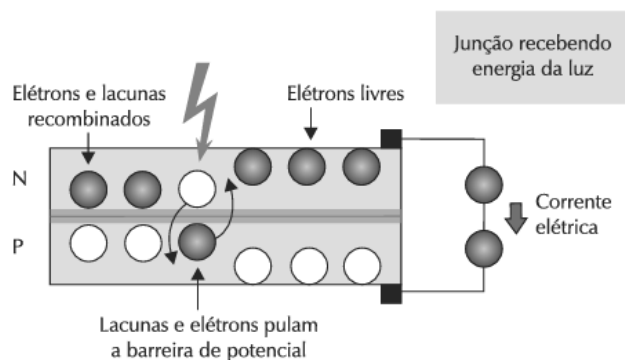
2.3 Sistema fotovoltaico

Em 1839 Becquerel percebeu que surgia uma diferença de potencial entre eletrodos imersos em uma solução ácida iluminada. Já em 1876, W.G. Adams e R.E. Day também perceberam o efeito similar, no entanto em um dispositivo de selênio no estado sólido. Somente em 1883 que surgiram os primeiros dispositivos que poderiam ser denominados células solares e foram desenvolvidos por C.E Frits (CRESESB, 2014, p. 103). Finalmente em 1918, foi desenvolvido um método para fabricar cristais de silício pelo cientista polonês Czochralski, que até hoje são a base para produção de células fotovoltaicas.

Esse semicondutor (silício) é o mais utilizado para fabricação de células fotovoltaicas. Mesmo que outros materiais possam fornecer uma eficiência maior, a matéria prima do silício encontra-se em abundância e sua tecnologia de fabricação está bem desenvolvida.

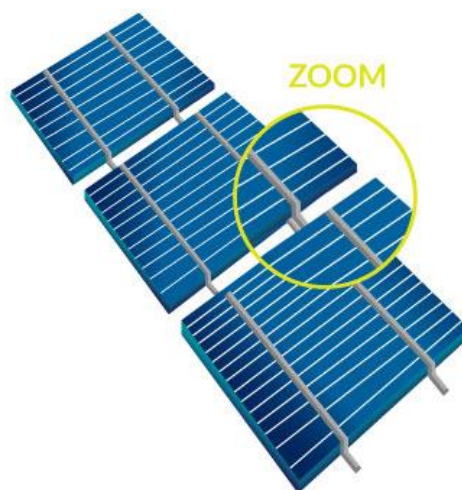
As células fotovoltaicas produzidas por duas camadas de material semicondutor, uma P e outra N, que através do efeito fotovoltaico já explicitado anteriormente, converte a radiação solar em energia elétrica. Através da adição de matérias dopantes ou impurezas, a propriedade do semicondutor pode ser alterada. Assim acontece com os do tipo P e N em que respectivamente, um apresenta falta de elétrons e o outro possui excedentes. A partir do momento que a célula recebe a luz solar, os elétrons da camada N vencem a barreira de potencial e migram para a camada P. Caso exista um caminho fechado uma corrente elétrica é gerada, do contrário irá surgir uma tensão de valor aproximado de 0,6 V (volts). A Figura 20 apresenta um semicondutor exposto a luz produzindo corrente (VILLALVA, 2012, p. 68).

Figura 20- Semicondutor com camada P e N (VILLALVA, 2012, p. 67)



O conjunto de células fotovoltaicas formam um módulo fotovoltaico. Geralmente as células são ligadas em série para produzir tensões maiores, localizadas sobre uma estrutura ligada eletricamente. A ligação é simples, o terminal superior de uma célula é ligado ao terminal inferior da célula subsequente.

Figura 21 - Células fotovoltaicas ligadas em serie (BLUESOL, 2016)



Os painéis fotovoltaicos de silício cristalino fornecem, aproximadamente tensão máxima de 37 V e corrente elétrica de 8 A (ampère), e produzem potência entre 50 e 250 W. Já os módulos de filmes fino, apresentam tensões máximas aproximadas de até 70 V e produzem potência entre 50 e 100 W, no entanto as suas correntes de saída são pequenas. Para viabilizá-los, são necessários grandes

números de módulos, para atingir uma produção de energia desejada. O módulo de silício cristalino é formado por um conjunto de células discretas, diferente do módulo de filme fino que é formado por uma única célula (VILLALVA, 2012, p. 75).

Figura 22 - Módulo fotovoltaico de silício cristalino (*DIRECTINDUSTRY, 2020*)

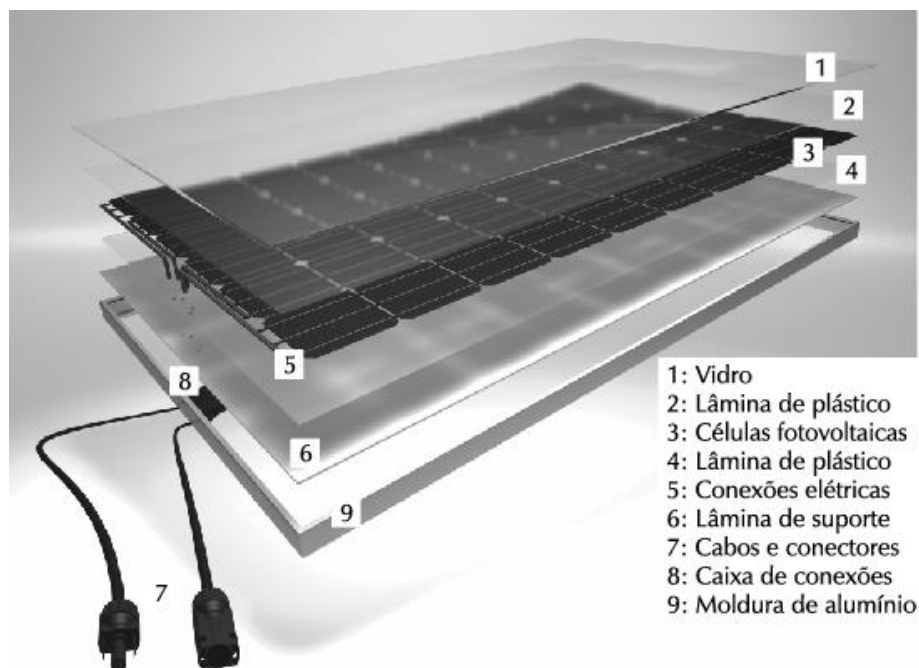


Figura 23 - Módulo fotovoltaico de filme fino (*SOLARMAGAZINE, 2020*)



O módulo de silício policristalino possui menor custo de produção, no entanto apresenta uma eficiência menor que o monocristalino.

Figura 24 - Componentes de um painel fotovoltaico (BOSCH, 2011)



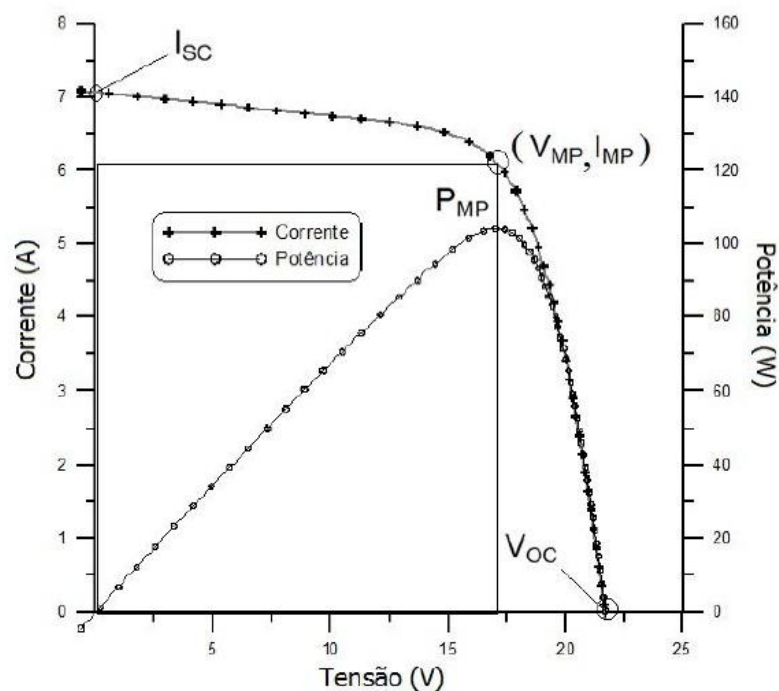
2.3.1. Característica dos módulos

Uma das formas de identificar um módulo fotovoltaico é através da sua potência de pico (Wp). Essa definição de potência de pico é feita nas condições padronizadas de teste STC (*Standard Test Conditions*), em que considera-se a irradiância de 1000 W/m^2 sob uma distribuição espectral padrão para AM1,5 e temperatura de célula de 25°C (CRESESB, 2014).

A tensão observada em um módulo com os terminais abertos é chamada de tensão de circuito aberto V_{oc} (OC do inglês *Open Circuit*). Quando um amperímetro é conectado nos terminais do módulo, aparece uma corrente de curto-circuito I_{sc} (SC do inglês *Short Circuit*). A V_{oc} é essencial no dimensionamento de um sistema fotovoltaico, já que as tensões máximas de inversores, controladores de carga e outros componentes do projeto devem ser respeitadas. A I_{sc} também tem sua importância no dimensionamento, já que ela indica, ao receber 1000 W/m^2 de radiação solar, a máxima corrente que o módulo poderá fornecer nessa condição específica. (VILLALVA, 2012, p. 84)

Bastante comum para determinar as características de um módulo, é através de um ensaio submetido as condições padronizadas de teste. Em que uma fonte de tensão variável é conectada e uma varredura de uma tensão negativa de poucos volts (em relação aos terminais do módulo) até uma tensão superior a V_{oc} é realizada. A partir do registro das tensões e correntes durante a varredura, uma curva característica I-V é traçada (CRESESB, 2014, p. 146). A seguir tem-se a Figura 27, que representa essa curva:

Figura 25- Curva de potência P-V e curva característica I-V, para um módulo com potência nominal de 100 Wp (CRESESB, 2014, p. 147)



Vale lembrar que um módulo fotovoltaico fornece somente os valores de tensão, corrente e potência presentes na sua curva característica. Além da curva I-V, a Figura 25 apresenta a curva P-V. Da mesma forma que para cada ponto na curva I-V tem-se uma potência gerada para essa condição, na curva P-V existe o ponto de máxima potência P_{MP} , que possui um correspondente na curva de corrente por tensão, representados na curva por V_{MP} e I_{MP} , que são, respectivamente, tensão e corrente de máxima potência. O módulo que, idealmente, trabalha nessa situação tem uma produção de energia maior.

