



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GILBERSON LANDER DA SILVA VIEIRA

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO
DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Santarém - Pará
2018

GILBERSON LANDER DA SILVA VIEIRA

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO
DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada ao Programa de Ciência e Tecnologia do Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Nelson de Souza Amorim

**Santarém - Pará
2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

V657p Vieira, Gilberson Lander da Silva
Projeto de uma didática para ensino de geração de energia solar fotovoltaica / Gilberson Lander da Silva Vieira. – Santarém : UFOPA, 2018.
58 f.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Nelson de Souza Amorim
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Curso de Ciência e Tecnologia.

1. Painel solar. 2. Energia. 3. Fotovoltaica. I. Amorim, Nelson de Souza, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 621.47

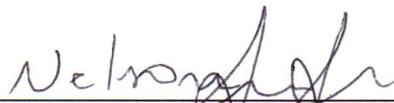
GILBERSON LANDER DA SILVA VIEIRA

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO
DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

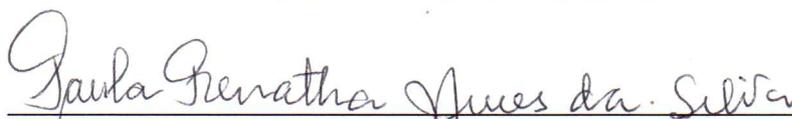
Monografia apresentada ao Programa de Ciência e Tecnologia do Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

DATA DA AVALIAÇÃO: 14 / 09 / 2018
CONCEITO: APROVADO

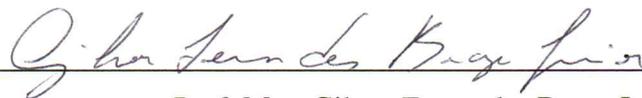
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eng. Nelson de Souza Amorim
Orientador – UFOPA//IEG/PCT



Prof^a. Msc. Paula Renatha Nunes da Silva
Membro – UFOPA/IEG/PCT



Prof. Msc. Gilson Fernandes Braga Junior
Membro – UFOPA/IEG/PCT

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, pela força e sabedoria a mim confiadas todos os dias, me guiando e iluminando em minha trajetória acadêmica, e por toda a minha vida.

À minha família, minha mãe Luciete Silva, meu pai Gilson Vieira, meus irmãos Lenon e Leandro, meu filho Luan e minha esposa Ana Clara, que sempre me ajudaram nas horas e momentos mais difíceis.

Ao Professor Nelson de Sousa Amorim pela orientação, extremamente importante para a realização desse trabalho de conclusão de curso.

Aos meus amigos de curso, Adebraldo, André Neves, João Pedro, Leonam, Luís, Marcelo e Valdeh, que sempre estiveram comigo nas horas de estudos, e pelo apoio durante o trabalho.

À empresa TSA indústria, especialmente ao Sr. Bruno Monteiro, a Srta Kaira, ao Sr. Ivanildo Campos, responsável pela confecção da bancada, os quais não mediram esforços para a realização deste projeto.

A todos os professores do curso, fundamentais na minha formação acadêmica, e que pude ter a honra de ser aluno.

RESUMO

A energia solar é uma fonte de energia proveniente do Sol, altamente importante para a humanidade, fonte vital para manutenção de toda a vida na Terra, ela é à base de todas as outras fontes geradoras de energias existentes. A energia solar fotovoltaica é uma das formas de utilização dessa fonte de energia, considerada limpa e renovável, transforma luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, ela busca substituir fontes poluentes de energia da matriz energética mundial, que prejudicam o meio ambiente e a atmosfera. Atualmente é verificado que a formação acadêmica nas universidades se baseia basicamente no ensino teórico, porém é importante ressaltar que os estudantes precisam de uma aplicação prática de algumas disciplinas que utilizarão na sua vida profissional ou em projetos de pesquisas. Nesse contexto o presente trabalho apresenta o desenvolvimento e construção de uma bancada didática para o ensino de geração de energia solar fotovoltaica. A bancada didática possui movimentos que simulam os ângulos de declinação solar, o ângulo horário e a variação angular do painel solar. Parâmetros importantes da geração de energia serão avaliados como, tensão elétrica, corrente elétrica, irradiação e temperatura, em função do movimento do Sol com relação aos movimentos angulares apresentados sobre o painel solar.

Palavras-chave: painel solar, energia, fotovoltaica.

ABSTRACT

Solar energy is a source of energy from the sun, which is highly important to mankind, a vital source for the maintenance of all life on Earth. It is the basis of all other sources of energy that exist. Photovoltaic solar energy is one of the ways of using this energy source, considered clean and renewable, transforms sunlight into electricity through the photovoltaic effect, it seeks to replace polluting sources of energy from the world energy matrix, which harm the environment and the atmosphere. Currently it is verified that the academic formation in the universities is basically based on theoretical education, but it is important to emphasize that the students need a practical application of some disciplines that they will use in their professional life or in research projects. In this context the present work presents the development and construction of a didactic bench for the teaching of photovoltaic solar energy generation. The didactic bench has movements that simulate the solar declination angles, the hour angle and the angular variation of the solar panel. Important parameters of the energy generation will be evaluated as, electric voltage, electric current, irradiation and temperature, as a function of the movement of the Sun in relation to the angular movements presented on the solar panel.

Key words: solar panel, energy, photovoltaic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação das fontes de energia disponíveis no mundo	11
Figura 2 – Espectro solar extraterrestre comparado ao espectro emitido por um corpo negro a 5778 K	12
Figura 3 – Distância percorrida pela luz solar até a Terra	13
Figura 4 – Movimento da Terra em torno do Sol	15
Figura 5 – Órbita terrestre inclinada $23,45^\circ$ ao longo de sua trajetória em torno do Sol, indicando as estações do ano no Hemisfério Sul	16
Figura 6 – Trajetória aparente do amanhecer do Sol durante o ano para o Hemisfério Sul ...	17
Figura 7 – Ilustração do ângulo de declinação solar para o Hemisfério Sul	18
Figura 8 – Trajetória do Sol e formação do ângulo zenital	18
Figura 9 – Relação dos ângulos θ_z , β , γ_s , γ , α , e θ formados entre o Sol em relação ao plano horizontal, e em relação à superfície inclinada.....	19
Figura 10 – Ângulos horários durante o dia	20
Figura 11 – Tipos de radiação solar	21
Figura 12 – (a) Efeito fotovoltaico. (b) Efeito fotoelétrico	22/23
Figura 13 – Princípio do funcionamento de uma célula fotovoltaica	24
Figura 14 – Ilustração dos ângulos formados entre a superfície e o Sol, e possíveis inclinações para captação do painel solar fotovoltaico	25
Figura 15 - Ilustração de uma bússola e como é possível encontrar o Norte Geográfico	26
Figura 16 – Projeto em 3D da estrutura da bancada didática	31
Figura 17 – Vista superior da bancada com especificações das dimensões do painel	32
Figura 18 – Vista lateral da bancada com especificações das dimensões da bancada e variações dos ângulos do painel	32
Figura 19 – Vista frontal da bancada com variações dos ângulos de declinação solar	33
Figura 20 – Representação do movimento do ângulo horário descrito pelo refletor	34
Figura 21 – Montagem dos tubos de sustentação e chapa de aço superior da bancada	35
Figura 22 – Montagem do arco de 180° ao eixo de movimento de declinação solar	36
Figura 23 – Montagem das ligações elétricas da bancada e painel solar fotovoltaico	36
Figura 24 – (a) Colocação dos adesivos de ângulos do painel e de declinação solar. (b) Demais adesivos necessários	37
Figura 25 – (a) Vista lateral da bancada. (b) Vista frontal da bancada didática	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os 10 países com maior capacidade instalada de geração fotovoltaica	28
Tabela 2 – Modelos e marcas de bancadas didáticas	30
Tabela 3 – Roteiro 1	41
Tabela 4 – Roteiro 2	42
Tabela 5 – Roteiro 3	44
Tabela 6 – Dados coletados no roteiro 1, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em 0° com luminosidade máxima	46
Tabela 7 – Dados coletados no roteiro 2, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $-23,45^{\circ}$ com luminosidade máxima	48
Tabela 8 – Dados coletados no roteiro 3, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $+23,45^{\circ}$ com luminosidade máxima	50
Tabela 9 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $+0^{\circ}$ com luminosidade mínima	52
Tabela 10 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $-23,45^{\circ}$ com luminosidade mínima	54
Tabela 11 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $+23,45^{\circ}$ com luminosidade mínima	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica no mundo	27
Gráfico 2 – Roteiro 1, movimento solar para os Equinócios de Outono e Primavera para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	47
Gráfico 3 – Roteiro 2, movimento solar para o Solstício de Verão para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	49
Gráfico 4 – Roteiro 3, movimento solar para o Solstício de Inverno o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	51
Gráfico 5 – Roteiro 4, movimento solar para os Equinócios de Outono e Primavera o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	53
Gráfico 6 – Roteiro 4, movimento solar para o Solstício de Verão para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	54/55
Gráfico 7 – Roteiro 4, movimento solar para o Solstício de Inverno para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	ENERGIA SOLAR	13
2.2	MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO DA TERRA	15
2.3	POSIÇÃO SOLAR EM RELAÇÃO À TERRA	16
2.4	RADIAÇÃO SOLAR QUE CHEGA A ATMOSFERA TERRESTRE	20
2.5	EFEITO FOTOVOLTAICO E FOTOELÉTRICO	22
2.6	CÉLULA FOTOVOLTAICA	23
2.7	INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	25
2.8	ENERGIA SOLAR NO MUNDO	26
2.9	ENERGIA SOLAR NO BRASIL	28
3	METODOLOGIA	30
3.1	TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS	30
3.2	PROJETO INICIAL	31
3.3	CONSTRUÇÃO DA BANCADA	35
3.4	ROTEIROS PROPOSTOS	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5	CONCLUSÃO	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

A energia solar é uma fonte de energia obtida através do calor e da luz do Sol, esta fonte é altamente disponível e considerada infinita em escala humana, sendo esta armazenada e utilizada por diversas tecnologias nos mais variados ramos e atividades, por exemplo, a energia solar fotovoltaica, energia heliotérmica e arquitetura solar. A energia solar é caracterizada como fonte de energia renovável e sustentável e é utilizada por uma pequena parte da população mundial. (PORTAL SOLAR, 2016).

A radiação solar é uma forma de derivação da energia na forma de luz solar, e é considerada altamente potencial se comparada às outras fontes de energia existentes, na Figura (1) se observa a sua grandeza em relação às demais reservas disponíveis anualmente e em relação às reservas finitas. Esse grande potencial é bem observado se verificarmos que a energia que o Sol lança em uma hora sobre a superfície terrestre se fosse absorvida de forma total, levaria um ano para toda a população mundial utilizar.



Figura 1 – Comparação das fontes de energia disponíveis no mundo. Fonte: PORTAL SOLAR (2016, p. 1).

A radiação solar absorvida pela nossa atmosfera está na forma de luz visível e de luz ultravioleta, e é utilizada diretamente pelas plantas para a realização da fotossíntese, onde apenas uma pequena fração da energia solar disponível é utilizada. O espectro da luz solar na superfície da Terra pode ser definido em toda a gama visível, infravermelho e uma pequena gama de radiação ultravioleta. (PROJETO FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO-PORTUGAL, 2014/2015). A Figura (2) mostra o espectro de luz extraterrestre comparado ao emitido por um corpo negro a 5778 K.

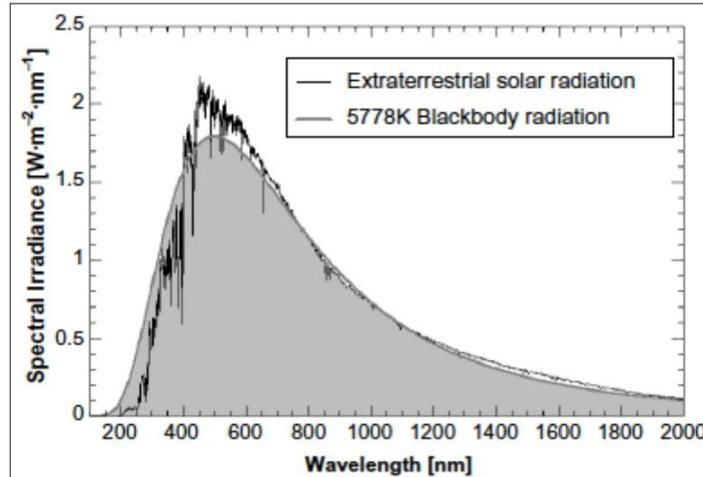


Figura 2 – Espectro solar extraterrestre comparado ao espectro emitido por um corpo negro a 5778 K. Fonte: CRAWLEY, G (2016).

A energia solar pode ser utilizada de inúmeras formas diferentes, variando também de acordo com o local da superfície da Terra em questão. Desta forma, de acordo com um estudo publicado em 2007 pelo Conselho Mundial da Energia, até o ano de 2100 70% da energia consumida será de origem solar. (PROJETO FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO-PORTUGAL, 2014/2015). Logo se verifica que essa fonte de energia está sendo preparada para complementar as outras matrizes energéticas mundiais.

É notório que essa fonte de energia é altamente promissora, logo o presente trabalho apresenta uma bancada didática para ensino de geração de energia solar fotovoltaica, com uma abordagem didática dos conhecimentos sobre esta energia, ao mesmo tempo, com características de uma mesa didática de estudos, contendo mecanismos que simulam os efeitos de radiação solar.

A bancada didática irá apresentar movimentos integrados de simulação dos ângulos que definem os Solstícios de Verão e Inverno, e dos Equinócios de Primavera e Outono, os ângulos horários, com objetivo de simular a radiação solar durante o dia e conseqüentemente na geração de eletricidade sobre o painel solar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR

O Sol é a principal estrela do nosso Sistema Solar e principal fonte de energia, ele é responsável pela manutenção de toda a vida na Terra, produz um campo magnético gigantesco ao longo de planetas, asteróides, estrelas e todos os corpos em movimento que compõem o nosso Sistema Solar. A energia que entra em nossa superfície chega como ondas eletromagnéticas (fótons), de maneira direta ou difusa. No Sol a energia é produzida a partir de reações termonucleares, em que quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, liberando toda a energia que ele produz. É estimado que o Sol possua uma reserva suficiente para produção dessas reações nucleares por mais 5 bilhões de anos.

A intensidade de luz solar leva pouco mais de oito minutos para percorrer do Sol até nosso planeta, e 35% dessa radiação são refletidas pelas nuvens, apenas 19% é absorvida pela atmosfera, a forma de luz visível é absorvida por plantas, vegetais e animais. A luz solar da origem ao ciclo d'água pelo processo de evaporação, ao ciclo do vento, bem como responsável pela fotossíntese, que é base de toda a cadeia alimentar para todos os seres vivos.

A Terra está em uma posição privilegiada no Sistema Solar, a uma distância de aproximadamente 150 milhões de quilômetros do Sol, como demonstrado na Figura (3). A radiação solar que chega a nossa atmosfera como luz e calor mantêm todas as formas de vida que dependem direta ou indiretamente desta fonte de energia.



Figura 3 – Distância percorrida pela luz solar até a Terra.

Fonte: RIOS (2017, figura adaptada).

A partir da fotossíntese se verificou que a energia solar poderia contribuir ainda mais, e ir além da reação química ocorrida nesse fenômeno. Assim Alexander Edmond Bequerel demonstrou em 1839 através de um experimento em seu laboratório que ao incidir luz em eletrólito verificou a produção de uma diferença de potencial entre as placas durante a incidência de luz, ou seja, o surgimento de uma tensão elétrica ocasionada pela radiação luminosa, denominada efeito fotovoltaico.

Em 1941, surge à primeira fotocélula de silício monocristalino, produzida por Ohl, no ano de 1954 surgiram às primeiras fotocélulas semelhantes às utilizadas hoje, mas com uma eficiência bem menor, cerca de 6%. Logo após o colapso mundial do petróleo que ocorreu na década de 70, houve uma intensa mobilização mundial na busca de novas formas de produção de energia, através das fontes renováveis, buscando diminuir a injeção de poluentes na atmosfera.

Atualmente a energia solar direta se divide em cinco blocos de acordo com o Relatório de fontes renováveis de energia e mitigação da mudança climática de 2009 pela IPCC (*Intergovernmental Plane on Climate Change*), que são:

- Solar Passiva (Arquitetura Bioclimática);
- Solar Ativa (Aquecimento e Refrigeração Solares);
- Solar Fotovoltaica (Transformação da luz solar em eletricidade);
- Geração de Energia com concentradores em altas temperaturas;
- Processo bioinspirado de quebra de moléculas de água para se obter hidrogênio.