O ponto de máxima potência corresponde, então, ao produto da tensão de máxima potência V_{MP} e corrente de máxima potência I_{MP} . Os valores P_{MP} , V_{MP} , I_{MP} , V_{oc} e I_{sc} são os cinco parâmetros que especificam o módulo sob dadas condições de radiação, temperatura de operação de célula e massa de ar (CRESESB, 2014, p. 147).

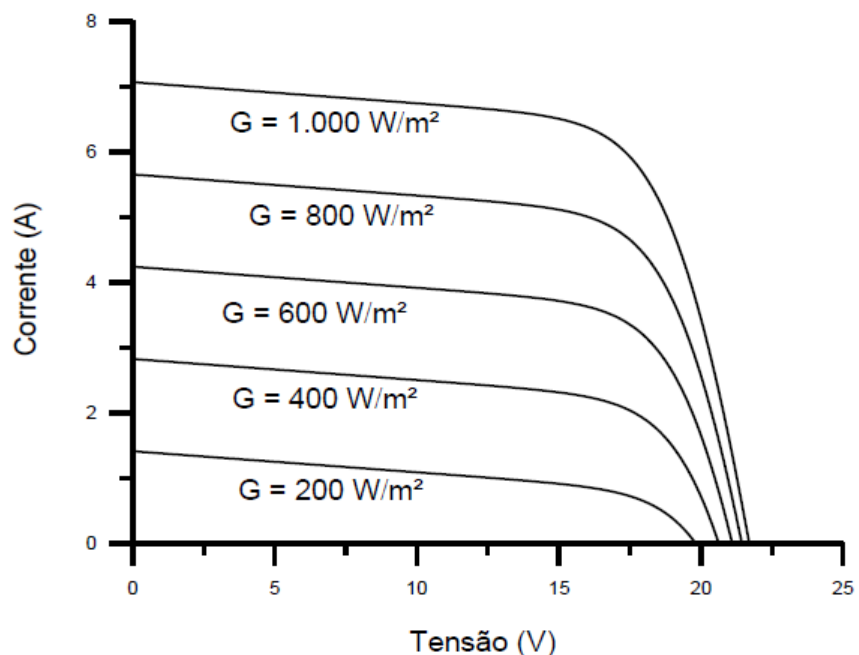
Os módulos fotovoltaicos, antes de chegarem ao mercado, são certificados e avaliados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). Em seguida recebem o selo do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), que indica a classe de eficiência do módulo. Geralmente, a eficiência do módulo é mencionada pelo fabricante, no entanto pode ser facilmente calculada. A eficiência do módulo (η_p), assim como a da célula fotovoltaica é obtida pela equação (4):

$$\eta_p = \frac{P_{MAX}}{A_p * 1000 \text{ W/m}^2} \quad (4)$$

P_{MAX} representa a potência máxima do módulo [W], A_p é a área do módulo [m^2] e o número 1000 W/m^2 é a radiação solar em STC.

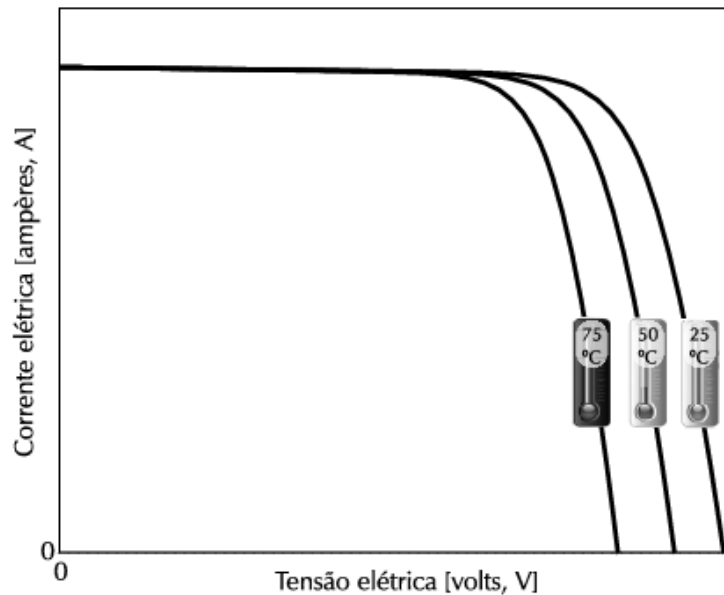
A corrente elétrica gerada pelo módulo depende diretamente de irradiância solar, logo com uma temperatura de 25°C e uma irradiância de 1000 W/m^2 , o módulo fornecerá a corrente máxima específica. A Figura 26 representa o efeito causado pela variação da irradiância sobre a curva característica I-V de um módulo fotovoltaico de silício cristalino:

Figura 26 - Influência da radiação solar na operação de um módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino a 25°C (CRESESB, 2014, p. 149).



As características de um módulo fotovoltaico irão variar de acordo com a sua temperatura. Com o aumento da temperatura, a tensão sofre uma queda considerável e a corrente quase não se altera, como mostrado na Figura 27. Dessa forma a potência fornecida pelo módulo diminui.

Figura 27 - Influência da temperatura no módulo (VILLALVA, 2012, p. 80)



Usualmente o módulo não opera dentro das condições de STC, logo as normas exigem que seja definido uma temperatura nominal para a sua operação. Na folha de dados, consta as características elétricas na condição NOCT (*Normal Operation Cell Temperature*) que representa a temperatura normal de operação da célula. O módulo em circuito aberto, é submetido a uma irradiância de 800 W/m², em um ambiente com temperatura do ar de 20°C e vento de 1 m/s. Essa temperatura nominal geralmente se encontra entre 40°C e 50°C (CRESESB, 2014, p. 152).

Os módulos comercializados no Brasil devem apresentar a etiqueta do INMETRO com as informações técnicas, como a da Tabela 2:

Tabela 2 - Informações técnicas na etiqueta do módulo. (CRESESB, 2014)

Informação	Significado ou Importância da informação
Nome do fabricante	Identificação do responsável pela qualidade do módulo
Identificação do modelo	Pelo modelo pode-se identificar a folha de dados técnicos com informações

	sobre a garantia a tecnologia, potência e tolerância
Número de série	O número de série é obrigatório para registro, qualificação, rastreabilidade e garantia do produto
Tensão máxima do sistema	Indica o maior valor de tensão de circuito aberto de um arranjo onde o módulo pode ser instalado
Tensão de circuito aberto (Voc)	Multiplicando-se Voc de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Voc do arranjo
Corrente de curto-circuito (Isc)	Multiplicando-se Isc de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Isc do arranjo
Tensão de máxima potência (Vmp)	Multiplicando-se Vmp de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Vmp nominal do arranjo
Corrente de máxima potência (Imp)	Multiplicando-se Imp de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Imp nominal do arranjo
Potência nas condições-padrão de ensaio (STC)	Potência máxima nominal do módulo nas condições de irradiância de 1.000 W/m ² , espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C

2.3.2. Conjuntos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em série ou paralelo, de acordo com a necessidade da instalação. Strings são conjuntos de módulos ligados em série, geralmente usados em sistemas fotovoltaicos ligados a rede, onde operam com tensões mais elevadas. E os conjuntos em paralelos operam em tensões baixas, comum em sistemas autônomos. A Figura 30 representa uma string de três módulos em série, nesse tipo de conjunto a tensão de saída é a soma das tensões fornecidas por cada módulo. E na Figura 31 é mostrada a curva para três módulos em paralelo, em que a corrente de saída é a soma das correntes fornecidas por cada painel.

Figura 28 - Curva característica de três módulos em série (Adaptado) (ELETRICISTACONSCIENTE, 2017)

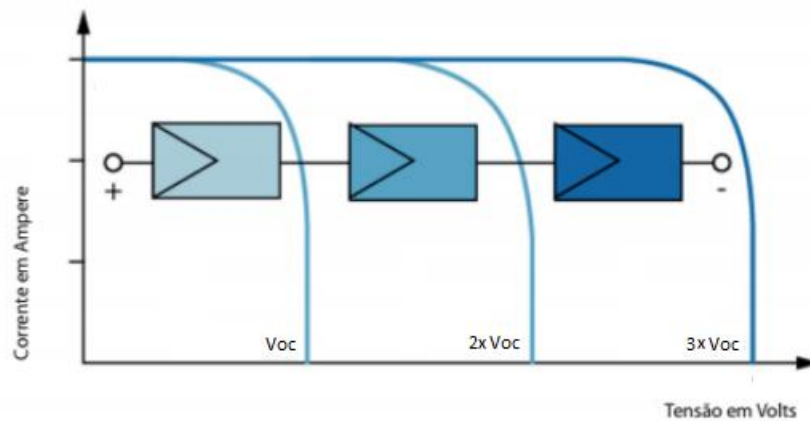
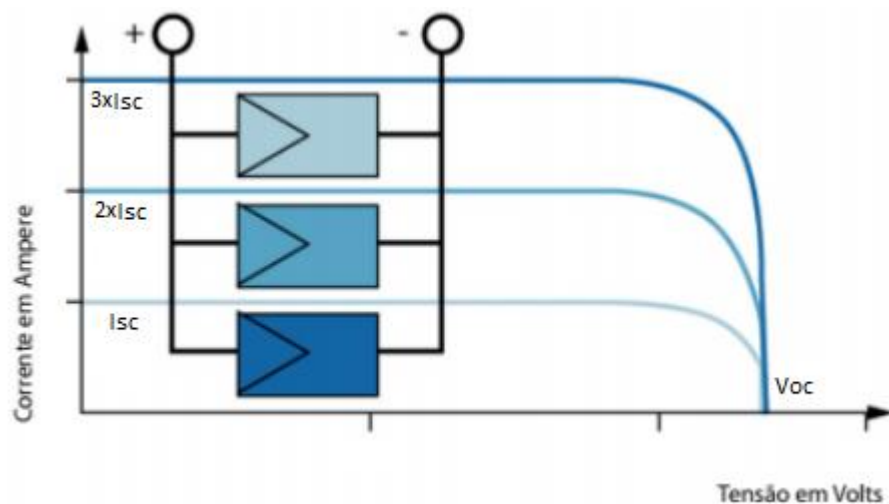


Figura 29 - Curva característica de três módulos em paralelo (Adaptado) (ELETRICISTACONSCIENTE, 2017)



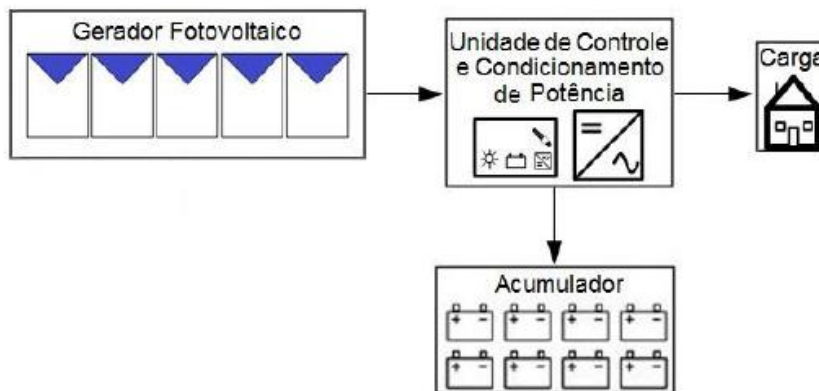
2.3.3. Sistemas fotovoltaicos autônomos

Os sistemas fotovoltaicos autônomos também conhecidos por Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFIs), geralmente necessitam de algum tipo de armazenamento, como baterias ou outras formas. São utilizados em localidades não atendidas pela rede elétrica ou para manter algum equipamento específico fora da rede.

Uma forma de substituir os geradores a diesel, que emitem poluição e ruídos, os SFIs são fontes renováveis de energia, não utilizam de combustível para

seu funcionamento e não emitem poluição. São empregados em estações meteorológicas, satélites, iluminação pública, entre outras.

Figura 30 – Configuração de sistema fotovoltaico autônomo básico (CRESESB, 2014, p. 256)



Esse tipo de sistema é composto por uma placa fotovoltaica ou um arranjo, uma bateria, um controlador de carga. Caso seja necessária uma saída em corrente alternada (CA), um inversor é utilizado. O inversor tem a função de transformar a corrente e tensão contínua (CC) produzida pelo módulo empregado, em alternada para as cargas conectadas. Será detalhado no próximo tópico desse trabalho de conclusão de curso.

Figura 31 - Inversor para SFI, JAY ENERGY (ENERGYSHOP, 2019).



A bateria, como informado anteriormente, tem a função de armazenamento. Assim ela garante o abastecimento do sistema, seja em dias nublados ou períodos da noite. Uma forma de prolongar a vida útil da bateria é através

de um controlador de carga, que tem a função de controlar o fluxo de energia que entra e sai, dessa forma a bateria fica protegida a sobrecargas e descargas excessivas. Alguns controladores possuem o rastreamento de ponto de máxima potência do módulo (MPPT).

Figura 32 - Bateria estacionária, Moura Solar (NEOSOLAR, 2020)



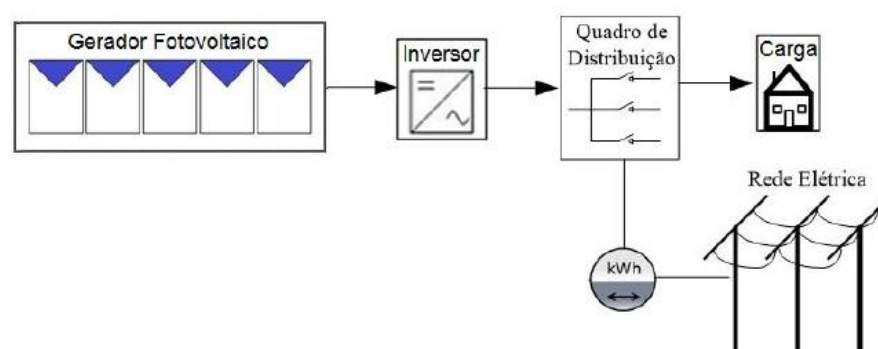
Figura 33 - Controlador de carga MPPT, Epever Triron. (NEOSOLAR, 2020)



2.3.4. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Foco principal do trabalho em questão, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCD), operam em paralelo com a rede de eletricidade. Diferente dos SFIs, não utilizam de acumuladores, uma vez que a energia gerada é consumida no momento ou injetada na rede elétrica.

Figura 34 - Configuração de sistema fotovoltaico básico conectado à rede (CRESESB, 2014, p. 257)



As usinas de geração fotovoltaicas são formadas por grandes arranjos de painéis para a produção de energia elétrica em grande escala. Diferente da geração distribuída, em que a energia é gerada no local de consumo, as usinas solares fornecem grande quantidade de energia e de forma centralizada assim como qualquer outra usina. Dessa forma o uso de transformadores e linhas de transmissões são essenciais.

Figura 35 - Usina de geração fotovoltaica, Piauí (PIAUIHOJE)



Principalmente em comércios e indústrias, os sistemas de minigeração fotovoltaica são aplicados. Tem como objetivo suprir a demanda total ou parcial, a fim de economizar com o consumo de energia e em alguns casos melhorar a imagem da empresa em termos de sustentabilidade. Na Figura 36 pode-se observar um exemplo de minigeração:

Figura 36 - Minigeração fotovoltaico instalado na cidade de Biguaçu/Santa Catarina (EGNEX)

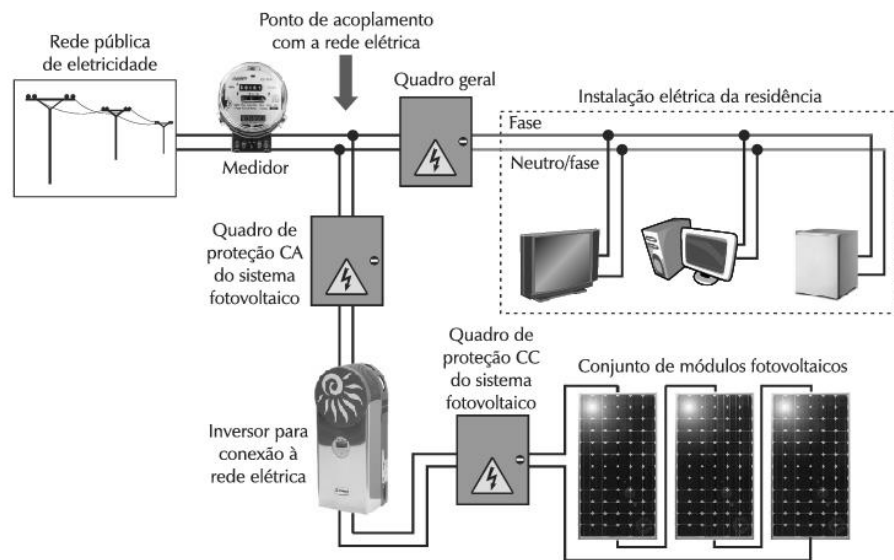


Com potência instalada de até 75 kW, os sistemas de microgeração fotovoltaica são comuns em residências. Nesse tipo de aplicação, o sistema é capaz de suprir a demanda da casa e o excedente é injetado na rede, gerando créditos que podem ser descontados seguindo as normas.

Figura 37 - Sistema de microgeração fotovoltaica (BLUESOL, 2016)



Figura 38 – Componentes de um sistema fotovoltaico residencial (VILLALVA, 2012, p. 153)



No SFCR existe a tarifação *net metering*, ou medida da energia líquida. Funciona como um sistema de compensação de energia, em que a energia gerada por uma micro e minigeração que não for consumida por ela, será injetada na rede elétrica e será “armazenada” na forma de crédito de energia. A conta de energia de uma residência que possui o sistema fotovoltaico, ao final do mês apresenta a diferença entre o que foi consumido e a gerada. O crédito de energia não pode ser revertido em dinheiro, no entanto pode ser utilizado para abater o consumo, dos meses subsequentes ou em outra unidade com a mesma titularidade e área de concessão.

Na conta de energia também consta o custo de disponibilidade. Essa taxa mínima está regulamentada pela ANEEL através da resolução nº 414 de 2010. Mesmo a residência com SFCR suprindo 100% do consumo, deve pagar a taxa mínima, uma vez que o sistema está ligado diretamente com o SIN.

Art. 98. O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B (baixa tensão), é o valor em moeda corrente equivalente a: I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores; II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou III – 100 kWh, se trifásico (ANEEL, 2010).

A resolução 482/2012 da ANEEL foi um marco para a geração distribuída, sofrendo diversas alterações ao decorrer do tempo. Em março de 2016, a resolução 687/2015 entra em vigor, juntamente com o módulo 3 PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), melhorando de forma significativa o mercado de energia, regulamentado pela 482. Antes o período de processo para a aprovação do sistema fotovoltaico feito pela concessionária era de 82 dias, e com a resolução 687 passou a ser 34. O prazo de uso do crédito de energia foi alterado de 36 para 60 meses. Outra resolução da ANEEL de extrema importância é a 569/2013, em que as unidades do consumidoras do grupo B que possuem o sistema fotovoltaico não podem ser cobradas pelo excedente de reativos, pois o fator de potência é baixo.