2.2 MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO DA TERRA

A Terra possui uma trajetória elíptica em torno do Sol e possui uma pequena excentricidade ($\epsilon \approx 0,017$), esse deslocamento em torno do Sol é descrito como translação e tem duração de 365 dias, (e a cada quatro anos 366 dias), esse movimento determina as estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), e a proximidade que determinado hemisfério da Terra está em relação ao Sol, fazendo que a intensidade de radiação solar seja maior ou menor em determinado momento do ano. O movimento que a Terra dá em seu próprio eixo é descrito como rotação e tem duração de aproximadamente 24 horas, esse movimento nos dá a sensação de dia e noite, é observado que ocorre um deslocamento do Sol no sentido leste para oeste, para o observador no plano terrestre. Os movimentos de rotação e translação são executados simultaneamente em torno do Sol, segundo a Figura (4).

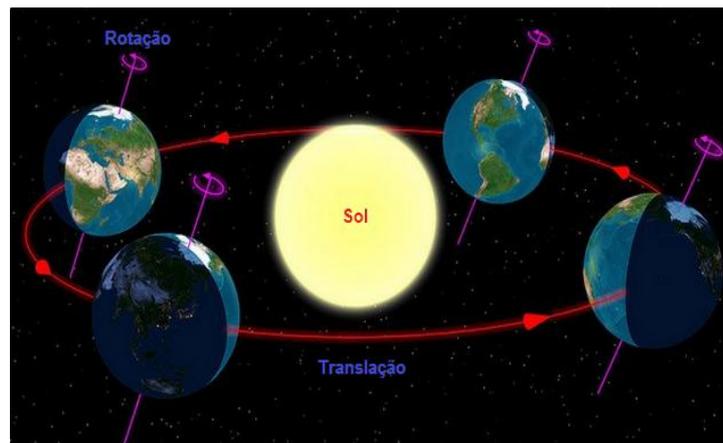


Figura 4 – Movimento da Terra em torno do Sol.

Fonte: CRESESB (2014, figura adaptada).

2.3 POSIÇÃO SOLAR EM RELAÇÃO À TERRA

Quanto a posição solar em relação à Terra, verifica-se a existência de um plano inclinado de aproximadamente $23,45^\circ$ ao longo da trajetória elíptica terrestre em torno do Sol com relação à linha do Equador, de acordo com CRESESB (2014). O ângulo formado entre o Sol e o plano em relação à Linha Equatorial é chamado de declinação solar (δ), com variação entre $-23,45^\circ$ ao sul da Linha do Equador e $+23,45^\circ$ ao Norte da Linha do Equador.

O efeito causado pela declinação solar faz com que ocorra uma variação da posição do Sol no horizonte, em relação ao mesmo horário ao longo de todos os dias do ano. Essa inclinação juntamente com o movimento de translação da Terra em torno do Sol dá origem às estações do ano. A Figura (5) mostra esse movimento ao longo do ano no Hemisfério Sul, e ilustra o ângulo de declinação solar (δ).

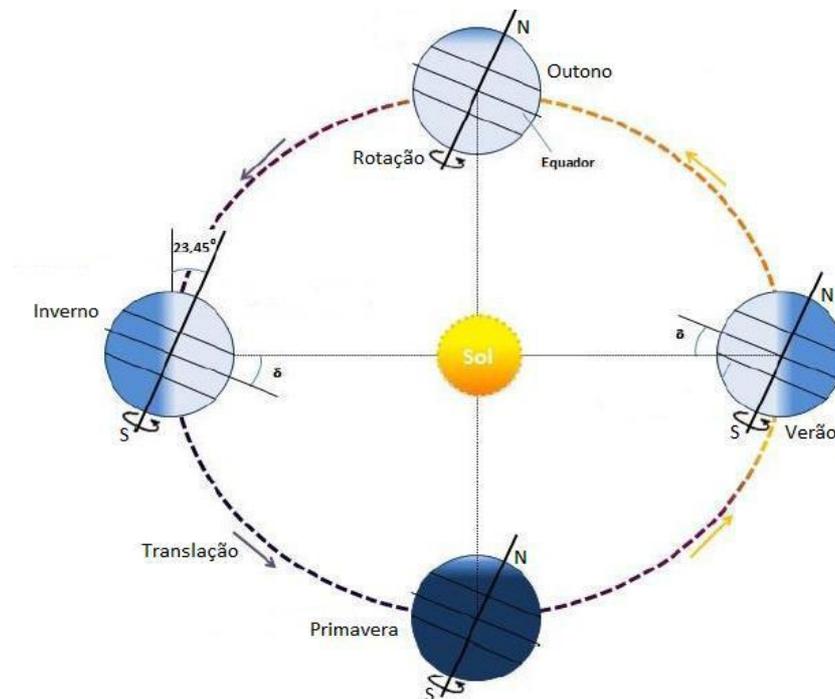


Figura 5 – Órbita terrestre inclinada $23,45^\circ$ ao longo de sua trajetória em torno do Sol, indicando as estações do ano no Hemisfério Sul.

Fonte: CRESESB (2014).

Ao atingir o valor máximo de declinação solar (δ), seja $-23,45^\circ$ ou $+23,45^\circ$ temos os chamados solstícios, afetando diretamente a incidência dos raios solares ou irradiação solar nos Hemisférios Sul e Norte. Por causa desse ângulo máximo, um hemisfério fica mais próximo do Sol, em consequência o outro hemisfério mais afastado, após seis meses o

hemisfério mais afastado ficará mais próximo, enquanto o que estava mais próximo ficará mais afastado, repetindo esse ciclo anualmente.

A declinação solar proporciona um observar do amanhecer e do crepúsculo solar em diferentes posições durante o ano. A Figura (6) segundo Rodrigues (2014) descreve essas posições solares e a trajetória aparente do amanhecer do Sol durante o ano para o Hemisfério Sul.

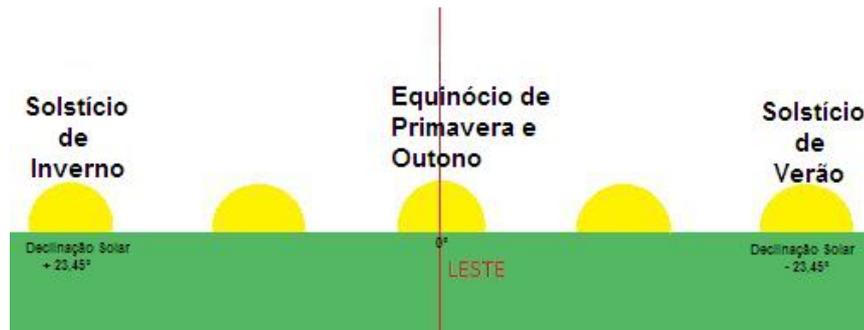


Figura 6 – Trajetória aparente do amanhecer do Sol durante o ano para o Hemisfério Sul. Fonte: RODRIGUES (2014, p. 15, figura adaptada).

Quando o ângulo de declinação solar está a $-23,45^\circ$, temos o Solstício de Verão, ocorrendo maior incidência de raios solares para o Hemisfério Sul, pois está mais voltado para o Sol, observa-se o dia mais longo do ano em relação à noite, inicia-se em 21 de dezembro. Quando estiver em $+23,45^\circ$ temos o Solstício de Inverno, inicia-se em 21 de junho, conseqüentemente temos a noite mais longa do ano, e por está em uma distância maior do Sol, temos menor incidência de raios solares no Hemisfério Sul.

Quando o ângulo de declinação solar for 0° , ou seja, quando este deslocamento estiver no ponto médio temos os chamados equinócios. Em 21 de março ocorre o Equinócio de outono, e em 21 de setembro o Equinócio de Primavera, iniciando às estações correspondentes. Nesse período observa-se que a intensidade de raios solares tanto para o Hemisfério Sul quanto para o Norte são iguais, conseqüentemente temos a mesma duração horária para dia e noite. A Figura (7) descreve as variações do ângulo de declinação solar nas diferentes estações.

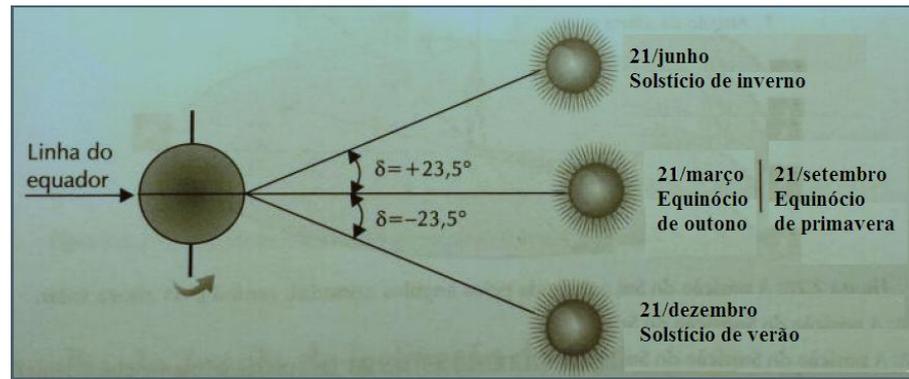


Figura 7 – Ilustração do ângulo de declinação solar para o Hemisfério Sul. Fonte: ALVES *et al.* (2016, p. 19, figura adaptada).

Segundo CRESESB (2014), existem algumas relações geométricas entre os raios solares e a superfície terrestre formadas por ângulos que são fundamentais para cálculos de geração de energia solar, e para obter melhor aproveitamento dessa fonte de energia. Segundo Alves (2016), a radiação solar que chega a nossa atmosfera depende da espessura e da composição das partículas, a espessura depende da distância do trajeto percorrido pelos raios solares. Os ângulos formados entre o Sol a superfície terrestre e uma superfície inclinada, ou seja, um painel solar fotovoltaico são:

➤ Ângulo zenital (θ_z): Segundo a Figura (8) esse ângulo descreve o trajeto do Sol do amanhecer ao crepúsculo solar, ele se forma a partir de uma linha vertical local (zênite), perpendicular ao solo, e a massa de ar depende diretamente do ângulo zenital.

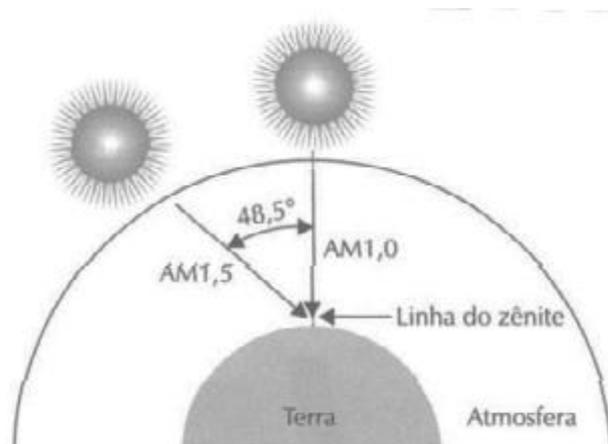


Figura 8 – Trajetória do Sol e formação do ângulo zenital. Fonte: ALVES *et al.* (2016, pag. 5).

- Ângulo azimutal do Sol (γ_s): ângulo que é formado pelo plano horizontal que tem como base a direção Norte-Sul e a projeção dos raios solares. O deslocamento angular compreende entre -180° e 180° , para cálculos considera-se a partir do Norte Geográfico, quando está à direita da posição sul considera-se positivo e quando está à esquerda negativo.
- Altura solar (α): compreende o ângulo que se forma entre os raios solares e o plano da superfície terrestre.
- Ângulo azimutal da superfície (γ): ângulo formado entre uma linha normal sobre a superfície do plano horizontal, seguindo a mesma trajetória do ângulo azimutal solar, sendo formada também na direção Norte-Sul.
- Inclinação da superfície de captação (β): este ângulo varia de 0° e 90° , descrito entre a superfície de captação solar e o plano horizontal.
- Ângulo de incidência (θ): formado entre a linha normal à superfície coletora e os raios solares incidentes.

Os ângulos α , β , γ , γ_s , θ_z e θ , de acordo com CRESESB (2014), são mostrados na Figura (9).

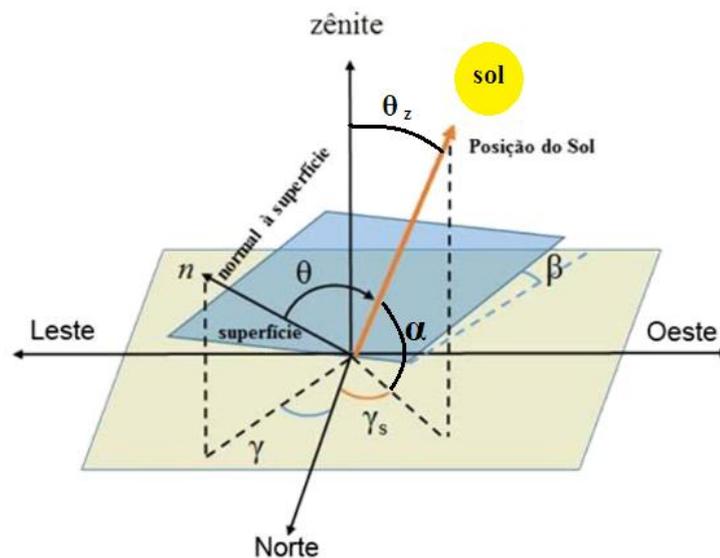


Figura 9 – Relação dos ângulos θ_z , β , γ_s , γ , α , e θ formados entre o Sol em relação ao plano horizontal, e em relação à superfície inclinada. Fonte: CRESESB (2014, p.73, figura adaptada).

O ângulo que se forma entre o meridiano do Sol e o Plano horizontal local, é também de extrema importância de acordo com Pinho *et. al.* (2008), descrito como ângulo horário (ω), conforme a Figura (10). A Terra em seu movimento rotacional de eixo percorre

um total de 360° em 24 horas, observa-se que a cada hora percorra 15° desse trajeto solar, considerando todo intervalo do amanhecer ao pôr-do-sol descreve-se 180°, no amanhecer considera-se 90° positivos até 0° quando Sol está a pino e -90° no crepúsculo solar. O ângulo horário descrito é observado no período diurno, considerando negativo ao amanhecer e positivo ao entardecer.

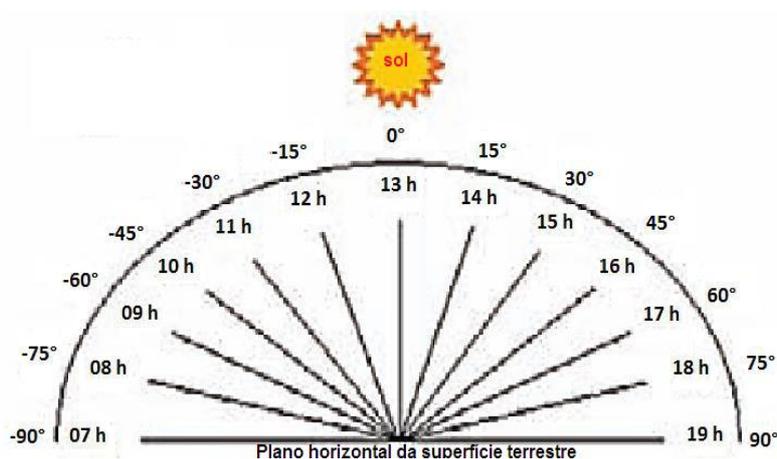


Figura 10 – Ângulos horários durante o dia. Fonte: PINHO *et al.* (2008, p.43, figura adaptada).

2.4 RADIAÇÃO SOLAR QUE CHEGA A ATMOSFERA TERRESTRE

O Sol transfere ao nosso planeta radiação eletromagnética, conhecida como radiação solar. Entretanto, apenas uma parcela mínima dela atinge a superfície terrestre, o que corresponde a aproximadamente 1×10^{18} kWh/ano, valor este que é calculado para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2015).

A intensidade de luz que atinge a atmosfera terrestre se propaga através de ondas eletromagnéticas que são formadas por espectrais de luz, se propagando antes de atingir a nossa atmosfera com uma velocidade de 300.000 Km/s. A radiação solar que atinge a atmosfera terrestre é proveniente da fotosfera solar. Radiação solar é um termo mais amplo no que se refere à intensidade de luz que o Sol disponibiliza a Terra, fornecendo cerca de $5,445 \times 10^{24}$ joules de energia a nossa atmosfera. Denomina-se irradiância solar, fluxo de potência de intensidade de luz solar, e denomina-se irradiação solar o fluxo de potência por unidade de área.