Outro componente do sistema SFCR é o inversor. Trata-se de um dispositivo eletrônico que fornece corrente alternada a partir de uma corrente contínua, diferente do inversor do SFI em que a conversão acontece na tensão. O inversor do sistema fotovoltaico conectado à rede possui o mesmo princípio de funcionamento, no entanto ele deve atender exigências que a concessionária de energia especificar. Os inversores dos SFCR são projetados para não operarem sem a alimentação da rede. Caso aconteça alguma falha de alimentação pelo lado da concessionária ele desliga, protegendo o sistema fotovoltaico. Essa função é chamada de detecção de ilhamento.

O inversor CC-CA em seu funcionamento possui um sistema eletrônico avançado que permite que ele funcione como uma fonte de corrente. Sua qualidade e conseqüentemente seu custo, de forma geral é definido pela forma de onda em sua saída. Essa forma de onda está ligada ao método de conversão e filtragem do inversor para eliminar as harmônicas indesejáveis. (CRESESB, 2014)

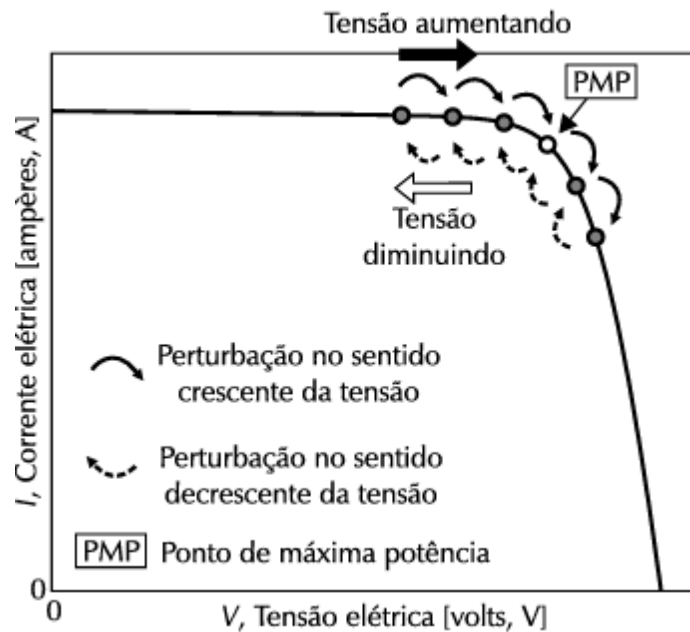
Figura 39 - Inversor solar fotovoltaico “on grid” Growatt. (ALDO, 2020)



Os inversores possuem algumas características que geralmente são indicadas pelos fabricantes. Como a faixa útil de tensão contínua de entrada, que representa o intervalo de tensão de entrada (lado CC) em que o inversor consegue operar, essa mesma faixa de tensão é onde o sistema MPPT trabalha. A tensão contínua máxima na entrada é o valor da tensão máxima que o equipamento suporta na sua entrada, nesse caso está relacionado a tensão de circuito aberto V_{oc} que foi indicada anteriormente. Também é comum constar o número máximo de strings na entrada, isso significa que um inversor possuiu um número limitado de entradas para strings que fornecem a tensão necessária de trabalho. Outras características são indicadas pelo fabricante como: potência de corrente contínua na entrada, potência de corrente alternada na saída, rendimento, entre outros.

Todos os inversores possuem o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Esse sistema de rastreamento do ponto de máxima potência “força” os módulos a operarem no ponto de máxima potência, independente das condições de operação. No funcionamento normal de um sistema fotovoltaico, a temperatura e radiação solar sofrem alterações a todo instante, sendo assim o MPPT maximiza a produção de energia. A figura a seguir representa a perturbação do inversor na tensão na curva $I \times V$ do módulo para trabalhar no PMP:

Figura 40 - Curva IxV com perturbação da tensão pelo MPPT (VILLALVA, 2012)



Uma forma de ligar as strings de um sistema fotovoltaico é através das caixas de strings, e elas direcionam os cabos das strings em dois barramentos, negativo e positivo. De acordo com a norma da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) 60364 são usados fusíveis de strings nos condutores ativos. (VILLALVA, 2012).

Figura 41 - Caixa de string ABB (ALDO, 2020)



Outro tipo de proteção necessária no SFCR é o dispositivo de proteção de surto (DPS), que protege equipamentos e cabos de sobretensões provocadas por descargas atmosféricas.

Por fim o medidor de energia, que é ligado entre a rede elétrica e o disjuntor de entrada do quadro de proteção do lado CA do sistema. Tem a função de indicar a

produção de energia de todo o sistema fotovoltaico. Normalmente são vendidos modelos trifásicos e monofásicos.

Figura 42 - Medidor Bidirecional Smart Meter Fronius (ALDO, 2020)



2.4 Tarifa social

A Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) foi criada para conceder desconto na tarifa de energia aos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda. Surgiu com a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 e regulamentada pela Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010 e o Decreto nº 7.583, de 13 de outubro de 2011.

Para ter direito a esse benefício é necessário enquadrar em um dos tópicos a seguir (ANEEL, 2020):

- Famílias inscritas no Cadastro único para programas sociais do Governo Federal, com renda familiar mensal per capita menor ou igual a meio salário mínimo nacional no Cadastro Único;
- Idosos com 65 anos ou mais ou pessoas portadoras de deficiência, que recebam o BPC (Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social), baseados nos artigos 20 e 21 da Lei nº 8.742, de 7 de dezembro de 1993;
- Famílias com renda de até 3 salários mínimos inscritas no Cadastro Único que tenha portador de deficiência ou doença em que o

tratamento ou algum tipo procedimento requeira o uso continuado de instrumentos, aparelhos entre outros, que demandem o consumo de energia elétrica.

O Cadastro Único para programas sociais é um instrumento com a finalidade de identificar todas as famílias de baixa renda, renda mensal per capita de até meio salário mínimo ou renda familiar de até três salários mínimos, para inclusão em programas de assistência social.

Consumidores dentro da subclasse Residencial Baixa Renda são isentos do custeio da CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA. A CDE é um fundo setorial com o objetivo promover o desenvolvimento energético no Brasil. Ele custeia diversas políticas do setor elétrico como: concessão de descontos tarifários (baixa renda; rural; geração e consumo de energia de fontes incentivadas, etc.); universalização do serviço de energia elétrica em todo território; entre outros. Já o PROINFA é um fundo pago com finalidade de promover maior participação de fontes alternativas renováveis como: usinas eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

O desconto na tarifa de energia é mostrado na Tabela 3:

Tabela 3 - Tabela de desconto da tarifa de energia (ANEEL, 2010).

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto	Tarifa para aplicação da redução
de 0 a 30 kWh	65%	B1 subclasse baixa renda
de 31 kWh a 100 kWh	40%	
de 101 kWh a 220 kWh	10%	
a partir de 221 kWh	0%	

Já para as famílias quilombolas e indígenas também escritas no Cadastro único, o desconto máximo é de até 100% na tarifa, com um limite de consumo de 50kWh/mês.

Tabela 4 - Tabela de desconto da tarifa para quilombolas e indígenas (ANEEL, 2010).

Quilombola e Indígena		
Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto	Tarifa para aplicação da redução
de 0 a 50 kWh	100%	B1 subclasse baixa renda
de 51 kWh a 100 kWh	40%	
de 101 kWh a 220 kWh	10%	
a partir de 221 kWh	0%	

3. CÁLCULO E ANÁLISE FINANCEIRA

O tópico em questão tem como propósito: o cálculo de dimensionamento, análise financeira e do sistema. Para garantir a segurança da instalação e obter-se a melhor qualidade possível, as normas a seguir e as citadas anteriormente serão respeitadas:

- Norma ABNT NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão – Essa norma é muito conhecida pelos profissionais de instalações e estabelece os critérios para as instalações elétricas em baixa tensão. Pelo fato de ser uma norma do ano de 2004 não abrange o suficiente da questão fotovoltaica, dessa forma outras normas foram criadas.
- Norma ABNT NBR 16274:2014 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho – Esta norma estabelece a documentação e informações mínimas após a instalação do sistema “on grid”. Trata também dos critérios de inspeção, ensaios de comissionamentos e documentações necessárias para a operação correta do sistema e a segurança da instalação
- Norma ABNT NBR 16690:2019 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto - O objetivo dessa norma é estabelecer os requisitos de projetos das instalações de arranjos fotovoltaicos, dispositivos de proteção elétrica, condutores,

dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo. No entanto essa norma não inclui os dispositivos de armazenamento de energia e unidades de condicionamento de potência ou cargas.

- ABNT NBR 5419-1:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – De forma geral essa norma estabelece todos os requisitos para determinação de proteção contra descargas atmosféricas.
- NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade – Estabelece condições e requisitos mínimos com o objetivo a prevenção e medidas de controle de forma a garantir saúde e segurança dos trabalhadores que interagem com instalações elétricas e serviços com eletricidade de forma indireta ou direta.
- NR 35 – Trabalho em Altura – A norma define os requisitos e medidas mínimas de proteção para o trabalho em altura (considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 m, onde exista risco de queda) desde o planejamento e organização até a sua execução.

3.1 Consumo médio, localidade e recurso solar

O trabalho de conclusão de curso em questão tem como o objetivo avaliar o sistema fotovoltaico ligado à rede de uma residência de baixa renda. Será definido uma residência de baixa renda, monofásica e consumo médio anual de 220 kWh/mês. Esse estudo de caso, visa analisar uma residência dentro do valor máximo de consumo médio que apresenta desconto na TSEE, mostrado na Tabela 3.

Será considerada a localidade da região de Uberlândia no estado de Minas Gerais. Para efeito de cálculo as coordenadas utilizadas são Latitude 18°91" Sul e longitude 48°25" Oeste, representando a localização do campus Santa Monica da Universidade Federal de Uberlândia.

Conforme a Figura 19 a inclinação α dos módulos para melhor aproveitamento das horas de sol por dia é igual ao valor da latitude em graus. E a

direção do norte real será o resultado da subtração do norte apontado pela bússola por 21° (Minas Gerais) como mostrado na Figura 16.

$$\alpha = latitude = 18,91^\circ \cong 19^\circ \quad (5)$$

Agora para prosseguir com o dimensionamento é necessário obter o valor da irradiação na cidade de Uberlândia. Através do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais Volume 2 tem-se o valor de 5,3 kWh/m²/dia.