As características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são modificadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento, antes de atingir a superfície terrestre. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, e dependem da massa de ar atmosférico e do ângulo zenital solar. A densidade média anual de fluxo energético pela irradiação solar de acordo com CRESESB (2014) é cerca de 1.367 W/m^2 , a nível da superfície o valor utilizado padrão para dimensionamentos de módulos fotovoltaicos é aproximadamente de 1.000 W/m^2 .

No nível do solo apenas uma fração da quantidade da intensidade de luz atinge a superfície terrestre, isso ocorre devido processos de reflexão e absorção dos raios solares pela própria atmosfera terrestre. Uma parcela dessa intensidade de luz que chega ao solo pode ser direta, atravessando toda a atmosfera de forma integral sem obstáculos, ou pode ser difusa, sofrendo algumas mudanças de direção por meio do clima, geralmente fechado, nuvens.

A radiação solar sofre algumas alterações ao longo da atmosfera terrestre por meio de dispersão, reflexão e absorção, influenciada pelos fatores climáticos terrestre: poluição, vapor de água, poeira, solo e vegetação. Além destas componentes existe outra componente denominada albedo que reflete a intensidade de luz para a superfície terrestre pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.). A soma das componentes da radiação solar: direta, difusa e refletida é a incidência total de luz sobre um determinado corpo ou superfície. Observam-se na Figura (11) as componentes da radiação solar.

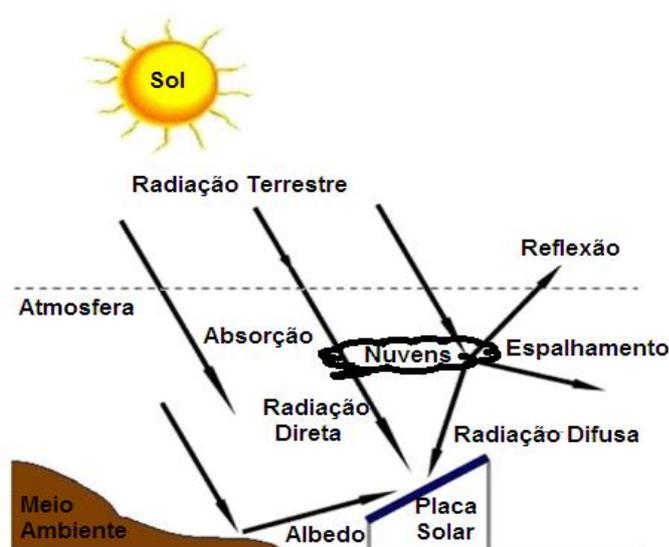


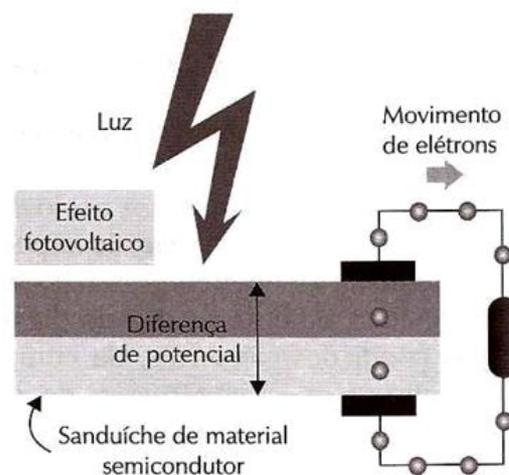
Figura 11 – Tipos de radiação solar. Fonte: PINHO *et al.* (2008, p.46, figura adaptada).

2.5 EFEITO FOTOVOLTAICO E FOTOELÉTRICO

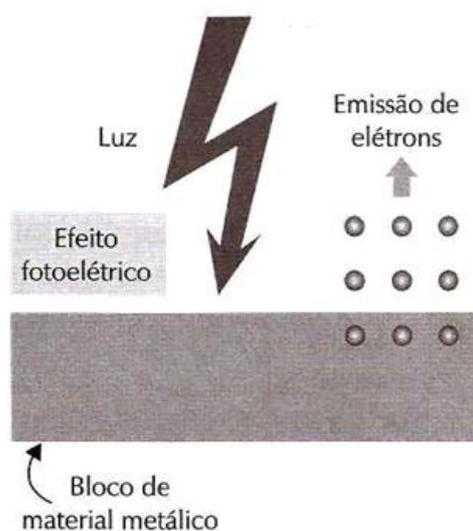
O efeito fotovoltaico consiste na transformação direta da luz solar em eletricidade. A intensidade de luz solar que chega a atmosfera terrestre em forma de fótons, que são espectrais de luz. Na incidência de luz solar em uma célula fotovoltaica, ocorre o efeito fotovoltaico, em decorrência de fatores físicos e químicos na célula, ao mesmo tempo a célula possui um material semicondutor que é dopado, e basicamente no processo de incidência de luz os elétrons do material semicondutor dopado absorvem os fótons incididos ocasionando tensão elétrica.

A absorção dos fótons pelos elétrons produz o que chamamos de caminho percorrido pelos elétrons ou sua movimentação dentro da célula. Ao percorrerem esse caminho são puxados por um campo elétrico produzido na junção dopada desse semicondutor. Essa movimentação dos elétrons gera uma diferença de potencial na célula fotovoltaica, de acordo com Villalva & Gazoli (2012).

O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por uma substância devido à incidência de luz em uma superfície metálica e não metálica, só que diferente do fotovoltaico na incidência de luz solar os elétrons livres param de se movimentar, ou simplesmente são ejetados, esse efeito não produz diferença de potencial, de acordo com Villalva & Gazoli (2012). O efeito fotovoltaico é demonstrado na Figura (12, a), e o efeito fotoelétrico na Figura (12, b).



(a)



(b)

Figura 12 – (a) Efeito fotovoltaico. (b) Efeito fotoelétrico.

Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012, p. 41).

2.6 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica constitui a menor parte de um módulo fotovoltaico e é o principal elemento da geração fotovoltaica, é um dispositivo sólido rígido capaz de converter a luz em forma de radiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, as células fotovoltaicas são utilizadas em grandes quantidades, conjuntos que variam de 36, 60, ou até mesmo 72 células em série, para obterem maior quantidade de energia elétrica.

Uma célula fotovoltaica é composta por duas camadas de material semicondutor dos tipos P e N, uma grade de coletores metálicos e uma base metálica. O material tipo N possui excesso de elétrons e o material tipo P apresenta falta de elétrons. Com a incidência de luz solar devido à diferença de concentração de elétrons entre as duas camadas, os elétrons da camada N migram para a camada P, gerando um campo elétrico e uma barreira de potencial entre as duas camadas, a Figura (13) demonstra o diagrama de funcionamento de uma célula fotovoltaica. (VILLALVA & GAZOLI, 2012). A célula ainda possui uma camada de material antirreflexivo, necessária para aumentar a absorção de luz. (VILLALVA & GAZOLI, 2013).

Atualmente existem diversos tipos de células fotovoltaicas no mercado. Entretanto, a mais utilizada e eficaz é à base de silício. Segundo Silva (2015), cerca de 80% das células fotovoltaicas são produzidas com a utilização de silício cristalino.

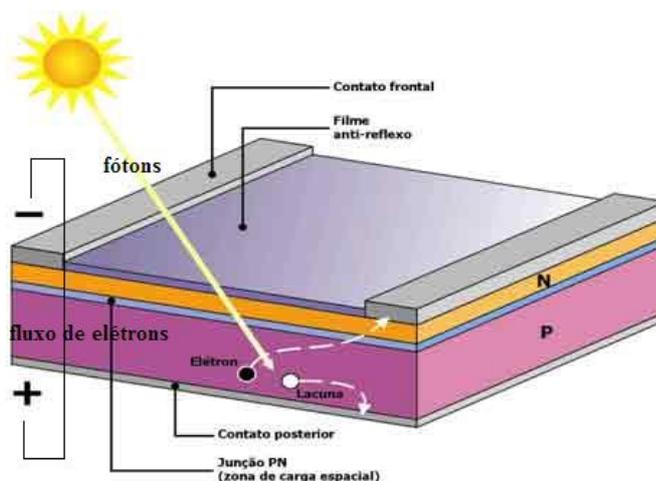


Figura 13 – Princípio do funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Fonte: NT- SOLAR (2018, figura adaptada).

De acordo com o NT - Solar, as melhores células de silício fabricadas em laboratório e atingem eficiências de até 24,7%, porém na indústria são obtidas eficiências de até 22%, mas com desenhos bastante complexos. Nas indústrias convencionais onde as linhas de produção são maiores para o mercado são fabricadas células com eficiência de 12% a 15%.

As células podem ser fabricadas com os mais diferentes tipos de materiais. As células mais comuns disponíveis comercialmente são constituídas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. (VILLALVA & GAZOLI, 2013). Do mineral quartzo é extraído o silício, o Brasil possui grande produção desse mineral tornando-se um grande fornecedor dessa matéria-prima, que posteriormente é enviada para outros países, que são responsáveis pela fabricação das células fotovoltaicas e os módulos fotovoltaicos.

As células de silício monocristalino possuem um custo de produção muito mais elevado que as demais e possuem maior eficiência, o que as torna mais caras, conseqüentemente sua procura no mercado é menor. Células de silício policristalino possuem um menor custo de produção e possuem uma eficiência menor que as de monocristalino, mas por terem uma eficiência quase comparada as de monocristalino, compensa sua fabricação e utilização. As células de policristalino são as mais utilizadas nos sistemas de energia solar fotovoltaico. Células de filme fino e amorfo são bem menos utilizadas, por ter pouca eficiência e por necessitarem de muita área e por estas terem pouca durabilidade da sua vida útil.

2.7 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos são constituídos por um conjunto de células fotovoltaicas colocadas em séries, formando assim o painel solar fotovoltaico, com finalidade de produzir uma grande quantidade de eletricidade, através do efeito fotovoltaico. O painel solar é um componente utilizado para captação de radiação solar, esse dispositivo possui interligações das células fotovoltaicas em sua composição, esses arranjos de células formam um circuito elétrico.

A geração de energia dos módulos fotovoltaicos é diretamente ligada a sua orientação e inclinação, e sua maior produção de eletricidade depende diretamente desses fatores. A melhor inclinação do módulo é obtida pelo ângulo igual à sua posição geográfica e sua latitude. Para se obter o maior aproveitamento da energia solar, primeiramente precisa-se ter a melhor orientação do módulo, como ilustrado na Figura (14) as melhores posições e a melhor inclinação para captação da radiação solar. Caso o sistema não obedeça a esses princípios, a geração de energia solar não será eficaz, e o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos é diretamente influenciado pela sua inclinação e orientação. Por este motivo, é importante que o projeto considere a posição e inclinação mais favorável para o módulo.

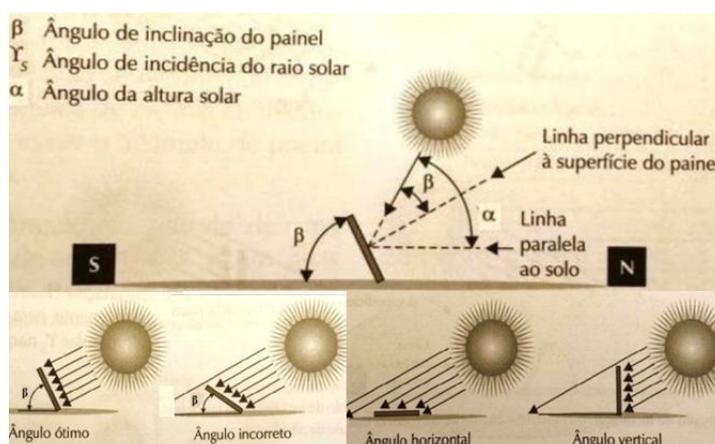


Figura 14 – Ilustração dos ângulos formados entre a superfície e o Sol, e possíveis inclinações para captação do painel solar fotovoltaico.

Fonte: ALVES *et al.* (2016, p. 23 e 24, figura adaptada).

Para o Hemisfério Sul adota-se o Norte Geográfico ou Norte verdadeiro e vice versa, logo orientações voltadas para os outros hemisférios causarão perdas na geração, ou seja, ela não irá gerar o máximo possível de energia elétrica. As bússolas em sua maioria mostram um norte erroneamente, pois não possuem o fator do ângulo de correção. É possível

encontrar o ângulo de correção em mapas ou tabelas e dependo de cada localização este ângulo pode variar. A Figura (15) mostra como o Norte Geográfico e o norte da bússula se relaciona através do ângulo de correção.

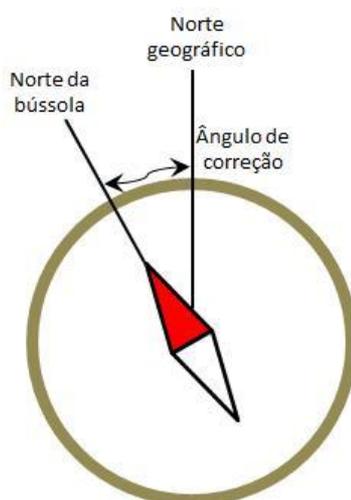


Figura 15 - Ilustração de uma bússola e como é possível encontrar o Norte Geográfico. Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012, p.52).

Em cada localidade de cada região brasileira é necessário subtrair o ângulo de correção do ângulo encontrado pela bússola. (VILLALVA & GAZOLI, 2012). A melhor inclinação dos módulos fotovoltaicos sem rastreamento de acordo com Pinho *et. al* (2008) é dado pela latitude do local de instalação do sistema. Pode-se ocorrer pequenas variações do ângulo entre -10° e $+10^{\circ}$ sem muita influencia na geração de energia elétrica anual do sistema.

2.8 ENERGIA SOLAR NO MUNDO

O aumento da população de forma exponencial nas ultimas décadas e o avanço das novas tecnologias por toda parte do mundo, está fazendo que a sociedade procure outras novas fontes e matrizes energéticas que garantam a sustentabilidade e estejam preocupadas em diminuir as emissões de poluentes na atmosfera.

O uso das fontes de energia existentes como o carvão e o petróleo tem provocado danos significativos ao meio ambiente, como mudanças climáticas, altos níveis de emissão de dióxido de carbono pela quantidade de combustíveis fósseis que são queimados diariamente como o metano e dióxido de enxofre.

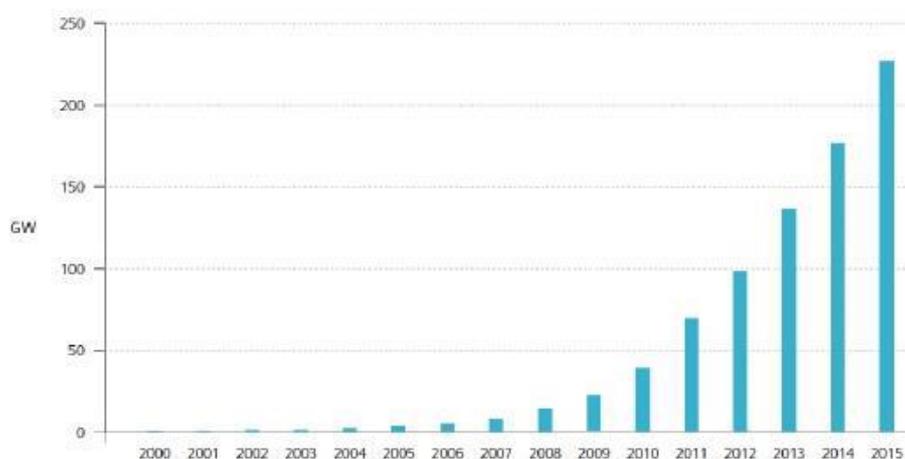
A necessidade de se combater o aquecimento global e a emissão de CO₂ na atmosfera fizeram com que vários países adotassem políticas de incentivo para o uso de fontes alternativas, entre as quais a energia solar é vista com grande potencial, em substituição às fontes de origem fóssil. (SILVA, 2016).

Nesse cenário surge a preocupação no que tange a emissão de poluentes das fontes de energia já existentes, por sua diminuição ou seu esgotamento total. Com isso a sociedade busca há anos outras fontes de energias renováveis e inesgotáveis, a energia solar começa ganhar espaço na matriz energética mundial por ser uma fonte limpa e infinita de energia. (CASTRO, 2015).

A busca em obter uma geração de energia através de fontes renováveis de energia vem caminhando por muitos anos, isso vem somar com a preocupação da preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. E observa-se que ao longo deste século há um aumento na busca por geração de energia solar fotovoltaica, principalmente na Europa, Ásia, e Estados Unidos, isso ocorreu principalmente depois de tratados e acordos firmados ao longo dos anos para redução de poluentes na atmosfera e preocupação com a escassez do petróleo após a crise no ano de 1973.