Tabela 5 - Dados da radiação solar global (kWh/m²/dia) por microrregiões de MG (CEMIG), adaptado

Microregião	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Januária	6	6,1	5,7	5,7	5,3	5,2	5,4	6	6,3	6,1	5,3	5,5	5,7
Janaúba	6,2	6,2	5,7	5,7	5,1	4,9	5,2	5,8	6,2	6,1	5,4	5,7	5,7
Montes Claros	5,9	6,1	5,5	5,5	5,1	5	5,2	5,7	6,1	5,9	5,2	5,4	5,6
Pirapora	5,7	6	5,5	5,5	5,2	5	5,1	5,7	6,1	6	5,2	5,3	5,5
Ituiutaba	5,5	5,7	5,5	5,5	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,9	5,9	5,6	5,5
Unaí	5,5	5,7	5,3	5,3	5,2	5,1	5,3	5,8	6,1	5,8	5	5,1	5,4
Paracatu	5,5	5,8	5,3	5,3	5,1	4,9	5	5,7	6	5,8	5,1	5,2	5,4
Frutal	5,5	5,8	5,5	5,5	4,7	4,5	4,6	5,4	5,6	5,9	5,9	5,7	5,4
Uberlândia	5,3	5,7	5,3	5,3	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,8	5,5	5,4	5,3
Três Marias	5,4	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,6	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Curvelo	5,5	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,5	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Bocaiúva	5,6	5,9	5,3	5,3	4,8	4,7	4,9	5,5	5,9	5,8	5	5,2	5,3
Uberaba	5,1	5,6	5,1	5,1	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,7	5,4	5,3	5,2
Sete Lagoas	5,4	5,9	5,2	5,2	4,8	4,6	4,7	5,4	5,7	5,7	5,1	5,1	5,2

Outra forma de obter a irradiação é por meio do *software* SunData, encontrado no site do CRESESB. Coloca-se o valor da latitude e longitude e a Tabela 6 é gerada:

Tabela 6 - SunData na região de Uberlândia (CRESESB, 2020)

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Uberlândia
Município: Uberlândia, MG - BRASIL
Latitude: 18,901° S
Longitude: 48,249° O
Distância do ponto de ref. (18,9113° S; 48,2622° O): 1,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,55	5,85	5,11	5,02	4,51	4,32	4,55	5,47	5,44	5,67	5,59	5,77	5,24	1,53
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	19° N	5,08	5,59	5,20	5,55	5,38	5,38	5,57	6,32	5,72	5,52	5,17	5,21	5,47	1,24
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,04	5,57	5,19	5,56	5,41	5,42	5,62	6,35	5,72	5,50	5,14	5,17	5,47	1,30
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	15° N	5,21	5,68	5,21	5,47	5,23	5,19	5,40	6,18	5,70	5,59	5,29	5,35	5,46	,99

Diferente do Atlas Solarimétrico o *software* mostra o valor da irradiação para diferentes inclinações, principalmente para a inclinação de 19° do estudo em questão. Para um melhor dimensionamento o valor da irradiação escolhido será o menor valor (pior caso, plano horizontal) 5.24 kWh/m².dia.

3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

As equações utilizadas no estudo proposto são apresentadas principalmente no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CRESESB, 2014) e também no Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações (VILLALVA, 2012).

Para o cálculo da potência necessária do microgerador para suprir a demanda escolhida que compõe o SFCR, utiliza-se a equação 6.

$$P_{FV} = \frac{E}{\overline{TD} \cdot HSP_{MA}} \quad (6)$$

Onde:

P_{FV} - Potência total dos módulos (W);

E - Consumo diário médio anual (Wh/dia);

HSP_{MA} – Média diária anual das HSP incidente no plano do painel (h)

TD - Taxa de desempenho (adimensional)

Obtém-se o consumo diário médio anual dividindo o consumo médio anual da residência por 30 dias. Vale lembrar que mesmo a residência cadastrada no TSEE ainda é cobrada o custo de disponibilidade, logo o consumo médio anual por mês será de 220 kWh/mês subtraído por 30 kWh/mês (Custo de disponibilidade para residência monofásica), que resulta o valor de 190 kWh/mês. Dessa forma tem-se o valor de E a partir da equação 7:

$$E = \frac{\left(\frac{190\text{kWh}}{\text{mês}}\right)}{30\text{dias}} \quad (7)$$
$$= 6,333 \text{ kWh/dia}$$

A grandeza Horas de Sol pleno (HSP) representa o número de horas que a irradiância solar permanece constante e igual a 1kW/m². Para obter HSP_{MA} basta dividir a irradiação do local por 1kW/m² como mostrado a seguir:

$$\begin{aligned}
 \text{HSP}_{\text{MA}} &= \frac{\left(5,24 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{dia}\right)}{\frac{1\text{kW}}{\text{m}^2}} \\
 &= 5,24 \text{ h/dia}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Já a taxa de desempenho é definida como a relação entre desempenho real do sistema sobre o máximo teórico possível. Nos SFCR (ventilados e não sombreados) tem-se uma TD entre 70 e 80% (no Brasil). Com esse parâmetro é possível considerar as perdas sob condições de operação real do sistema como, perdas devido à resistência dos conectores, por queda de tensão e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento entre outras. Dessa forma para esse trabalho de conclusão de curso o valor da TD escolhido será de 0,8.

Para obter a potência total dos módulos, basta substituir os valores definidos na Equação 6:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{FV}} &= ((6,333 \text{ kWh/dia})/0,8) \\
 &\quad / (5,24 \text{ h/dia}) \\
 &= 1,5107 \text{ kW}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Para suprir o consumo diário da residência é necessária uma potência de 1,5107 kW. A partir da potência diária calculada é feita a escolha do módulo a ser empregado. Devido ao preço no mercado e sua eficiência, o módulo escolhido será o Painel Solar Fotovoltaico 330W – OSDA – 72 células Silício Policristalino. A especificação completa está no Anexo A.

Figura 43 – Módulo fotovoltaico OSDA (NEOSOLAR, 2020)



Tabela 7 - Características elétricas do módulo OSDA. (NEOSOLAR)

ESPECIFICAÇÕES	
STC: irradiância 1000 W/m ² AM 1,5, temperatura do módulo de 25° C	
Pico de energia (Pmax)	330.00
Voltagem máxima de energia (Vmp)	37.26
Corrente máxima de energia (Imp)	8.86
Voltagem de circuito aberto (Voc)	44.72
Corrente de curto circuito (Isc)	9.57
Eficiência da célula (%)	18.65
Eficiência do módulo (%)	16.97

Para determinar o número de módulos (N°_M) necessários a compor o sistema, basta dividir a potência total dos módulos pela potência do módulo escolhido. Segue o cálculo abaixo:

$$N^{\circ}_M = \frac{1,5107 \text{ kW}}{330 \text{ W}} = 4,58 \quad (10)$$

Através da equação 10 percebe-se que é necessário um número de módulos maior que quatro, dessa forma o sistema será composto por 5 módulos

OSDA– 330W. A potência máxima gerado pelo sistema é calculada através do produto da potência do módulo pela quantidade de módulos.

$$P_{MG} = 330W * 5 = 1650W \quad (11)$$

3.3 Dimensionamento do inversor e dispositivos de proteção

A escolha do inversor é feita a partir da potência máxima gerada pelos módulos fotovoltaicos e suas características elétricas. Geralmente nos SFCRs os inversores ficam sujeitos a temperaturas elevadas. Dessa forma a potência do inversor a ser dimensionado deve ser igual ou superior a potência gerada pelos módulos (CRESESB, 2014).

No sistema dimensionado a potência máxima gerada é igual a 1650W, logo para esse SFCR será escolhido um inversor com potência maior que esse valor. A potência real gerada pelos módulos nem sempre terá o seu valor máximo, no entanto, a escolha de um inversor com potência maior permite que futuramente o sistema possa ser ampliado com a adição de novos painéis.

Para esse sistema será escolhido o inversor solar fotovoltaico *on grid* Ecos da Ecosolys de 2kW, devido a sua potência, preço no mercado, rendimento e confiabilidade da empresa. A Tabela 8 mostra as características do inversor e demais especificações encontram-se no Anexo B.

Figura 44- Inversor solar fotovoltaico on grid Ecosolys (ALDO, 2020)



Tabela 8 - Características do inversor Ecos 2000 (ALDO, 2020).

DADOS DE ENTRADA	ECOS 2000
Potência fotovoltaica nominal	2000 W
Tensão CC de partida	45 V
Máxima tensão CC	380 V
Corrente CC máxima	10A
Faixa de operação MPPT	125-380V
Quantidade de MPPT	1
Conector CC	Tipo MC4
DADOS DE SAÍDA	ECOS 2000
Potência nominal de saída	2000 W
Máxima potência CA	2200 W
Tensão nominal de saída	220 V
Corrente nominal de saída	9,0 A
Frequência nominal de saída	60 Hz
Eficiência	96,6%
THD	<0,5%
Faixa de operação CA	7,5~62Hz; 176~242Vca
Fator de potência	1
Conexão CA	Monofásica / bifásica

O SFCR da residência de baixa renda em questão terá uma string de cinco módulos ligados em série. Com isso a tensão máxima de saída (V_{MS}) será a soma das tensões de circuito aberto dos módulos.

$$V_{MS} = 5 * 44,72V = 223,6V \quad (12)$$

Verifica-se também se a tensão máxima de saída da string é menor que a tensão máxima contínua do inversor. De acordo com (VILLALVA, 2012) pode-se considerar um fator de segurança empírico de 10% da tensão de saída da string para um melhor dimensionamento.

$$1,1 * V_{MS} < 380V \quad (13)$$

$$1,1 * 223,6V < 380V \quad (14)$$

$$245,96V < 380V \quad (15)$$

Para verificar o número máximo de strings conectados em paralelo (N°_{MP}) no inversor, dividi-se a corrente máxima de entrada do inversor pela corrente gerada pelos módulos em condições padrão.

$$N^{\circ}_{MP} = \frac{10A}{9,57A} = 1,05 \quad (16)$$

Já para encontrar o número máximo de módulos (N°_{MI}) que o inversor Ecos 2kW suporta, basta dividir a potência do inversor pela máxima potência do módulo:

$$N^{\circ}_{MI} = \frac{2000W}{330W} = 6,06 \quad (17)$$

O resultado indica que a quantidade de módulos dimensionado está dentro do número máximo suportado pelo inversor.