O mercado mundial fotovoltaico vem crescendo e de acordo com a Agência Internacional de Energia - IEA (2016), está com um total instalado de aproximadamente 227 GWp, com um crescimento significativo desde 2003, com sua capacidade de geração instalada 25% a mais que no ano de 2014, cerca de 50 GW, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica no mundo.



Fonte: IEA (2015, p. 1, adaptado).

Segundo Nascimento (2017), houve um crescimento de 41% entre os anos de 2000 a 2015 da taxa anual de crescimento de instalação de geração de energia solar fotovoltaica. Com a liderança da China em 2015, a sua capacidade instalada de energia solar fotovoltaica foi de 43,5 GWp naquele ano, em segundo a Alemanha com 39,7 GWp, em terceiro Japão com 34,4 GWp, os Estados Unidos da América - EUA com 25,6 GWp e a Itália com 18,9 GWp, segundo a Tabela 1. A Alemanha é o país que mais utiliza a energia solar fotovoltaica na sua matriz energética por habitante.

Tabela 1 - Os 10 países com maior capacidade instalada de geração fotovoltaica.

1		CHINA	43,5 GW
2		ALEMANHA	39,7 GW
3		JAPÃO	34,4 GW
4		EUA	25,6 GW
5		ITÁLIA	18,9 GW
6		REINO UNIDO	8,8 GW
7		FRANÇA	6,6 GW
8		ESPAÑA	5,4 GW
9		AUSTRÁLIA	5,1 GW
10		ÍNDIA	5,0 GW

Fonte: IEA (2015, p. 10).

2.9 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil é um país que possui muita radiação solar em todas as regiões, o que lhe torna privilegiado para obtenção da energia elétrica através da energia solar fotovoltaica. Para alcançar uma quantidade boa de energia fotovoltaica o local de instalação precisa de uma boa insolação. No Nordeste e Centro-Oeste brasileiro são encontrados os maiores potenciais de irradiação, para ter um aproveitamento de energia solar. (VILLALVA, 2015). O Brasil possui uma vantagem de estar localizado em zona intertropical registrando altos índices de irradiação solar durante todo o ano, se comparado com outros países que já fazem uso desta tecnologia. (TORRES, 2012).

Nesse contexto o Brasil tem sido considerado um país com pleno potencial para utilização de energias renováveis limpas e por possuir de maneira abundante as fontes alternativas como a solar fotovoltaica e entre outras em seu território. (CASTRO, 2015). A energia solar possui um papel importante na expansão da matriz energética brasileira,

destacando-se a diversidade de aplicações que dela se utilizam e a capacidade de exploração de outras formas de energia. (PEREIRA *et al.*, 2017).

A capacidade de exploração brasileira é muito baixa se comparados aos maiores produtores de energia solar fotovoltaica do mundo. Esse cenário está em fase de mudança, pois o sistema de créditos de energia foi criado no Brasil com a publicação, em abril de 2012, da resolução nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). (VILLALVA & GAZOLI, 2013).

Com a resolução nº 482 a população foi beneficiada e as concessionárias de energia elétrica foram obrigadas a aceitar a entrada de sistemas próprios de geração fotovoltaica em suas redes de distribuição de eletricidade. A resolução estabelece que cada cidadão brasileiro ou empresa possa ter sua própria usina fotovoltaica produzindo eletricidade para consumo próprio e determina as condições para a implantação dos sistemas de autoprodução de eletricidade. (VILLALVA & GAZOLI, 2013).

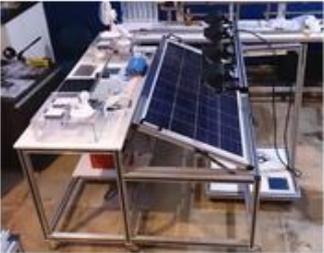
A instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica surge então para contribuir com o aumento da disponibilidade de eletricidade, reduzindo a geração das usinas hidrelétricas nas secas e diminuir a necessidade de se construir usinas baseadas em fontes poluentes, contribuindo assim para a manutenção da característica da matriz elétrica brasileira, predominantemente limpa e renovável. (VILLALVA & GAZOLI, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

Para se obter uma melhor compreensão para a fabricação da bancada, buscou-se verificar alguns tipos de tecnologias de bancadas didáticas que o mercado possui. Verificando alguns modelos e marcas especializadas na confecção de bancadas didáticas para ensino em energia solar, tanto em campo, quanto em laboratórios, conforme a Tabela (2). Através dessas bancadas disponíveis no mercado foi proposto uma bancada didática que atendesse a proposta do trabalho.

Tabela 2 – Modelos e marcas de bancadas didáticas.

Marca	Bancada didática	Modelo
Algetec		Sistema para estudo que permite a análise de geração de eletricidade por energia solar fotovoltaica
Solar Didactic		Módulo de treinamento em Energia Solar Fotovoltaica
Iks-Photovoltaik		Modelo de Bancada de linha da Solartrainer profi da Empresa IKS-Photovoltaik
Lucas-Nulle		Módulo Solar com simulador de altitude da linha de produtos em energia renovável

3.2 PROJETO INICIAL

O presente projeto foi desenvolvido através de trabalhos de bancadas didáticas existentes e com base em alguns modelos e marcas comercializadas e especializadas no mercado. As referências obtidas foram de extrema importância para obter as características pretendidas. O sistema da bancada foi projetado para oferecer melhor praticidade ao usuário no ensino sobre energia solar fotovoltaica, obter resultados satisfatórios, bem como ter uma melhor dinâmica entre teoria e prática de estudos.

Para o desenvolvimento do projeto inicial utilizou-se o software Auto Cad para obtenção dos desenhos e vistas em 2D, nesta etapa foi observado os tamanhos e dimensões da bancada didática. Com o software Solidwork's foram obtidos os desenhos em 3D, conforme a Figura (16), para ter uma melhor percepção real do projeto. Os desenhos foram baseados no tamanho do painel solar fotovoltaico escolhido, e no tamanho da bancada didática.

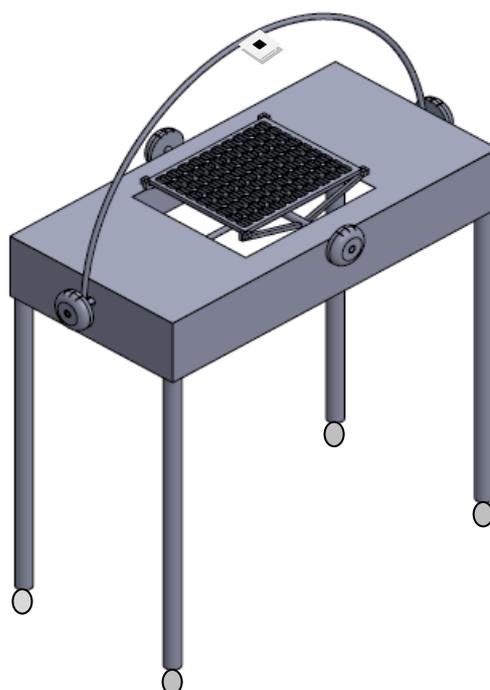


Figura 16 – Projeto em 3D da estrutura da bancada didática.

A estrutura da bancada possui um diferencial das demais estruturas existentes visto em projetos anteriores e bancadas didáticas de mercado. A Figura (17) mostra suas dimensões considerando a vista superior. A bancada didática possui 1 metro de comprimento por 0,5 metros de largura, e sua altura total da bancada é de 1,50 metros, facilitando sua utilização. A fonte de iluminação está localizada a uma altura de 0,5 metros do painel solar fotovoltaico para receber iluminação de forma total por toda sua superfície de captação.

O projeto define as dimensões de altura do suporte de sustentação do painel solar fotovoltaico, o suporte demonstra uma elevação da base da placa para que não ocorra sombreamento pela parte superior da bancada. Caso não houvesse essa elevação do suporte de sustentação ocorreria o sombreamento no painel em decorrência dos ângulos de 15° e -15° .

A movimentação que a estrutura do suporte do refletor exerce, simula as posições que o Sol assume durante as estações do ano, ou seja, a declinação solar. A Figura (19) ilustra as variações desses ângulos, que estão na faixa de $-23,45^\circ$, 0° e $+23,45^\circ$, definindo os Solstícios de Verão e Inverno, bem como os Equinócios de Primavera e Outono.

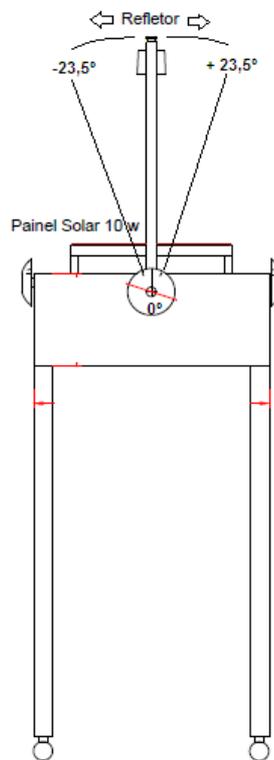


Figura 19 – Vista frontal da bancada com variações dos ângulos de declinação solar.

A vista frontal apresentada proporciona ao usuário modificar de forma prática e fácil esses ângulos de declinação solar através de uma barra circular de giro fácil, com as definições precisas desses ângulos, e uma barra de giro para aperto.

A Figura (20) demonstra o movimento descrito pelo refletor, que será responsável pelo movimento de simulação do ângulo horário, descrevendo assim o período em que o Sol se apresenta durante o dia no período de 7 horas às 19 horas.

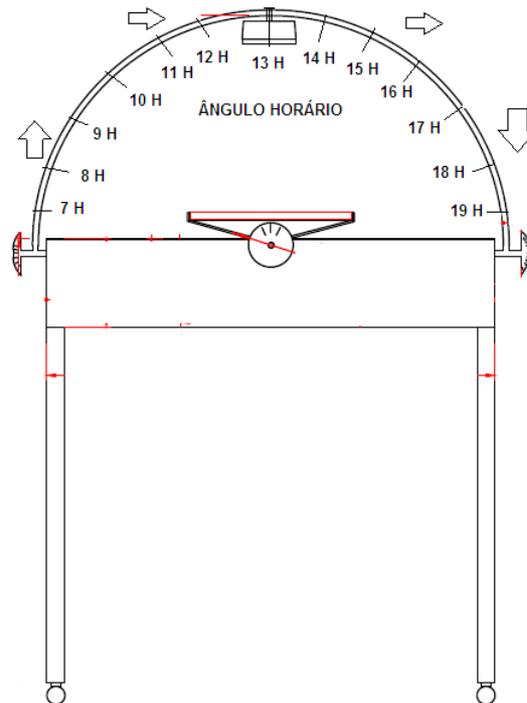


Figura 20 – Representação do movimento do ângulo horário descrito pelo refletor.

Os componentes de geração de energia da bancada utilizados foram: painel solar fotovoltaico, dimmer de potencial analógico de 200k de resistência, projetor com lâmpada halógena 500 w, tensão elétrica 220 v, cabo de alimentação do projetor 3 x 2,5mm², tomada 10 A. As especificações técnicas do painel solar fotovoltaico e suas características são:

- Marca: Sun Home M6-10;
- Potência Máxima: 10 W;
- Tensão de Circuito aberto (Voc): 22.6 V;
- Tensão de Potência Máx. (Vmp): 17.6 V;
- Eficiência da Célula: 17.6%;
- Corrente de Curto Circ. (Isc): 0.61 A;
- Corrente de Pot. Máx. (Imp): 0.57 A;
- Dimensões do painel: 350 mm x 250 mm x 25 mm;
- Peso: 1.2 Kg;
- Possui 36 células de silício monocristalino;
- Vidro: Temperado 32 mm;

As especificações técnicas das dimensões dos componentes que fazem parte da bancada foram importantes no auxílio da confecção dos projetos estruturais e suas vistas. E, portanto o trabalho assumiu o estágio de construção da bancada didática.

3.3 CONSTRUÇÃO DA BANCADA

A bancada didática foi construída em parceria com a empresa local TSA Indústria, localizada na cidade de Santarém Pará. Os materiais utilizados na confecção da bancada foram tubos metálicos, chapas metálicas, ferros, soldas de modo geral, tintas industriais para a pintura, rodas siliconadas, adesivos, etc. O Processo de fabricação como esperado sofreu algumas mudanças em relação aos projetos iniciais, devido verificações reais do que se pretendia.

A princípio utilizaram-se tubos metálicos para montar a base de sustentação da bancada, revestida na parte superior por uma chapa de aço, para que atendessem a idéia pretendida, conforme mostrado na Figura (21).



Figura 21 – Montagem dos tubos de sustentação e chapa de aço superior da bancada.

Foi construído um arco de 180° para movimentação do refletor, sua base foi presa por junções de polcas tipo borboleta para apertos mais fáceis e melhor precisão dos movimentos angulares horários pretendidos. O arco foi acoplado a um eixo de movimento, o

qual faria os movimentos de declinação solar. Esta etapa da construção é mostrada pela Figura (22).



Figura 22 – Montagem do arco de 180° ao eixo de movimento de declinação solar.

Foram colocadas barras circulares de giro para fazer os movimentos de ângulos necessários, rodas de silicone nas bases das pernas de sustentação para sua locomoção. Após esta etapa foram iniciados os processos de pintura e acabamentos, com isso iniciou-se o processo de ligações elétricas da bancada e do painel solar, conforme demonstrado pela Figura (23).



Figura 23 – Montagem das ligações elétricas da bancada e painel solar fotovoltaico.

Os acabamentos foram feitos com adesivos dos ângulos de movimentação do painel solar e ângulos de movimentos de declinação angular, além dos demais adesivos, definindo assim a ultima etapa do processo de finalização da construção, demonstrado pela Figura (24).



(a)



(b)

Figura 24 – (a) Colocação dos adesivos de ângulos do painel e de declinação solar. (b) Demais adesivos necessários.

Com o processo de fabricação finalizado observou-se a bancada com algumas mudanças dos projetos iniciais, e que proporcionaram mais praticidade na sua utilização. A Figura (25) mostra a bancada finalizada para os testes iniciais e ensaios propostos.



(a)



(b)

Figura 25 – (a) Vista lateral da bancada. (b) Vista frontal da bancada didática.

A bancada apresenta várias possibilidades de movimentos dos ângulos necessários, ela pode simular as situações apresentadas pelo Sol ao longo do dia, e ainda simular a inclinação em que o módulo fotovoltaico pode ser instalado para receber a melhor incidência solar. Todos os movimentos de ângulos são independentes uns dos outros causando assim as mais variadas situações que podem ocorrer pelo movimento solar sobre a Terra.

O movimento de declinação solar pode ser executado pela barra curvada em 180° de sustentação do projetor, esse movimento define as variações da intensidade dos raios solares nos hemisfério da Terra.

Quando ocorre o Solstício de Verão no Hemisfério Sul, o ângulo de declinação solar é $-23,45^\circ$ e se inicia em 21 de dezembro, nesse período temos a maior incidência de raios

solares nesse hemisfério, ocorrendo o oposto no Hemisfério Norte. Quando o ângulo de declinação é $+23,45^\circ$ têm-se o Solstício de Inverno no Hemisfério Sul, se inicia em 21 de junho, nesse período temos a menor incidência de raios solares, ocorrendo o oposto no Hemisfério Norte. Quando o ângulo de declinação for 0° os hemisférios recebem a mesma quantidade de raios solares, logo temos os chamados Equinócios de Primavera em 21 de setembro e Outono 21 de março.

A barra curvada em 180° possibilita essa variação do ângulo de declinação solar em 0° , $+23,45^\circ$ e $-23,45^\circ$, além do ângulo horário das 7 horas às 19 horas. A base do painel fotovoltaico possibilita três ajustes de ângulos com variações de -15° L, 0° , 15° O, para simular a latitude do local de instalação do sistema.

O ângulo horário pode ser simulado pelo refletor que está acoplado na barra curvada, com movimentos de ângulos de 15° para cada hora do dia, contadas a partir das 7 horas até as 19 horas. O refletor usado como fonte de iluminação possibilita variar a intensidade da luz através de um dimmer de potencialização analógico de 200 k que será utilizado para intensidade de potência de iluminação máxima e mínima e possibilita os efeitos de dias nublados ou chuvosos. Portanto duas possibilidades de variar a intensidade de luz, máxima e mínima.

Através destas possibilidades de movimentos de ângulos e intensidades de iluminação sobre o painel os ensaios e testes podem ser executados para obtenção dos parâmetros elétricos de tensão e corrente, além de irradiação e temperatura, coletados experimentalmente através de medidores de tensão, corrente, temperatura e um piroeliômetro digital para irradiação.