Após a escolha do inversor será realizado o dimensionamento dos dispositivos de proteção necessários do sistema fotovoltaico ligado à rede.

Para a escolha do DPS utiliza-se a norma ABNT NBR IEC 61643, que aplica aos dispositivos para proteção de surto contra efeitos diretos e indiretos de descargas atmosféricas. O DPS deve apresentar tensão maior que a do sistema e menor que a tensão máxima suportada pelos equipamentos, desse modo será feita a escolha do DPS no lado CA de 275V (Figura 45) e dois DPS no lado CC de 600V (Figura 46).

Figura 45 – DPS VCL Front 275V CA classe II. (CLAMPER)



Figura 46 - DPS Clamper Solar CC (CLAMPER)



Para melhor segurança da instalação e para garantir a desconexão da geração fotovoltaica durante algum procedimento de manutenção de rede será utilizada uma chave seccionadora de 2 polos CC 600V – 30 A. Ainda do lado CC do sistema, será dimensionado dois fusíveis para proteção de sobrecorrente. Através da equação 18 será escolhido o fusível apropriado, onde I_F [A] é a corrente nominal do fusível, I_R [A] a corrente reversa suportada pelo módulo e I_{SC} [A] a corrente de curto-circuito na STC

$$1,1 * I_{SC} \leq I_F \leq I_R \quad (18)$$

$$1,1 * 9,29A \leq I_F \leq 20A \quad (19)$$

$$10.22A \leq I_F \leq 20A \quad (20)$$

Para atender a equação 20 será feita a escolha de dois fusíveis de 15 A.

Figura 47 - Chave seccionadora bipolar Merz (PROAUTOMACAO)



Para o lado CA, por fim, será necessário um disjuntor, que tem a função de proteção contra sobrecorrente, corrente de curto-circuito e pode funcionar como elemento seccionador. Respeitando a corrente de saída do inversor o disjuntor monopolar escolhido será de 16 A.

Finalmente foi dimensionado o SFCR de uma residência de baixa renda definida. Alguns componentes não foram tratados, devido ao foco do trabalho em questão ou seu custo ser muito baixo comparado aos componentes principais. Vale ressaltar que, geralmente, o dimensionamento dos condutores é especificado pelo fabricante do módulo fotovoltaico.

Para a implementação desse sistema será necessária, uma área mínima no telhado de 9,72 m² para colocação dos painéis e um local adequado que possa armazenar o inversor (dimensões no Anexo B).

3.4 Análise financeira

Esse último tópico irá tratar a análise financeira do projeto dimensionado. Será realizado um comparativo da economia anual ($E_{CO_{R\$}}$), tempo de retorno simples (TRS), tempo de retorno descontado (TRD) e rentabilidade do projeto, para as tarifas B1 residencial baixa renda e B1 residencial normal. O referencial teórico utilizado para os cálculos financeiros é o livro “Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações, Eletrobrás/PROCEL 2016”. (ELTROBRÁS/PROCEL, 2006)

Primeiramente é feito o cálculo do custo dos equipamentos, como mostrado na Tabela 9. Onde todos os valores foram retirados de sites de compra de equipamentos:

Tabela 9 - Lista dos equipamentos

Equipamento	Preço	Qtd	Total
Painel Fotovoltaico OSDA 330W	R\$ 699,00	5	R\$ 3.495,00
Inversor Ecolys 2kW	R\$ 2.736,75	1	R\$ 2.736,75
DPS Clamper VCL Front 275V CA classe II	R\$ 42,00	1	R\$ 42,00
DPS Clamper Solar 600V CC classe II	R\$ 170,00	2	R\$ 340,00
Chave seccionadora Merz CC 600v	R\$ 180,00	1	R\$ 180,00
Fusível Suntree15A com porta fusível	R\$ 40,00	2	R\$ 80,00
Disjuntor monopolar Weg 16A	R\$ 6,99	1	R\$ 6,99
Total			R\$ 6.880,74

Fonte: Do Autor (2020)

O valor da mão de obra é cobrado sobre o valor do watt-pico. Em contato com três empresas solares na região de Uberlândia o valor aproximado informado foi de R\$1100,00. Logo o valor total do investimento (I) será de R\$ 7.980,74.

Para seguir com a análise financeira do projeto é necessário calcular a geração anual de energia do sistema. A equação 21 calcula a energia diária produzida por um módulo. Para encontrar a geração anual basta multiplicar pela quantidade de

módulos e por 365 (quantidade de dias em um ano). Para melhor resultado será considerado TD de 80% que indica as perdas dos módulos.

$$E_P = E_S * \eta_M * A_M \quad (21)$$

$$E_P = 5.24 * 0,1697 * 1,944 = 1,73 \text{ kWh/dia} \quad (22)$$

$$G_A = 5 * E_P * 365 \text{ dias} * 0.8 = 2.525,8 \text{ kWh} \quad (23)$$

Onde:

E_P – Energia produzida por um módulo (kWh/dia);

E_S – Insolação (kWh/m²/dia);

η_M – Rendimento do módulo;

A_M – Área do módulo (m²);

G_A – Geração anual (kWh);

Dessa forma a geração anual da residência será de 2.525,08 kWh. A partir desse valor será calculado a economia anual ($Eco_{1R\$}$) devido a geração fotovoltaica em que a tarifa utilizada será a da B1 – Residência baixa renda na faixa de consumo até 220 kWh com bandeira verde e $Eco_{2R\$}$ que será utilizada a tarifa B1 - Residencial normal bandeira verde para efeito comparativo.

Figura 48- Tarifa B1 residencial baixa renda (CEMIG)

B1 - RESIDENCIAL BAIXA RENDA	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH
Consumo mensal até 30 kWh (R\$/kWh)	0,19712	0,20181	0,21168	0,21896
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh (R\$/kWh)	0,33793	0,34597	0,36289	0,37537
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh)	0,50689	0,51895	0,54433	0,56305
Consumo mensal superior a 220 kWh (R\$/kWh)	0,56321	0,57661	0,60481	0,62561

Figura 49- Tarifa B1 residencial normal (CEMIG)

B1- RESIDENCIAL NORMAL	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,64463	0,65803	0,68623	0,70703

$$Eco_{R\$} = G_A \text{kWh} * \text{tarifaR\$/kWh} \quad (24)$$

$$Eco_{1R\$} = 2525,08 * 0,50689 = R\$1.279,93 \quad (25)$$

$$\text{com desconto de 10\%} = R\$1.151,937 \quad (26)$$

$$Eco_{2R\$} = 2525,08 * 0,64463 = R\$1.627,742$$

Finalmente com esses valores é possível calcular o tempo de retorno simples (TRS) do capital, onde é verificado a viabilidade econômica do projeto sem considerar o custo do capital, em outras palavras, a taxa de juros. É definido através da equação 27, trata-se da relação do valor do investimento (I) pelo valor da economia anual:

$$TRS = \frac{\text{investimento}}{Eco_{R\$}} \quad (27)$$

$$TRS_1 = \frac{7.980,74}{1.151,937} = 6,9 \text{ anos} \quad (28)$$

$$TRS_2 = \frac{7.980,74}{1.627,74} = 4,9 \text{ anos} \quad (29)$$

Para uma melhor avaliação econômica pode-se calcular o tempo de retorno descontado (TRD), em que a taxa de juros (i) considerada é o próprio custo do capital. A taxa de juros escolhida para o trabalho em questão, na situação em que o capital fosse investido em outro tipo de aplicação, será a taxa SELIC. A Taxa SELIC atual está em 2% ao ano, foi definida no dia 5 de agosto de 2020 pelo COPOM (Comitê de Política Monetária). Segue a equação para o cálculo do TRD:

$$TRD = -\left(\frac{\ln\left(1 - \left(\frac{\text{investimento}}{Eco_{R\$}}\right) * i\right)}{\ln(1 + i)}\right) \quad (30)$$

$$TRD_1 = - \left(\frac{\ln \left(1 - \left(\frac{7.980,74}{1.151,937} \right) * 0,02 \right)}{\ln(1 + 0,02)} \right) = 7,52 \text{ anos} \quad (31)$$

$$TRD_2 = - \left(\frac{\ln \left(1 - \left(\frac{7.980,74}{1.627,74} \right) * 0,02 \right)}{\ln(1 + 0,02)} \right) = 5,04 \text{ anos} \quad (32)$$

Por fim será calculado a rentabilidade do sistema fotovoltaico, segundo SOLAR (2017) o cálculo da rentabilidade é a relação da economia anual pelo valor do investimento:

$$RENTABILIDADE = \frac{Eco_{R\$}}{\text{investimento}} \quad (33)$$

$$RENTABILIDADE_1 = \frac{1.151,937}{7980,74} = 0,1443 = 14,43\% \quad (34)$$

$$RENTABILIDADE_2 = \frac{1.627,74}{7980,74} = 0,204 = 20,4\% \quad (35)$$

Para efeito comparativo a Tabela 10 representa o valor da rentabilidade anual de alguns investimentos, atualizada no dia 19 de novembro do ano de 2020. Comparado a rentabilidade do sistema dimensionado para os dois casos de tarifa, percebe-se que é um investimento rentável e muitas vezes maior que alguns investimentos convencionais.

Tabela 10 - Rentabilidades anuais (ECONOMIAS, 2020)

Indicadores	2020**	2019	2018
CDI	2,55%	5,97%	6,42%
SELIC	2,55%	5,97%	6,43%
Dólar (Bacen)	32,31%	4,02%	17,13%
Euro (Bacen)	39,40%	2,06%	11,83%
Dólar (Mercado)	33,00%	3,56%	16,91%
Euro (Mercado)	39,96%	1,35%	11,85%
Ibovespa	-7,76%	31,58%	15,03%
Ouro B3	55,84%	28,10%	16,93%
IGP-M***	21,57%	7,30%	7,53%
IPCA***	2,70%	4,31%	3,75%
Poupança nova*	1,99%	4,26%	4,62%
Poupança*	5,64%	6,17%	6,17%
Poup. nova + IR*	2,35%	5,01%	5,44%
Poupança + IR*	6,63%	7,26%	7,26%

4. CONCLUSÃO

O trabalho de conclusão de curso apresentou, a análise de um estudo de caso de um sistema fotovoltaico ligado à rede, em uma unidade consumidora de Subclasse Residencial Baixa Renda. Para efeito de cálculo, a localidade escolhida foi a cidade de Uberlândia - MG. Foi definido o consumo médio a partir do valor máximo de desconto da TSEE e dimensionado os principais elementos que compõe o SFCR.

O Brasil apresenta, praticamente em todo o seu território, condições favoráveis para a implementação de sistemas fotovoltaicos. Entretanto esse grande potencial não é aproveitado, geralmente o que impede, são os altos custos dos componentes do sistema, variação da energia produzida e rendimento dos módulos.

Para o trabalho em questão, sempre que possível foram utilizadas as piores condições de dimensionamento: irradiação no plano horizontal, maiores perdas na geração de energia, entre outros fatores. Com isso, a implementação do projeto poderá apresentar melhores resultados.

Assim, o trabalho proposto apresentou, um investimento de R\$ 7.980,74 incluindo a mão de obra e considerando somente os valores dos módulos, o inversor, e dispositivos de proteção e uma economia de R\$1.151,937 no primeiro ano. Ainda é um valor alto de investimento, principalmente para uma residência de baixa renda. No entanto foi verificado o tempo de retorno de capital simples e descontado, respectivamente de, 6,9 e 7,52 anos, considerando que a vida útil de um painel é de aproximadamente 25 anos, logo esse sistema apresenta uma ótima alternativa econômica. Além da produção de energia limpa o investimento no sistema fotovoltaico aponta, economia nas contas de energia e contribui para a geração distribuída, diminuindo os gastos com linhas de transmissão. O sistema dimensionado apresentou melhor rentabilidade que muitos investimentos no ano de 2020. E para o mesmo perfil de consumo, considerando a tarifa B1 residencial normal, a viabilidade econômica do projeto é ainda melhor.

Dessa forma o estudo de caso mostra que além da economia financeira e melhoria na qualidade de vida do consumidor, a implementação de sistemas fotovoltaicos em residências de baixa renda, pelo governo e Congresso poderá resultar uma grande economia nos fundos do CDE, afetando positivamente a economia de todas as pessoas do território brasileiro.

5. REFERÊNCIAS

ABSOLAR, 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/absolar-propoe-ao-governo-programa-de-energia-solar-vinculada-a-tarifa-social.html#:~:text=A%20ideia%20surgiu%20ap%C3%B3s%20o,mais%20de%20R%24%201%20bilh%C3%A3o.>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

ALDO, 2020. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ALPHAOMEGA. Disponível em: <<https://www.alphaomega-electronics.com/pt/sensores-e-sondas/835-lppyra03-kit-piranometro-de-radiacao-solar-global-wattsm2.html>>. Acesso em: 26 out. 2020.

ANEEL, 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2020.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ANEEL, 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifa-social-baixa-renda>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

AUTOR.

BLUESOL. **BlueSol**, 2016. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acesso em: 30 out. 2020.

BOSCH. **Installation and Safety Manual for the c-Si M60(S) NA 30117 and NA 42117**. [S.l.]: [s.n.], 2011.

CEMIG. Atlas Solarimétrico. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/atlas_solarimetrico.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

CEMIG. Novo Portal Cemig. Disponível em: <<https://novoportal.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CHPBRASIL. **Chpbrasil**, 2017. Disponível em: <<https://chpbrasil.com.br/solucoes/cogeracao-qualificada#:~:text=A%20cogera%C3%A7%C3%A3o%20qualificada%20%C3%A9%20um,e%20t%C3%A9rmica%20com%20g%C3%A1s%20natural.>>. Acesso em: 25 out. 2020.

CLAMPER. Disponível em: <<https://www.clamper.com.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CRESESB, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Revisada e Atualizada. ed. [S.l.]: [s.n.], 2014.

CRESESB. **SunData**, 2020. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

DIRECTINDUSTRY. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/hukseflux-thermal-sensors-bv/product-88003-1971044.html>>. Acesso em: 26 out. 2020.

DIRECTINDUSTRY. **Directindustry**, 2020. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/sunpower-corporation/product-54792-711671.html>>. Acesso em: 30 out. 2020.

DREAMSTIME, 2020. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ilustra%C3%A7%C3%A3o-stock-atmosfera-da-terra-e-radia%C3%A7%C3%A3o-solar-image98014897>>. Acesso em: 25 out. 2020.

ECONOMIAS, M. Indicadores Financeiros, 2020. Disponível em: <<http://minhaseconomias.com.br/indicadores-financeiros>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

EGNEX. Disponível em: <<https://egnex.com/portfolio-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 02 nov. 2020.

ELETRICISTACONSCIENTE, 2017. Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/2-celulas-e-modulos-fotovoltaicos/concepcao-aplicacao-e-funcionamento-de-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

ELTROBRÁS/PROCEL. **Conservação de Energia - Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. 3ª. ed. Itajubá: [s.n.], 2006.

ENERGYSHOP, 2019. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/inversor-solar/inversor-off-grid/inversor-off-grid-jay-energy-24vcc220vca-4000w?parceiro=9109&gclid=CjwKCAiA-f78BRBbEiwATKRRBA4IC4vVtwjzbKWfppyziqSt7voylv-_qoqUUYwXZMjMQvrXaiS5ZBoCiCcQAvD_BwE>. Acesso em: 01 nov. 2020.

EPE. **Fontes de Energia - Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>>. Acesso em: 22 Outubro 2019.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica - Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 22 Outubro 2019.

HIGIENE Egito. **Fascinio Egito.** Disponível em:
<<https://www.fascinioegito.sh06.com/higiene.htm>>. Acesso em: 17 Novembro 2019.

IEA. World Energy Outlook 2018, 2018. Disponível em:
<<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>>. Acesso em: 25 out. 2020.

INCENTIVESOLAR. **Incentivesolar**, 2018. Disponível em:
<<https://incentivesolar.com.br/geracao-distribuida/>>. Acesso em: 25 out. 2020.

INMET, 2010. Disponível em:
<<https://portal.inmet.gov.br/?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 27 out. 2020.

MECATRONSOLA. Geração Distribuída, 2020. Disponível em:
<<https://mecatronsolar.com.br/services/geracao-distribuida/>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

MME, 2006. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/11.+Efici%C3%A4ncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/c78f67e1-5db9-4188-b146-32239f714f1c;jsessionid=8DF321BC0071366ACE3A34939ACF40FE.srv155>>.
Acesso em: 18 Novembro 2019.

MME. Resenha Energética Brasileira, 2020. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2020/ab9143cc-b702-3700-d83a-65e76dc87a9e>>. Acesso em: 25 out. 2020.

NANOCELL, 2014. Disponível em: <<http://www.nanocell.org.br/wp-content/uploads/2014/09/>>. Acesso em: 26 out. 2020.

NEOSOLAR, 2020. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-moura-solar-12ms234-220ah.html?gclid=CjwKCAiA-f78BRbEiwATKRRBEmYeEZh4Avm-4t3xJTx2HaapWqBf4uHIFM2efCtk3R73gbdgQcriBoCL9AQAvD_BwE>. Acesso em: 01 nov. 2020.

NEOSOLAR. Datashet. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

PCE-INSTRUMENT. Disponível em: <https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-radiacion-solar-pce-instruments-medidor-de-radiaci_n-solar-pce-spm-1-det_388227.htm?_list=kat&_listpos=2>. Acesso em: 26 out. 2020.

PIAUIHOJE. Disponível em: <<https://piauihoje.com/noticias/ciencia-tecnologia/piaui-instala-a-maior-usina-de-energia-fotovoltaica-da-america-latina-85983.html>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

PROAUTOMACAO. Disponível em: <<https://www.proautomacao.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Cat%c3%a1logo-Fotovoltaico-4.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SETOR, E., 2017. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/sistema-solar-fotovoltaico-na-amazonia/>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

SOLAR, P., 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/consumidora-de-baixa-renda-reduz-conta-de-luz-com-uso-da-energia-solar.html>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

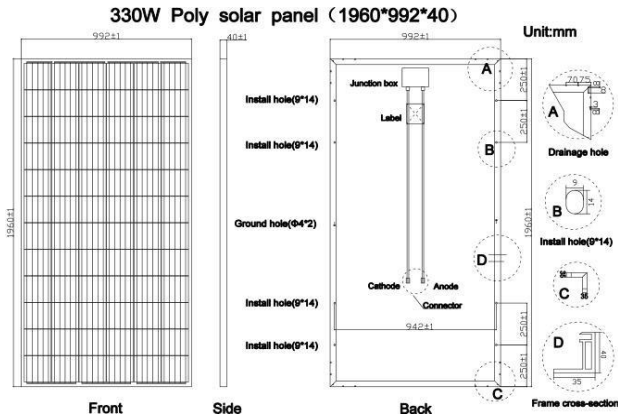
SOLAR, W., 2017. Disponível em: <<http://www.wasolar.com.br/tempo-de-retorno-do-investimento-em-energia-solar>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SOLARMAGAZINE, 2020. Disponível em: <<https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/>>. Acesso em: 30 out. 2020.

SOUSA, R. G. História do Banho. **História do Mundo**, 2019. Disponível em: <<https://www.historiadomundo.com.br/curiosidades/historia-do-banho.htm>>. Acesso em: 17 Novembro 2019.