3.4 ROTEIROS PROPOSTOS

Os roteiros experimentais propostos para o projeto poderão ser utilizados posteriormente em aulas práticas sobre energia solar fotovoltaica. Os roteiros seguem uma linha de fácil compreensão para um melhor entendimento para aquisição dos dados coletados pela bancada didática.

- **Roteiro 1:**

Título: Movimento do Sol ao longo do dia na primavera/outono.

Objetivo: Obter e avaliar os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura para as estações primavera e outono, e como o ângulo de inclinação de instalação do painel solar fotovoltaico afeta esses parâmetros ao longo do dia, das 7 às 19 horas.

Procedimentos:

- Posicionar o painel solar sobre o seu encaixe localizado no eixo superior da bancada;
- Colocar o ajuste do ângulo de declinação solar em ângulo 0° , na posição horizontal; que corresponde ao ângulo de declinação solar nos Equinócios de Primavera e Outono.
- Definir o posicionamento do projetor com lâmpada nas posições horárias, começando 7 horas até 19 horas, com isso a fonte de iluminação percorrerá todos os horários do dia, sendo 15° a cada hora;
- Colocar os ajustes do painel solar definidos: 15° Oeste, 0° e 15° Leste, para cada ângulo execute todos os horários do projetor;
- Ligar a fonte de iluminação em tomada 220 v, ajuste a intensidade de luz no dimmer em potência de máxima luminosidade, posicionando o botão no seu giro máximo;
- Utilizar medidores de tensão e corrente conectados diretamente nos cabos de saída do painel solar, medidos separadamente, para medição de temperatura utilizar um termopar, e para medidas de irradiância utilizar um piroeliômetro digital ajustado a cima do painel, o procedimento de medição de temperatura e irradiância feito após as medidas de tensão e corrente.
- Os dados devem ser dispostos conforme a Tabela (3), para obtenção dos gráficos de tensão, corrente, irradiância e temperatura em função da hora, para comparação dos valores. Após esses procedimentos preencher a tabela a seguir com os dados de Tensão (V), Corrente (A), Temperatura ($^\circ\text{C}$) e Irradiância (W/m^2), coletados no experimento.

Tabela (3) – Roteiro 1.

Estrutura com Declinação Solar em 0°												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)
07 h												
08 h												
09 h												
10 h												
11 h												
12 h												
13 h												
14 h												
15 h												
16 h												
17 h												
18 h												
19 h												

- **Roteiro 2:**

Título: Movimento do Sol ao longo do dia de verão.

Objetivo: Obter e avaliar os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura para a estação verão e como o ângulo de inclinação de instalação do painel solar fotovoltaico afeta esses parâmetros ao longo do dia, das 7 às 19 horas.

Procedimentos:

- Posicionar o painel solar sobre o seu encaixe localizado no eixo superior da bancada;
- Colocar o ajuste do ângulo de declinação solar em ângulo $-23,45^\circ$, na posição horizontal; que corresponde ao ângulo de declinação solar no Solstício de Verão.
- Definir o posicionamento do projetor com lâmpada nas posições horárias, começando 7 horas até 19 horas, com isso a fonte de iluminação percorrerá todos os horários do dia, sendo 15° a cada hora;
- Colocar os ajustes do painel solar definidos: 15° Oeste, 0° e 15° Leste, para cada ângulo execute todos os horários do projetor;
- Ligar a fonte de iluminação em tomada 220 v, ajuste a intensidade de luz no dimmer em potência de máxima luminosidade, posicionando o botão no seu giro máximo;

- **Roteiro 3:**

Título: Movimento do Sol ao longo do dia de inverno.

Objetivo: Obter e avaliar os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura para a estação inverno e como o ângulo de inclinação de instalação do painel solar fotovoltaico afeta esses parâmetros ao longo do dia, das 7 às 19 horas.

Procedimentos:

- Posicionar o painel solar sobre o seu encaixe localizado no eixo superior da bancada;
- Colocar o ajuste do ângulo de declinação solar em ângulo $+23,45^\circ$, na posição horizontal; que corresponde ao ângulo de declinação solar no Solstício de Inverno.
- Definir o posicionamento do projetor com lâmpada nas posições horárias, começando 7 horas até 19 horas, com isso a fonte de iluminação percorrerá todos os horários do dia, sendo 15° a cada hora;
- Colocar os ajustes do painel solar definidos: 15° Oeste, 0° e 15° Leste, para cada ângulo execute todos os horários do projetor;
- Ligar a fonte de iluminação em tomada 220 v, ajuste a intensidade de luz no dimmer em potência de máxima luminosidade, posicionando o botão no seu giro máximo;
- Utilizar medidores de tensão e corrente conectados diretamente nos cabos de saída do painel solar, medidos separadamente, para medição de temperatura utilizar um termopar, e para medidas de irradiância utilizar um piroeliômetro digital ajustado a cima do painel, o procedimento de medição de temperatura e irradiância feito após as medidas de tensão e corrente.
- Os dados devem ser dispostos conforme a Tabela (5), para obtenção dos gráficos de tensão, corrente, irradiância e temperatura em função da hora, para comparação dos valores. Após esses procedimentos preencher a tabela a seguir com os dados de Tensão (V), Corrente (A), Temperatura ($^\circ\text{C}$) e Irradiância (W/m^2), coletados no experimento.

Tabela (5) – Roteiro 3.

Estrutura com Declinação Solar em +23,45°												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)
07 h												
08 h												
09 h												
10 h												
11 h												
12 h												
13 h												
14 h												
15 h												
16 h												
17 h												
18 h												
19 h												

- **Roteiro 4:**

Título: Movimento do Sol ao longo do dia em dias nublados nas mais diferentes estações.

Objetivo: Obter e avaliar os valores de tensão gerada em todas as estações como o ângulo de inclinação de instalação do painel solar fotovoltaico com iluminação mínima afeta os parâmetros ao longo do dia das 7 às 19 horas.

Procedimentos:

- Utilizar os roteiros anteriores, mas com modificação na intensidade de iluminação para mínima luminosidade, para simular os dias nublados e chuvosos;
- Posicionar a placa solar sobre o seu encaixe localizado no eixo superior da bancada;
- Colocar o ajuste do ângulo de declinação solar em ângulo primeiramente em 0°, +23,45° e -23,45°, na posição horizontal que corresponde ao ângulo de declinação solar;
- Definir o posicionamento do projetor com lâmpada nas posições horárias, começando 7 horas até 19 horas, com isso a fonte de iluminação varrerá todos os horários do dia percorrendo 15° a cada hora;
- Colocar os ajustes do painel solar fotovoltaico definidos: 15° Oeste, 0° e 15° Leste, para cada ângulo execute todos os horários do projetor;

- Ligar a fonte de iluminação em tomada 220 v, ajuste a intensidade de luz no dimmer em potência de mínima luminosidade, posicionando o botão no seu giro mínimo;
- Utilizar medidores de tensão e corrente conectados diretamente nos cabos de saída do painel solar, medidos separadamente, para medição de temperatura utilizar um termopar, e para medidas de irradiância utilizar um piroeliômetro digital ajustado a cima do painel, o procedimento de medição de temperatura e irradiância feito após as medidas de tensão e corrente.
- Os dados devem ser dispostos conforme a tabela anexa, para obtenção dos gráficos de tensão, corrente, irradiância e temperatura em função da hora, para comparação dos valores dos parâmetros. Após esses procedimentos preencher a tabela com os dados de Tensão (V), Corrente (A), Temperatura (°C) e Irradiância (W/m²), coletados no experimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na realização dos roteiros propostos foram desconsiderados os parâmetros ambientes de temperatura e irradiação do laboratório, pois a idéia pretendida é avaliar as variações dos parâmetros em função das variações de posicionamentos solares e do painel, e, portanto não modificará os resultados comparativos. Verificou-se que a utilização de lâmpada halógena ocasionou um aumento significativo da temperatura sobre o painel solar, mesmo com seu desligamento nas mudanças do ângulo horário para cada roteiro proposto. Com isso não ocorreu variações nos resultados esperados de geração de energia pelo painel solar.

• Roteiro 1

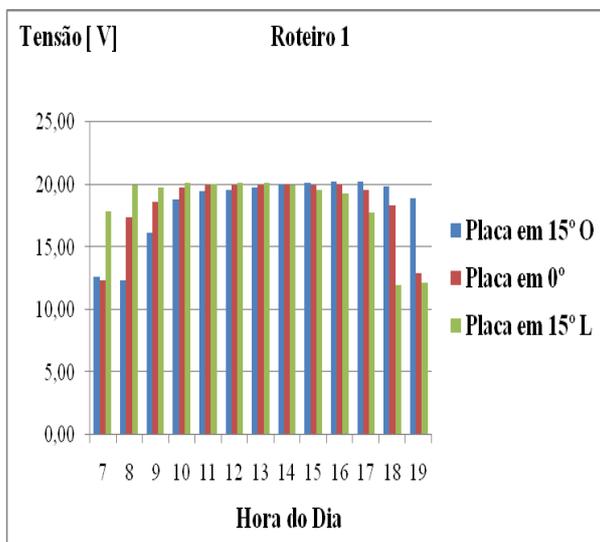
As condições propostas para este roteiro simulam o movimento do Sol ao longo do dia pelo ângulo de declinação solar em 0° , correspondente aos Equinócios de Primavera e Outono, avaliam os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura em função das horas durante o dia para os três ângulos propostos, com luminosidade máxima estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 6 – Dados coletados no roteiro 1, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em 0° com luminosidade máxima.

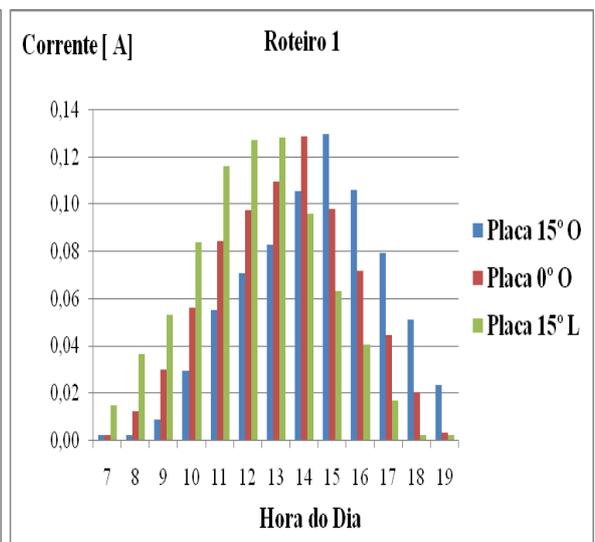
Estrutura com declinação solar (δ) em 0° , luminosidade máxima.												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)
07 h	12,632	0,0018	26,50	7	12,324	0,0019	26,90	9	17,878	0,0145	28,70	102
08 h	12,386	0,0021	28,30	9	17,400	0,0121	29,10	102	19,949	0,0362	28,70	226
09 h	16,131	0,0085	33,30	55	18,602	0,0296	34,10	168	19,770	0,0529	33,90	298
10 h	18,821	0,0294	32,70	171	19,753	0,0560	33,80	295	20,140	0,0838	34,20	456
11 h	19,505	0,0553	33,20	326	19,997	0,0843	34,80	521	20,040	0,1163	34,50	670
12 h	19,586	0,0707	34,30	323	19,978	0,0976	35,80	505	20,155	0,1276	34,20	603
13 h	19,802	0,0830	34,40	463	19,972	0,1098	34,40	569	20,114	0,1282	35,60	565
14 h	20,044	0,1056	33,80	555	20,075	0,1289	35,70	573	20,001	0,0960	33,70	474
15 h	20,135	0,1299	33,70	562	20,003	0,0983	34,10	514	19,616	0,0633	33,60	349
16 h	20,218	0,1063	33,50	538	20,031	0,0719	33,40	399	19,284	0,0405	32,80	245
17 h	20,215	0,0793	33,40	419	19,595	0,0443	32,10	265	17,818	0,0168	32,60	103
18 h	19,895	0,0510	32,00	325	18,380	0,0202	32,10	132	11,950	0,0022	31,30	17
19 h	18,871	0,0232	31,30	179	12,882	0,0028	31,10	20	12,178	0,0020	30,70	5

Os Gráficos 2(a) de tensão, 2(b) de corrente, 2(c) de irradiação e 2(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influencias sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e do painel solar fotovoltaico.

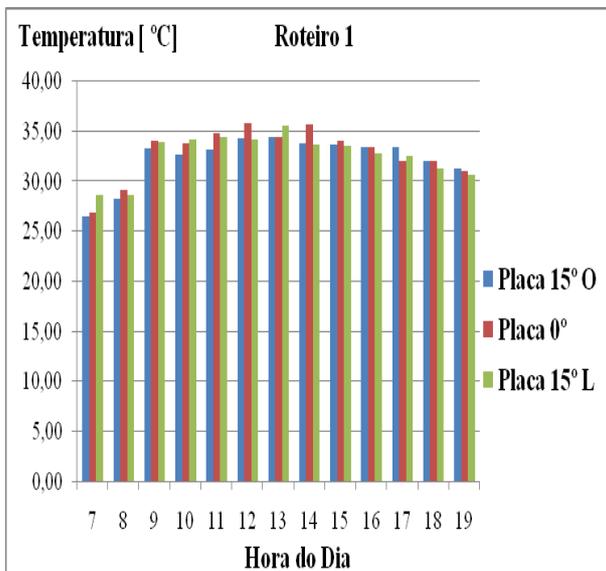
Gráfico 2 – Roteiro 1, movimento solar para os Equinócios de Outono e Primavera para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0°, 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



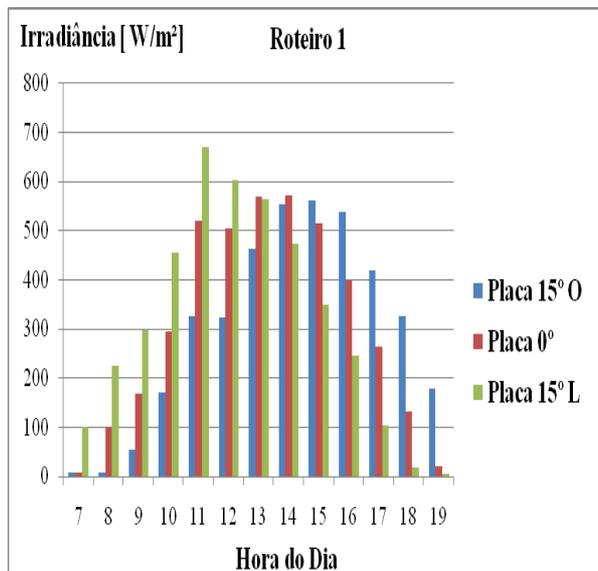
(a)



(b)



(c)



d)

As análises para o Roteiro 1 mostram que o comportamento dos parâmetros para o painel em 15° O, apresentou baixos índices de geração de tensão e corrente nas primeiras horas do dia e altos índices nas horas finais do dia, e o oposto para a placa a 15° L. Para o painel em 0°, foi observado valores médios de tensão e corrente nas primeiras e últimas horas do dia, para o meio do dia o painel apresentou altos valores de tensão e corrente. Esse comportamento ocorre devido os parâmetros de irradiação e temperatura influenciarem diretamente nos valores de tensão e corrente, ou seja, quanto maior a irradiação, maior será a tensão gerada e corrente.

Portanto se conclui que para o período do equinócio de outono e primavera, 21 de março e 21 de setembro respectivamente, a posição do painel em qualquer uma das três posições apresentou desempenhos razoáveis na geração de energia elétrica.

• Roteiro 2

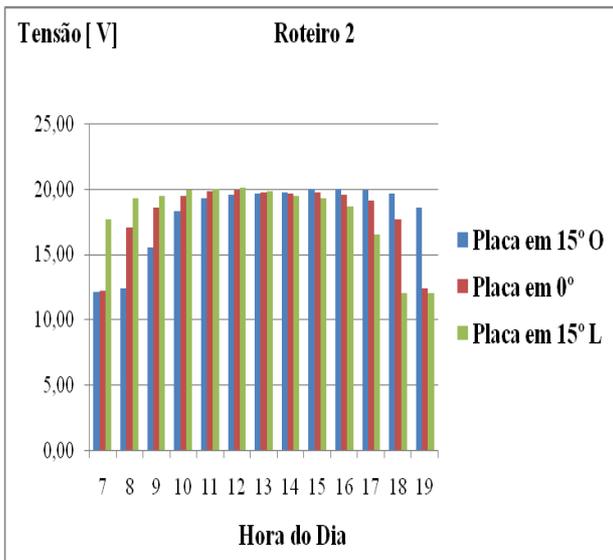
As condições propostas para este roteiro simulam o movimento do Sol ao longo do dia pelo ângulo de declinação solar em -23,45°, correspondente ao Solstício de Verão, avaliam os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura em função das horas durante o dia, e para os três ângulos propostos, com luminosidade máxima estão na tabela abaixo:

Tabela 7 – Dados coletados no roteiro 2, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em -23,45° com luminosidade máxima.