TECH, E. **Energ Tech**, 2020. Disponível em: <<https://www.energytech.eco.br/coletor-solar-termico/>>. Acesso em: 25 out. 2020.

VILLALVA, M. G. **Energia solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações**. 2ª. ed. São Paulo: Érica, 2012.



Specifications

* STC: irradiance 1000 W/m², AM 1.5, G and cell temperature of 25°C

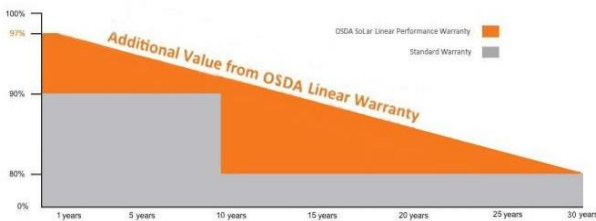
Peak Power(Pmax)	330.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	37.26
Maximum Power Current(Imp)	8.86
Open Circuit Voltage(Voc)	44.72
Short Circuit Current(Isc)	9.57
Cells Efficiency(%)	18.65
Module Efficiency(%)	16.97

* NOCT: irradiance 800 W/m², AM 1.5G, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Peak Power(Pmax)	245.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	34.28
Maximum Power Current(Imp)	7.15
Open Circuit Voltage(Voc)	41.15
Short Circuit Current(Isc)	7.72

Maximum System Voltage(V)	1000/1500
Maximum Series Fuse Rating(A)	20
Power Tolerance	0 ~ +3 %
Pmax Temperature Coefficients(W/°C)	-0.400 %
Voc Temperature Coefficients(V/°C)	-0.300 %
Isc Temperature Coefficients(A/°C)	+0.060 %
NOCT Nominal Operating Cell Temperature(°C)	45±2
Operating and Storage Temperature(°C)	-40 ~ +85

Warranty



12 YEARS

Guarantee on product material and workmanship

30 YEARS



Linear Power output warranty

Mechanical characteristics

Cell Type	156.75x156.75 Poly
No. of Cells	72(6x12)
Dimensions	1960x992x40
Weight	22.5kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP65/IP67
Output cables	4mm ² cable 90cm+mc4
MaxWind Load/Snow	2400Pa/5400Pa

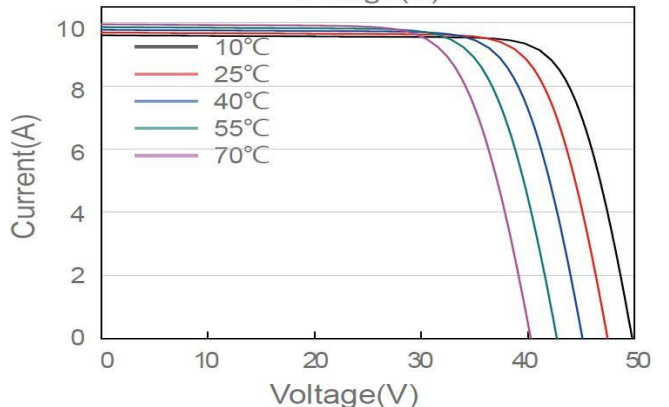
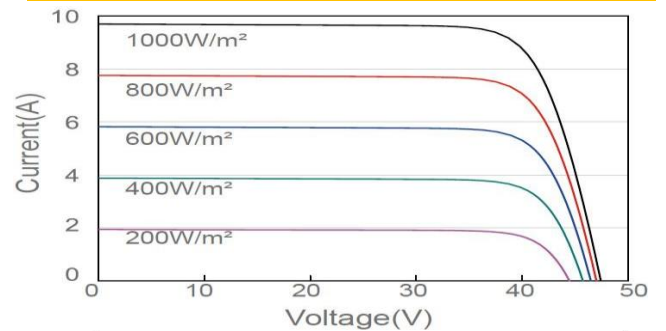
Packing list

20FT container	12 Packages/ 300pcs
40HQ container	24 Packages/720PCS

Product Standard

Product Performance	IEC61215
Product Safety	IEC61730

IV Cure



Anexo B



INVERSORES ECOS
Desenvolvidos e fabricados no Brasil.

ecoSolys

Características Técnicas

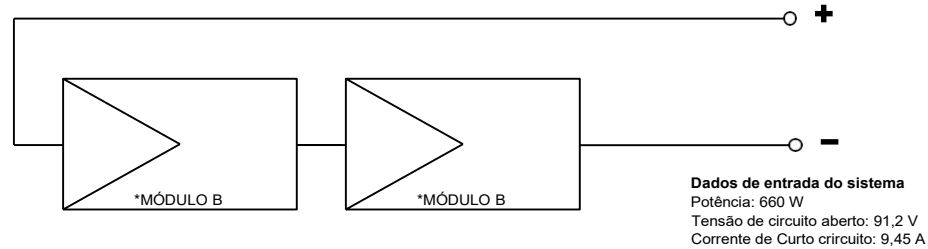
Dados de Entrada	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Potência fotovoltaica nominal	2000 W	3300 W	
Tensão CC de partida	45V	45V	
Máxima tensão CC	*	480V	
Corrente CC máxima	10A	10A	
Faixa de operação MPPT	*	125~380V	
Quantidade de MPPT	1	1	
Conector CC	Tipo MC4	Tipo MC4	
Dados de Saída	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Potência nominal de saída	2000 W	2000 W	
Máxima potência CA	2200 W	2200 W	
Tensão nominal de saída	220V	220V	
Corrente nominal de saída	9,0 A	9,0 A	
Frequência nominal de saída	60 Hz	60 Hz	
Eficiência	96,6%	96,6%	
THD	<0,5%	<0,5%	
Faixa de operação CA	7,5~62Hz ; 176~242Vca	7,5~62Hz ; 176~242Vca	
Fator de potência	1	1	
Conexão CA	Monofásica / bifásica	Monofásica / bifásica	
Dados Gerais	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Dimensões (l x a x p)	315X345X150 mm	315X345X150 mm	
Peso Líquido	9,3 Kg	9,3 Kg	
Temperatura de operação	°	°	
Montagem	Fixação na parede - acompanha suporte		
Grau de proteção	**		
Topologia	Sem transformador		
Garantia	5 anos - consulte os termos de garantia		
Normas Brasileiras	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		

* Tensão máxima para os equipamentos com versão acima de 2000. Equipamentos com versão inferior possuem tensão máxima de 340 V.

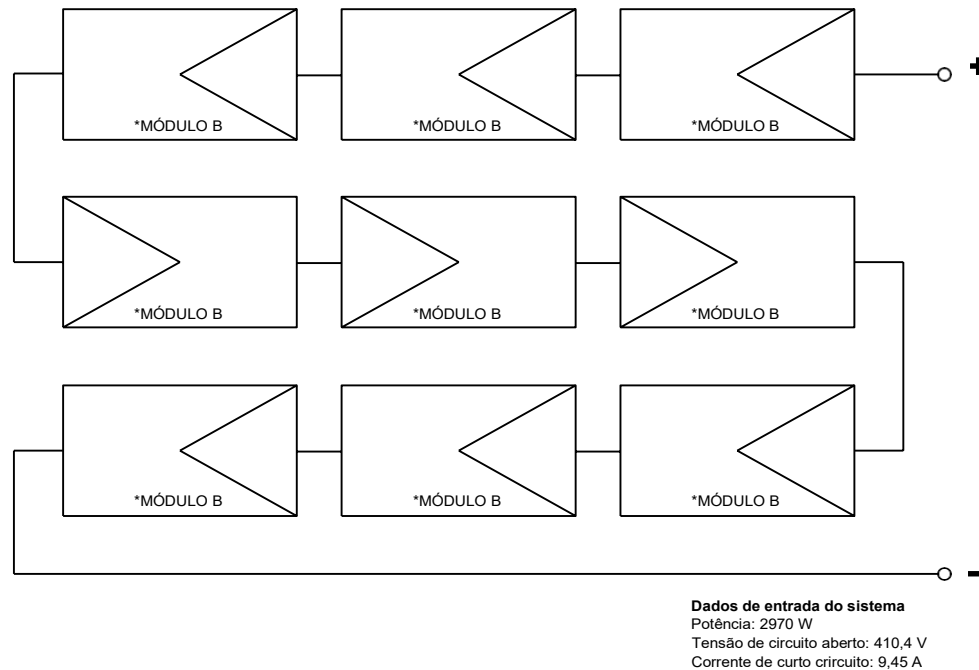
** De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529:2017.

CONFIGURAÇÕES DE ENTRADA INVERSOR 2K+ MÓDULOS DE 330 W

CONFIGURAÇÃO MÍNIMA PARA FUNCIONAMENTO DO INVERSOR 2K+ CONSIDERANDO MÓDULO B:



CONFIGURAÇÃO MÁXIMA PARA FUNCIONAMENTO DO INVERSOR 2K+ CONSIDERANDO MÓDULO B:



POSSÍVEIS ARRANJOS FOTOVOLTAICOS - MÓDULOS 330 W EM SÉRIE			
Quantidade de módulos	P _{máx} [W]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]
2	660	91,2	9,45
3	990	136,8	9,45
4	1320	182,4	9,45
5	1650	228,0	9,45
6	1980	273,6	9,45
7	2310	319,2	9,45
8	2640	364,8	9,45
9	2970	410,4	9,45

MÓDULO B:	
CARACTERÍSTICAS DE REFERÊNCIA:	
Potência nominal máx. (P _{máx}):	330 W
Tensão operacional ideal (V _{mp}):	37,2 V
Corrente operacional ideal (I _{mp}):	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc}):	45,6 V
Corrente de curto circuito (I _{sc}):	9,45 A

CARACTERÍSTICAS ENTRADA 2K+:	
Tensão CC de partida (V _{min}):	45 V
Máxima tensão CC (V _{máx}):	480 V
Corrente CC máx (I _{max}):	10 A

OBSERVAÇÃO:
Em localidades que a temperatura mínima é igual ou superior a 10°C pode-se utilizar a configuração de 10 módulos em série. Indica-se sempre fazer a análise da temperatura ambiente da instalação para configurações do limite da tensão de entrada do inversor.