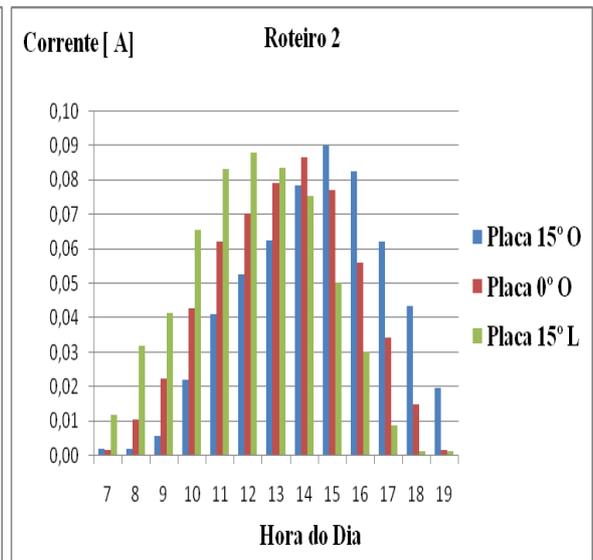
Estrutura com declinação solar (δ) em -23,45°, Luminosidade Máxima												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)
07 h	12,179	0,0019	26,90	7	12,223	0,0018	26,90	8	17,758	0,0119	28,60	90
08 h	12,371	0,0020	27,40	9	17,085	0,0106	27,70	69	19,300	0,0320	28,60	201
09 h	15,555	0,0057	33,20	36	18,600	0,0225	33,00	123	19,543	0,0415	32,10	236
10 h	18,303	0,0220	33,30	120	19,494	0,0429	33,00	237	19,964	0,0656	32,30	335
11 h	19,352	0,0411	33,30	206	19,860	0,0624	33,80	308	20,045	0,0833	33,20	364
12 h	19,588	0,0528	30,20	249	19,987	0,0704	30,00	324	20,164	0,0880	34,90	356
13 h	19,673	0,0627	32,40	287	19,782	0,0793	35,30	340	19,845	0,0837	34,80	326
14 h	19,771	0,0785	36,30	357	19,718	0,0866	36,00	357	19,553	0,0756	35,00	303
15 h	20,009	0,0901	36,30	345	19,800	0,0772	36,00	306	19,326	0,0504	33,40	214
16 h	20,049	0,0826	29,00	315	19,642	0,0561	29,60	241	18,725	0,0304	31,60	145
17 h	19,947	0,0624	32,00	257	19,155	0,0342	33,00	160	16,508	0,0090	30,10	58
18 h	19,672	0,0435	28,00	240	17,758	0,0150	28,00	96	12,071	0,0015	28,00	11
19 h	18,583	0,0198	27,00	146	12,398	0,0018	27,00	17	12,070	0,0014	27,00	5

Os Gráficos 3(a) de tensão, 3(b) de corrente, 3(c) de irradiação e 3(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influências sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e do painel solar fotovoltaico.

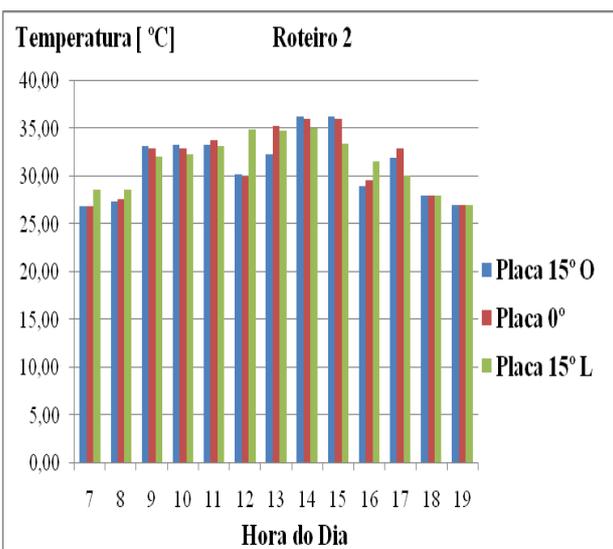
Gráfico 3 – Roteiro 2, movimento solar para o Solstício de Verão para o painel voltada para as três posições possíveis 15° O, 0°, 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



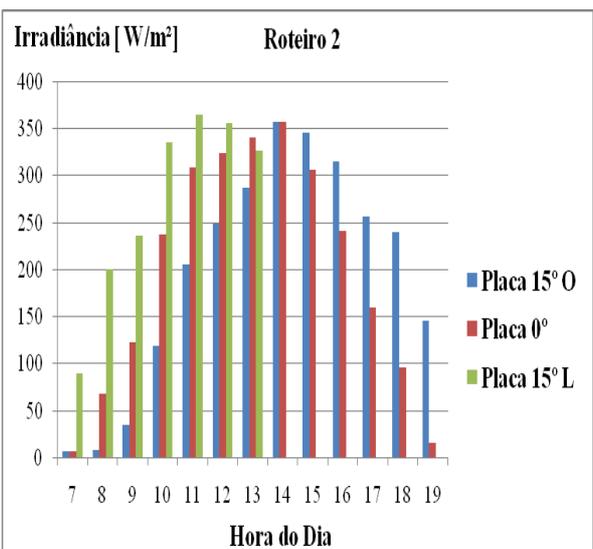
(a)



(b)



(c)



(d)

As análises para o Roteiro 2 mostram que o comportamento dos parâmetros para o painel em 15° O, apresentou baixos índices de geração de tensão e corrente nas primeiras horas do dia e altos índices nas horas finais do dia, e o oposto para a placa a 15° L. Para o painel em 0°, foi observado valores médios de tensão e corrente nas primeiras e últimas horas do dia, para o meio do dia o painel apresentou altos valores de tensão e corrente. Esse comportamento ocorre devido os parâmetros de irradiação e temperatura influenciarem diretamente nos valores de tensão e corrente, ou seja, quanto maior a irradiação, maior será a tensão gerada e corrente.

Portanto se conclui que para o período do Solstício de verão, 21 de dezembro respectivamente, a posição do painel em qualquer uma das três posições apresentou desempenhos razoáveis na geração de energia elétrica.

- **Roteiro 3**

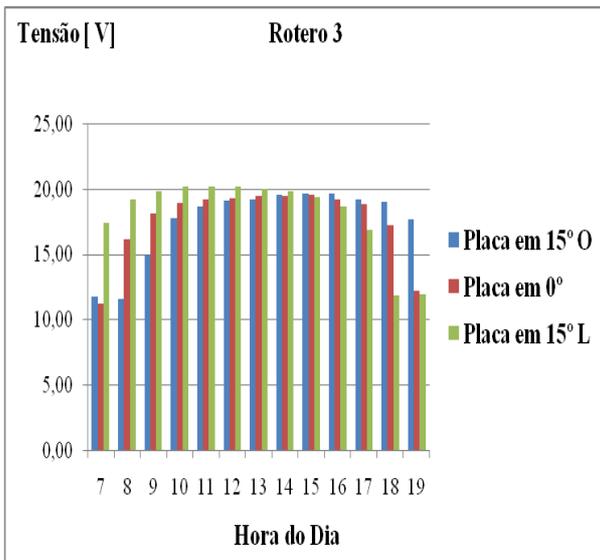
As condições propostas para este roteiro simulam o movimento do Sol ao longo do dia pelo ângulo de declinação solar em +23,45°, correspondente ao Solstício de Inverno, avaliam os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura em função das horas durante o dia, e para os três ângulos propostos, com luminosidade máxima estão na tabela abaixo:

Tabela 8 – Dados coletados no roteiro 3, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em +23,45° com luminosidade máxima.

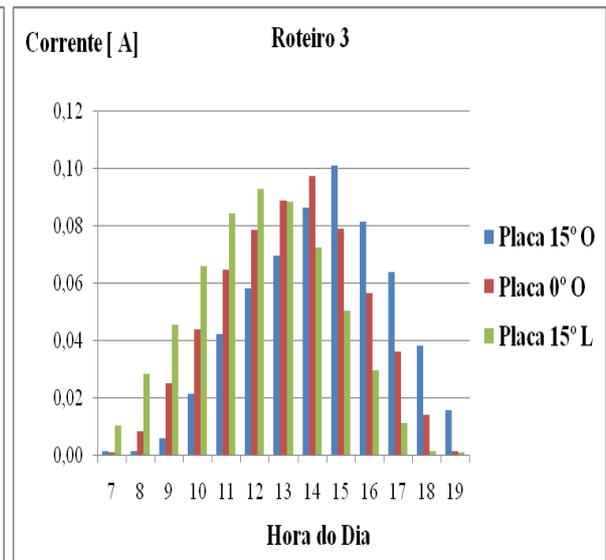
Estrutura com declinação solar (δ) em +23,45°, Luminosidade Máxima												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)
07 h	11,768	0,0016	28,80	7	11,255	0,0014	28,50	8	17,430	0,0105	28,70	69
08 h	11,587	0,0017	30,00	8	16,213	0,0084	30,50	61	19,276	0,0285	29,50	185
09 h	15,015	0,0060	34,20	46	18,186	0,0252	31,50	172	19,900	0,0458	29,90	293
10 h	17,773	0,0215	31,80	141	19,015	0,0439	32,70	303	20,200	0,0663	30,40	462
11 h	18,683	0,0424	35,80	293	19,232	0,0648	32,30	472	20,267	0,0843	30,50	557
12 h	19,135	0,0582	33,60	393	19,343	0,0787	33,00	555	20,224	0,0930	30,90	573
13 h	19,239	0,0699	32,10	519	19,495	0,0890	33,20	611	20,019	0,0887	31,30	518
14 h	19,613	0,0865	32,80	588	19,549	0,0974	33,10	658	19,911	0,0726	31,40	468
15 h	19,657	0,1012	32,90	638	19,645	0,0792	30,90	545	19,425	0,0506	31,00	349
16 h	19,693	0,0817	32,10	570	19,285	0,0568	31,70	398	18,735	0,0296	30,30	213
17 h	19,272	0,0639	31,30	452	18,925	0,0365	29,60	266	16,915	0,0115	30,60	93
18 h	19,093	0,0382	30,10	311	17,272	0,0143	31,30	119	11,895	0,0016	29,40	13
19 h	17,702	0,0161	30,30	141	12,257	0,0016	29,30	14	11,980	0,0014	29,20	8

Os Gráficos 4(a) de tensão, 4(b) de corrente, 4(c) de irradiação e 4(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influências sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e da painel solar fotovoltaico.

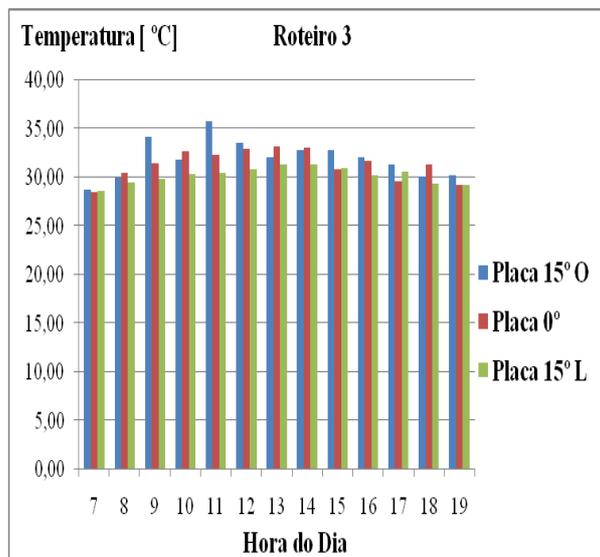
Gráfico 4 – Roteiro 3, movimento solar para o Solstício de Inverno para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0°, 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



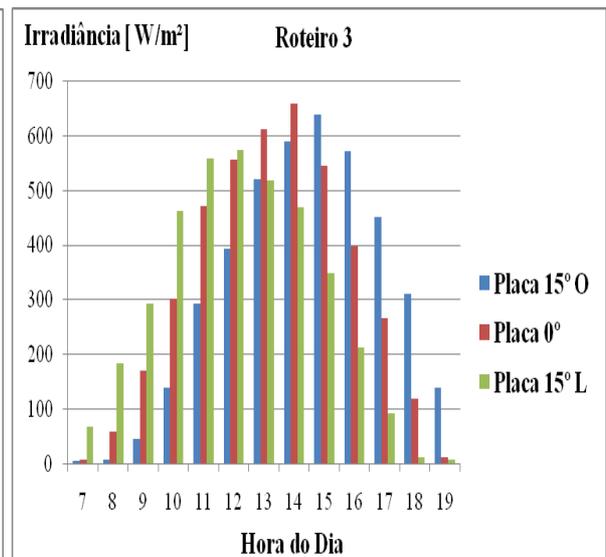
(a)



(b)



(c)



(d)

As análises para o Roteiro 3 mostram que o comportamento dos parâmetros para o painel em 15° O, apresentou baixos índices de geração de tensão e corrente nas primeiras horas do dia e altos índices nas horas finais do dia, e o oposto para o painel a 15° L. Para o painel em 0°, foi observado valores médios de tensão e corrente nas primeiras e últimas horas do dia, para o meio do dia o painel apresentou altos valores de tensão e corrente. Esse comportamento ocorre devido os parâmetros de irradiação e temperatura influenciarem diretamente nos valores de tensão e corrente, ou seja, quanto maior a irradiação, maior será a tensão gerada e corrente.

Portanto se conclui que para o período do Solstício de verão, 21 de dezembro respectivamente, a posição do painel em qualquer uma das três posições apresentou desempenhos razoáveis na geração de energia elétrica.

• Roteiro 4

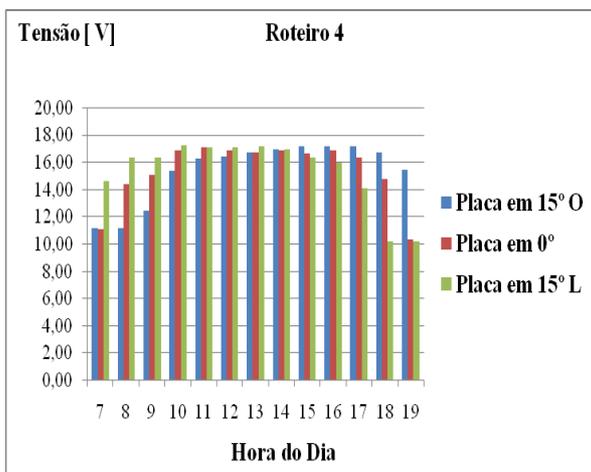
As condições propostas para este roteiro simulam o movimento do Sol ao longo do dia pelo ângulo de declinação solar em 0°, +23,45° e -23,45°, com os mesmos procedimentos utilizados em cada dos roteiros anteriores, em que se verificam os valores de tensão e corrente gerada, irradiação e temperatura em função das horas durante o dia, para os três ângulos horários propostos, com luminosidade mínima estão na tabela abaixo:

Tabela 9 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em +0° com luminosidade mínima.

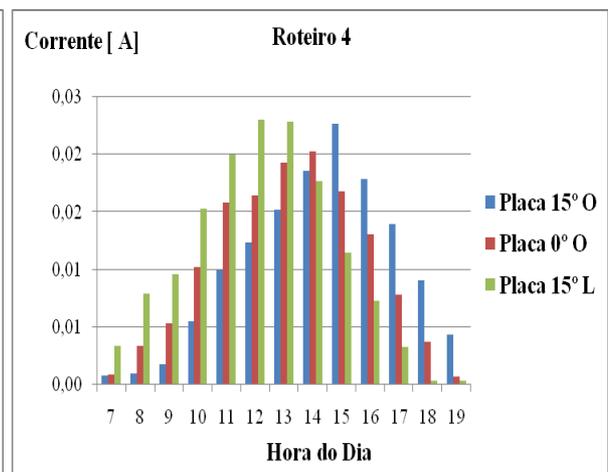
Estrutura com declinação solar (δ) em 0°, Luminosidade Mínima.												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m ²)
07 h	11,145	0,0008	26,60	4	11,094	0,0009	26,90	5	14,596	0,0034	29,00	23
08 h	11,151	0,0010	27,90	5	14,412	0,0034	27,80	22	16,366	0,0079	29,90	55
09 h	12,420	0,0018	32,60	13	15,049	0,0053	33,90	37	16,320	0,0096	33,40	61
10 h	15,331	0,0055	32,60	37	16,840	0,0102	33,90	76	17,251	0,0153	34,30	97
11 h	16,285	0,0100	32,70	73	17,065	0,0158	33,50	115	17,050	0,0200	34,00	147
12 h	16,388	0,0124	28,70	73	16,830	0,0165	32,00	115	17,093	0,0230	32,70	132
13 h	16,703	0,0152	34,60	98	16,740	0,0193	33,40	126	17,148	0,0229	33,50	128
14 h	16,959	0,0186	32,60	121	16,867	0,0203	32,30	127	16,935	0,0177	32,50	100
15 h	17,164	0,0227	36,30	118	16,646	0,0168	36,00	110	16,361	0,0115	33,00	74
16 h	17,185	0,0179	28,10	111	16,857	0,0131	29,40	85	15,921	0,0073	29,10	53
17 h	17,121	0,0140	28,80	93	16,308	0,0078	28,50	58	14,094	0,0033	28,20	23
18 h	16,679	0,0091	27,20	68	14,732	0,0037	27,00	29	10,181	0,0004	27,00	5
19 h	15,443	0,0044	26,50	38	10,328	0,0007	26,00	5	10,173	0,0004	26,00	2

Os Gráficos 5(a) de tensão, 5(b) de corrente, 5(c) de irradiação e 5(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influências sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e da placa solar fotovoltaica.

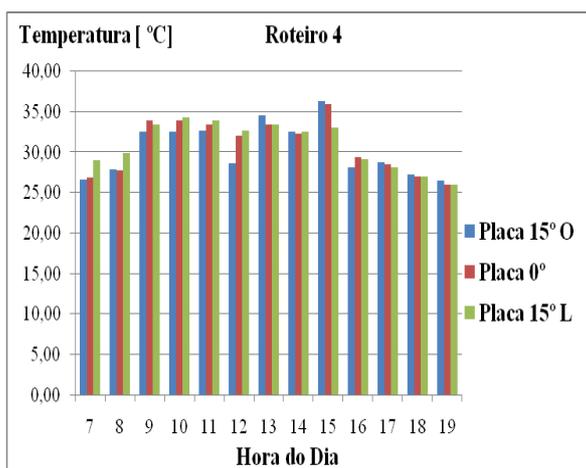
Gráfico 5 – Roteiro 4, movimento solar para os Equinócios de Outono e Primavera para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0°, 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



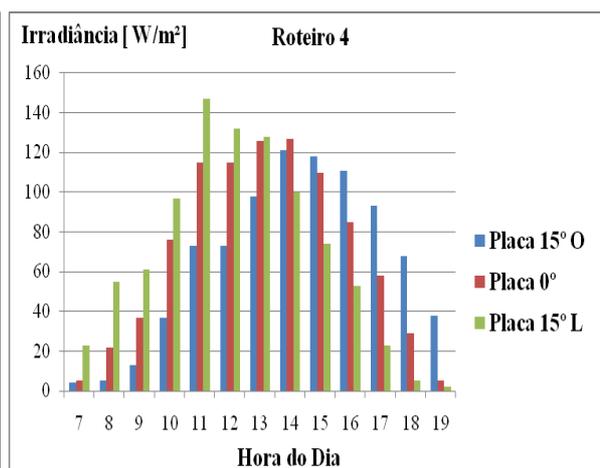
(a)



(b)



(c)



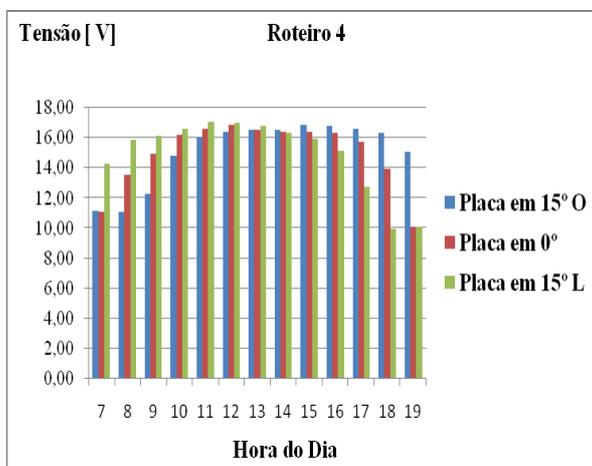
(d)

Tabela 10 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $-23,45^\circ$ com luminosidade mínima.

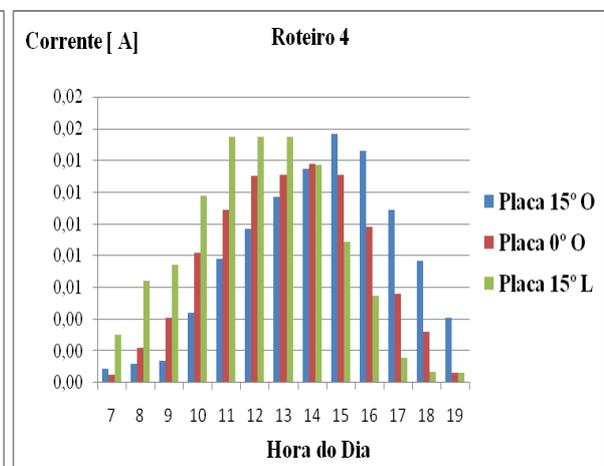
Estrutura com declinação solar (δ) em $-23,45^\circ$, Luminosidade Mínima.												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)	(V)	(A)	($^\circ\text{C}$)	(W/m^2)
07 h	11,131	0,0009	26,90	4	11,075	0,0005	26,90	5	14,263	0,0030	27,40	28
08 h	11,100	0,0012	27,80	5	13,518	0,0022	28,20	18	15,896	0,0064	28,70	43
09 h	12,260	0,0014	33,40	10	14,955	0,0041	33,20	28	16,121	0,0074	33,10	50
10 h	14,786	0,0044	33,40	26	16,180	0,0082	33,20	53	16,579	0,0118	33,30	76
11 h	16,089	0,0078	32,90	46	16,592	0,0109	33,50	71	17,055	0,0155	33,80	83
12 h	16,381	0,0097	29,50	50	16,897	0,0130	30,80	70	17,011	0,0155	31,00	80
13 h	16,507	0,0117	32,00	61	16,567	0,0131	31,80	79	16,772	0,0155	34,70	64
14 h	16,544	0,0135	36,10	74	16,376	0,0138	35,70	79	16,330	0,0137	36,00	65
15 h	16,881	0,0157	35,80	70	16,428	0,0131	35,30	66	15,949	0,0089	35,80	45
16 h	16,787	0,0146	27,70	65	16,367	0,0098	29,80	50	15,159	0,0055	29,30	32
17 h	16,591	0,0109	31,10	59	15,715	0,0056	31,80	35	12,781	0,0016	30,10	14
18 h	16,372	0,0077	28,00	50	13,976	0,0032	27,20	21	9,930	0,0007	28,00	4
19 h	15,050	0,0041	27,00	29	10,085	0,0006	27,00	5	10,101	0,0006	27,00	2

Os Gráficos 6(a) de tensão, 6(b) de corrente, 6(c) de irradiação e 6(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influencias sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e do painel solar fotovoltaico.

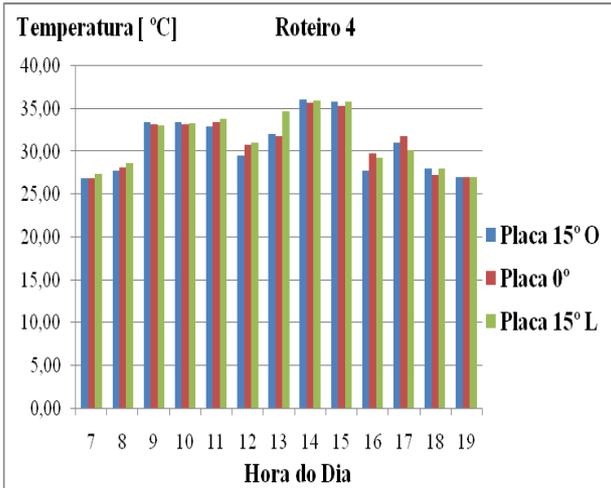
Gráfico 6 – Roteiro 4, movimento solar para o Solstício de Verão para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0° , 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



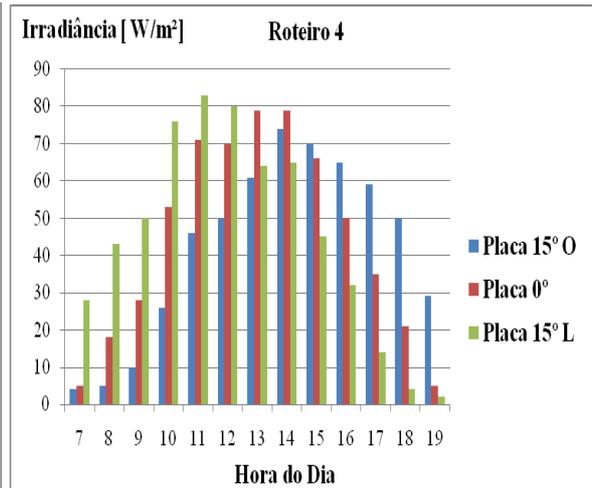
(a)



(b)



(c)



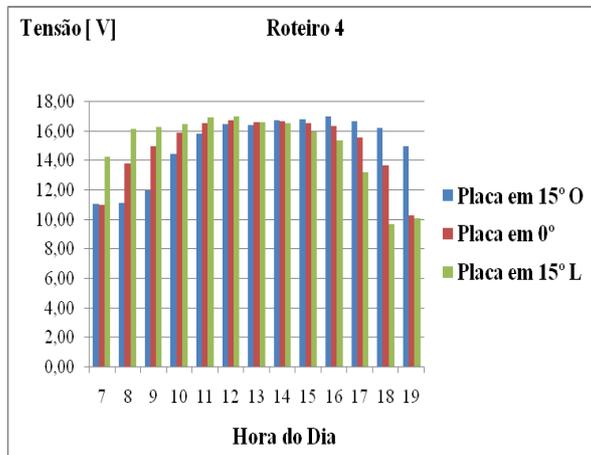
(d)

Tabela 11 – Dados coletados no roteiro 4, descrevendo o movimento solar ao longo do dia com a declinação solar em $+23,45^\circ$ com luminosidade mínima.

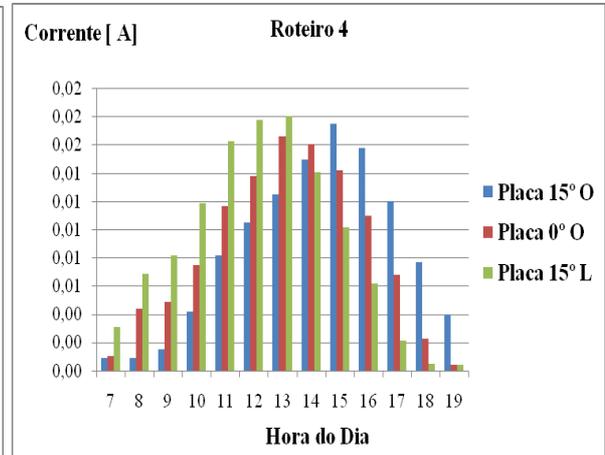
Estrutura com declinação solar (δ) em $+23,45^\circ$, Luminosidade Mínima.												
Hora	Placa em 15° Oeste				Placa em 0°				Placa em 15° Leste			
	(V)	(A)	(°C)	(W/m²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m²)	(V)	(A)	(°C)	(W/m²)
07 h	11,100	0,0009	26,80	4	11,013	0,0010	27,10	5	14,258	0,0031	27,60	25
08 h	11,165	0,0009	27,00	5	13,832	0,0044	27,10	18	16,155	0,0069	26,50	49
09 h	12,027	0,0015	29,80	12	14,990	0,0049	30,00	39	16,274	0,0082	31,40	96
10 h	14,478	0,0042	30,60	33	15,881	0,0075	30,70	69	16,529	0,0119	31,40	138
11 h	15,841	0,0082	30,30	63	16,551	0,0117	31,10	105	16,967	0,0163	32,20	140
12 h	16,482	0,0105	30,80	84	16,770	0,0138	31,20	128	16,998	0,0178	31,40	136
13 h	16,438	0,0125	34,70	106	16,605	0,0166	35,00	135	16,640	0,0181	35,00	120
14 h	16,783	0,0150	33,00	124	16,718	0,0161	32,50	128	16,535	0,0141	31,90	94
15 h	16,836	0,0175	35,60	129	16,547	0,0142	35,30	113	15,962	0,0102	30,40	76
16 h	17,037	0,0158	29,20	114	16,398	0,0110	28,50	82	15,366	0,0062	26,80	45
17 h	16,725	0,0120	28,70	93	15,584	0,0068	29,30	52	13,222	0,0021	29,30	21
18 h	16,228	0,0077	27,30	73	13,727	0,0023	28,00	24	9,732	0,0005	28,20	3
19 h	15,014	0,0040	25,40	36	10,332	0,0004	25,40	4	10,107	0,0004	26,00	2

Os Gráficos 7(a) de tensão, 7(b) de corrente, 7(c) de irradiação e 7(d) temperatura, em função da hora, ilustram as variações desses parâmetros, e ao mesmo tempo as suas influências sobre o painel solar em relação à posição da fonte de iluminação, as posições angulares de declinação solar e do painel solar fotovoltaico.

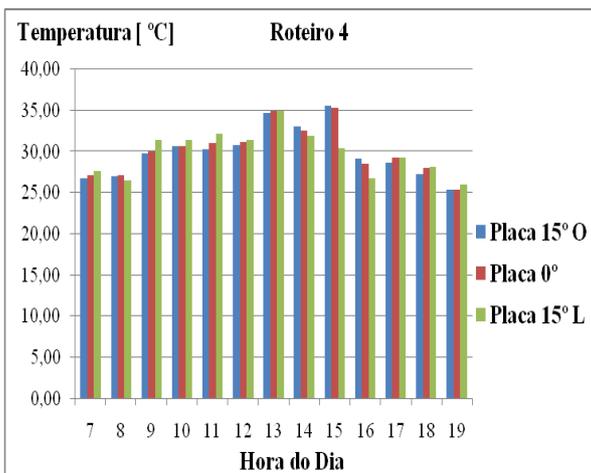
Gráfico 7 – Roteiro 4, movimento solar para o Solstício de Inverno para o painel voltado para as três posições possíveis 15° O, 0°, 15° L, para todos os horários do dia em função dos parâmetros de (a) Tensão; (b) Corrente; (c) Temperatura; (d) Irradiância.



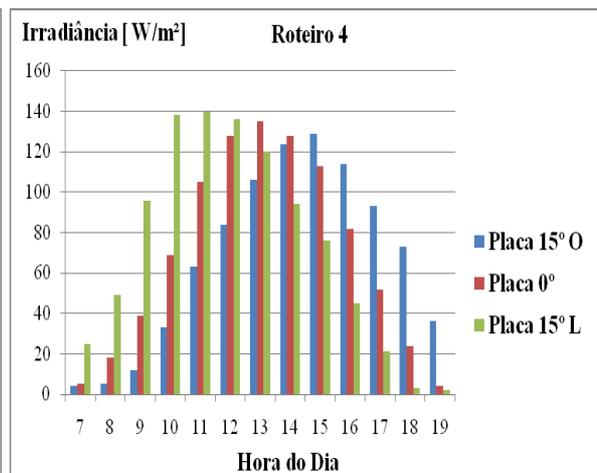
(a)



(b)



(c)



(d)

Nos resultados adquiridos pelo Roteiro 4 de forma geral em cada caso analisado, primavera/outono, inverno e verão os parâmetros de tensão, corrente, irradiação e temperatura se distribuem da mesma forma. A avaliação feita neste roteiro 4 demonstra a intensidade de iluminação que o painel solar fotovoltaico recebe, interfere diretamente na geração de energia. A geração produzida no painel solar como tensão e corrente quando há intensidade de iluminação mínima não atinge valores de tensão e corrente na situação de iluminação máxima, isso se deve ao fato para caso de dias nublados ou chuvosos com pouca iluminação solar, a geração de energia se reduz consideravelmente.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho se conclui que as análises feitas nos dados adquiridos se mostraram satisfatórias, ressaltando a idéia de que a geração de energia através do efeito fotovoltaico sobre o painel solar pode ser interferida pela sua inclinação e direção de instalação, bem como pela variação da intensidade de luz, pelo posicionamento solar observado através da declinação angular e pelo ângulo horário e se percebe que a posição solar nas diferentes horas do dia influencia diretamente nas variações da geração de energia elétrica. Portanto a bancada didática é de grande utilidade para fins educacionais.

Entretanto são observados alguns aspectos que requerem maior cuidado e melhoramento nas suas funcionalidades. As modificações nos ângulos de declinação angular foram feitas através de apertos, em que se precisou de muito cuidado e força, para que a estrutura de sustentação do projetor não desequilibrasse.

O projetor que faz o movimento solar ao longo do dia, variando assim o ângulo horário precisou de um cuidado especial contra quedas e colisões no seu manuseio, foi necessário utilização de luvas, em decorrência da alta temperatura em sua estrutura externa, ocasionado pela utilização de lâmpada halógena, pois a troca nos posicionamentos das horas precisava de aperto manual, conseqüentemente o contato com a estrutura.

Logo, pode haver modificações futuras desses e outros aspectos para os usuários. Por exemplo, a colocação de travas na base do movimento de declinação angular, para que não precise o uso de muita força por parte do usuário. Uso de um sistema eletrônico enviando movimentos mais precisos no posicionamento do projetor e do painel, evitando assim o contato com altas temperaturas na sua estrutura, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

A bancada didática se mostra então como a realização deste trabalho, mostrando-se bastante eficaz, ela atende o objetivo específico proposto inicialmente. A bancada fica a disposição de modificações para que proporcione maior praticidade e segurança aos usuários, e, portanto oferecer diferentes práticas na sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCEU FERREIRA ALVES, Energia Solar Fotovoltaica; www.feb.unesp.br/dee/docentes/alceu; 2º Semestre de 2016.

AIGETEC, Proposta Comercial 1191, Laboratório Energias renováveis; Salvador, 20 de dezembro de 2017.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica; Resolução Normativa nº 482, de 17 abril de 2012.

ARVIZU, D.; BALAYA, P.; CABEZ, L.; HOLLANDS, T.; JÁGER-WALDAU, A.; KONDO, M.; KONSEIBO, C.; MELESHKO, V.; STEIN, W.; TAMAURA, Y.; XU, H.; ZILLER, R. Direct Solar Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB); Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos; Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica – CEPEL; março de 2014.

CRAWLEY, G. (2016). Solar Energy, Volume 2 World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

FABIANA LUZIA PEREIRA, MARIANA ALVES MENDES, O Uso de Energia Solar Fotovoltaica como Alternativa À Redução de Energia Elétrica em Blocos Universitários, Tubarão, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), Snapshot of global photovoltaic markets. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016.

IKS-PHOTOVOLTAIK, Catálogo de produtos linha Solartrainer Profi., Disponível em: www.iks-photovoltaik.de

LUCAS-NULLE, Catálogo de produtos linha energias renováveis. Disponível em: www.lucas-nuelle.com

OFICINA E INTERAÇÃO PRÁTICA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PERSPECTIVA A CTSA PARA CAPCITAÇÃO DE GRADUANDOS DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ/ CAMPUS XX, VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado abril de 2017.

PEDRO RABELO RODRIGUES, Projeto de bancada didática experimental para o uso de Energia Solar e Eólica, Brasília, 2014.

PINHO, João Tavares et. al. Sistemas híbridos. Soluções energéticas para a Amazônia, 2008.

PROJETO FEUP, Energia Solar; Faculdade de Engenharia; Universidade do Porto; Porto-Portugal, 2014/2015.

PUC-RS - Núcleo de Tecnologia em Energia Solar. Disponível em <<http://www.pucrs.br/ciencias/nt-solar/#energia-solar-fotovoltaica>> Acesso em 04 junho 2018.

RIOS, <https://www.quora.com/profile/michael-rios-36>, Answered Sep 25, 2017 Originally Answered: How far is the Sun from Earth?

RUTELLY MARQUES DA SILVA, Energia Solar no Brasil dos incentivos aos desafios, Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa; Senado Federal; Textos para discussão 166; fevereiro/2015.

SEIRE CRISTINA PEREIRA RODRIGUES, Projeto de uma bancada didática para testes em painéis fotovoltaicos; Brasília-2014.

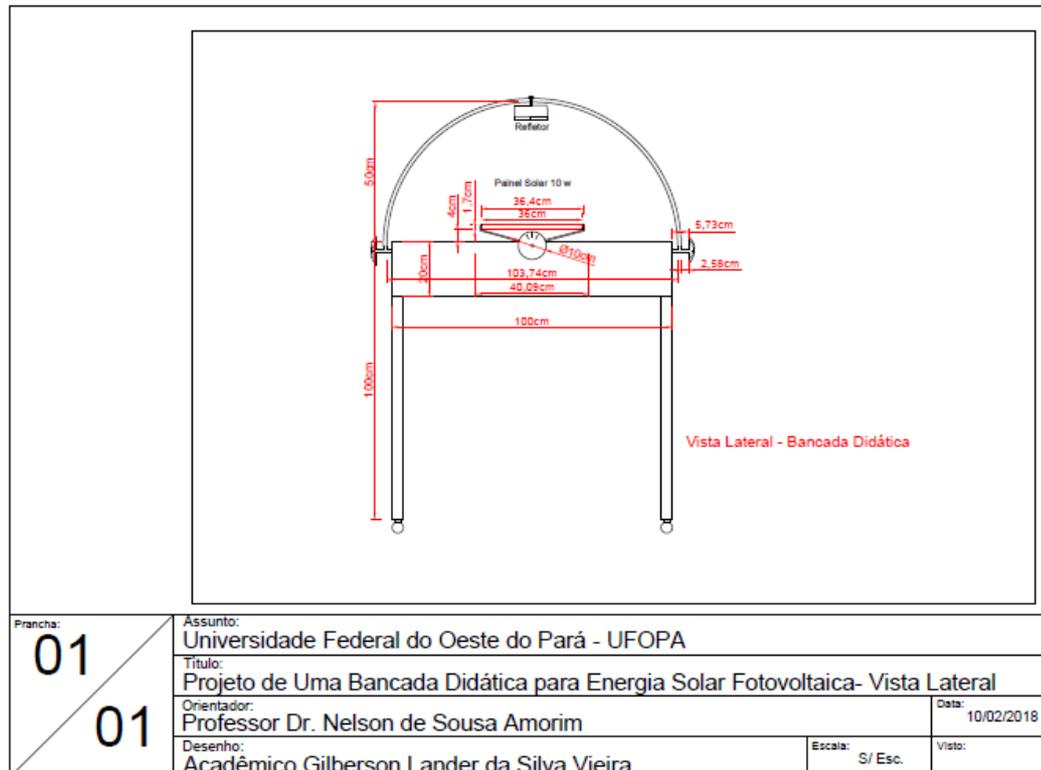
SOLAR DIDATIC, Bancada Didática para ensino e treinamento de sistemas fotovoltaicos, Disponível em: www.sonnen.com.br

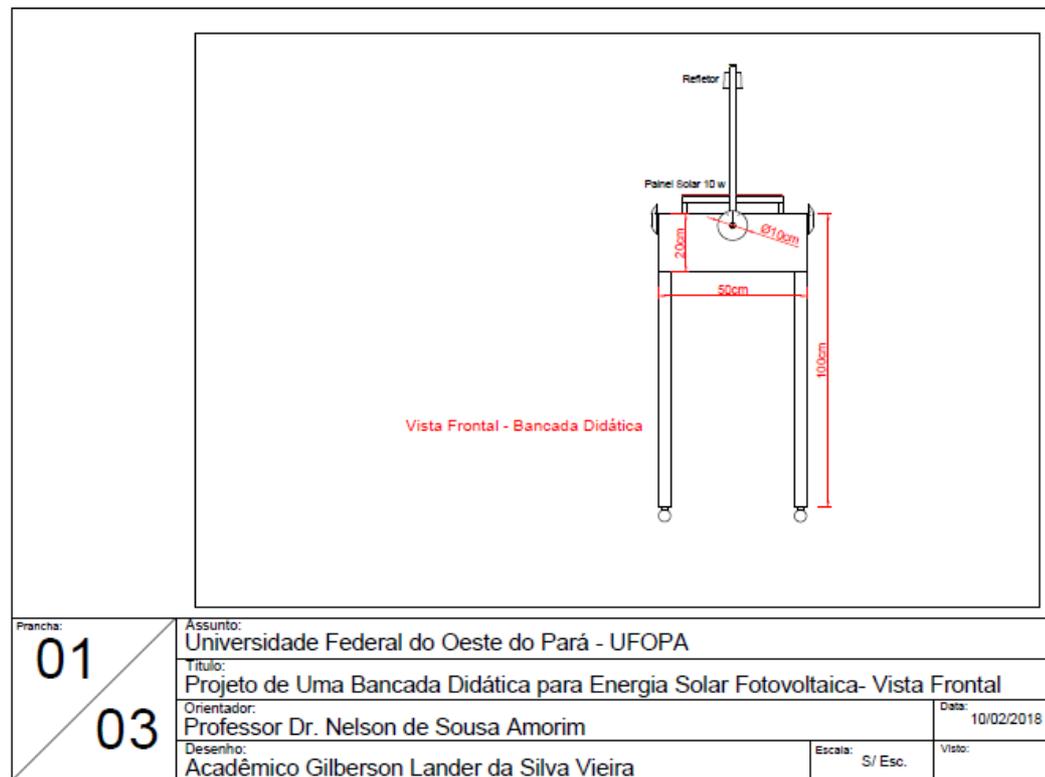
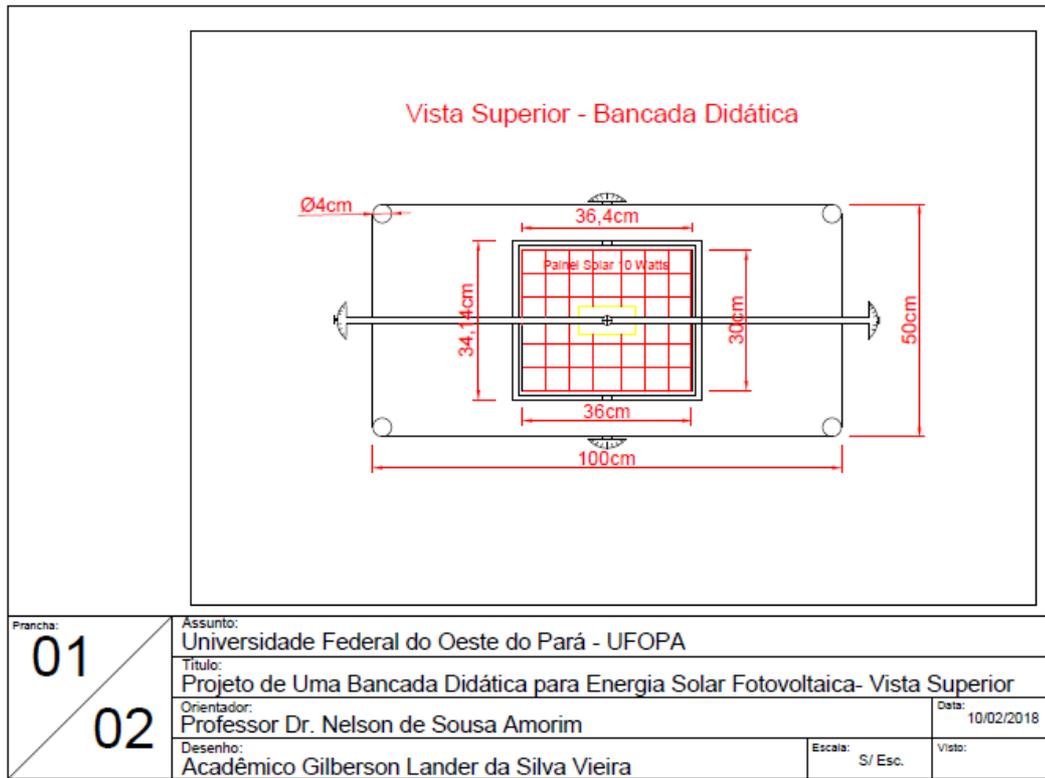
VILLALVA, GAZOLLI, JONAS RAFAEL E JUAREZ GUERRA, Energia Solar Fotovoltaica; Revista eletrônica, www.researchgate.net/publication/261175758; janeiro de 2013.

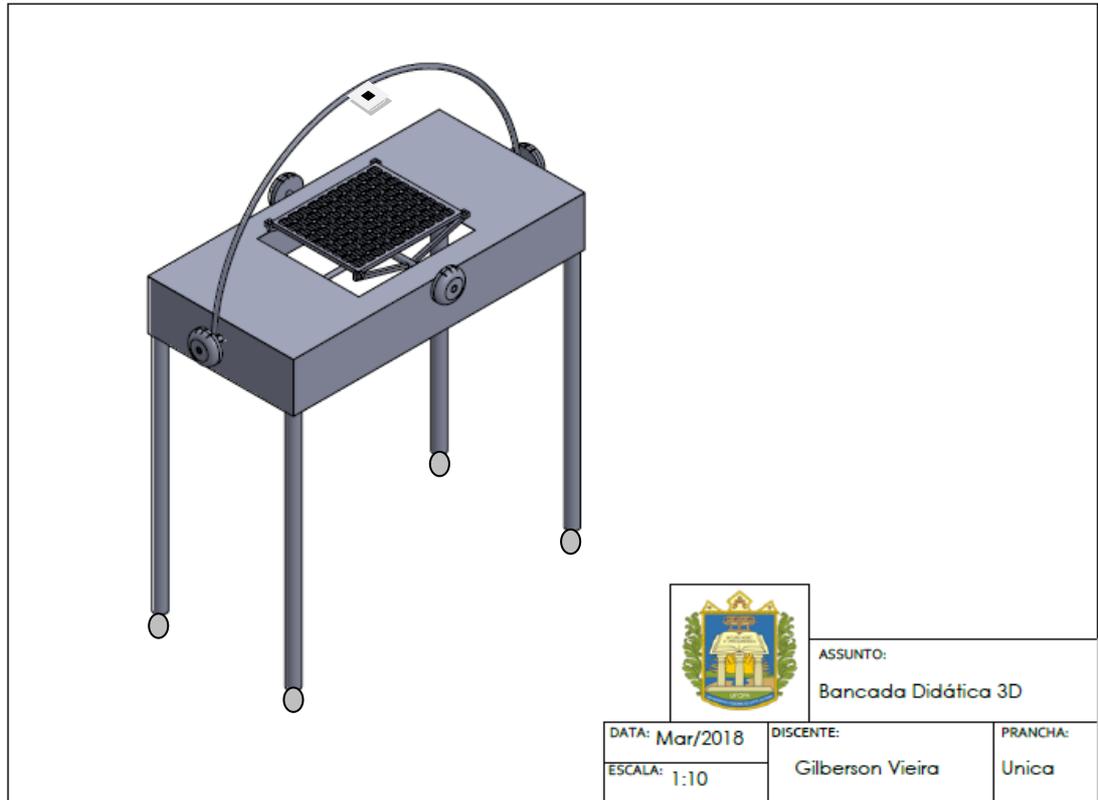
VILLALVA, MARCELO GRADELLA; GAZOLI, JONAS RAFAEL. Energia Solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações; Sistemas isolados e conectados à red. Editora Érica, 2012.

ANEXOS

Os projetos utilizados no presente trabalho, para a construção da bancada estão disponíveis abaixo, observando algumas modificações que foram feitas durante o processo de fabricação, em relação a projeto inicial.







Os materiais utilizados para construção da bancada didática para composição da estrutura física e pintura, foram disponibilizados pela empresa TSA Indústria, bem como a mão de obra. Apenas alguns materiais tiveram que ser comprados, de acordo com a lista abaixo e suas quantidades.

- 1. Painel Solar Fotovoltaico 10 w;
- 1. Refletor para lâmpada halógena;
- 3. Lâmpada halógena 500 w, 220 v;
- 1. Potenciômetro tipo Dimmer 200 K;
- 10 m. Cabo 3x 2,5mm², tipo PP isolamento 1kv;
- 1. Plugue para tomada 2P + T, 10A;
- 1. Caixa metálica 4x2;
- 1. Fita isolante baixa tensão;
- 4. Rodas de silicone para mesa de escritório;
- 20. Abraçadeira de nylon 15 cm;
- Parafusos, polcas e arruelas em geral;
- Acessórios de apertos para cabo PP;
- Adesivos em geral para detalhes de ângulos; e para placa de identificação;