

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE EDUARDO BRUNELLI JUCÁ

CHRISTIAN NAHUEL COLINA BENITEZ

GUILHERME MARTINEZ

GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM CADEIRA DE PRAIA

CURITIBA

2021

ALEXANDRE EDUARDO BRUNELLI JUCÁ
CHRISTIAN NAHUEL COLINA BENITEZ
GUILHERME MARTINEZ

GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM CADEIRA DE PRAIA

TCC apresentada ao curso de Pós-Graduação em Energias renováveis e eficiência energética, Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias renováveis e eficiência energética.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Christian Strobel

CURITIBA

2021

RESUMO

As grandes pressões ambientais sobre os sistemas naturais e o constante aumento nas demandas energéticas, propiciam um cenário para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias sustentáveis. No Brasil, apenas 0,4% da matriz energética é de renováveis e especificamente no modal de geração off-grid solar, poucas soluções de geração têm sido ofertadas no mercado. O turismo do tipo “Sol e Praia” tem números expressivos mesmo no sul do país, tendo um mercado consumidor potencial estimado de 3,5 milhões de pessoas, para um produto do segmento de cadeiras de praia, com a aplicação de tecnologia de geração de energia para abastecimento de pequenas cargas como celulares. Esse trabalho pôde verificar a viabilidade de aplicação do produto em questão e a proposição de um design conceitual dele.

Palavras-chave: Cadeira de praia, Geração energia, Paineis fotovoltaicos.

ABSTRACT

The great environmental pressures on natural systems and the constant increase in energy demands, provide a scenario for the development and application of sustainable technologies. In Brazil, only 0.4% of the energy consumed is renewable and the off-grid solar generation category have few solutions offered in the market. "Sun and Beach" tourism has significant numbers even in the south of the country, with an estimated potential consumer market of 3.5 million people, for a product in the beach chairs segment, that has photovoltaic power generation to supply small loads, such as cell phones. This work was able to verify the feasibility of the project, and a proposal for its design.

Keywords: Beach chair, power generation, photovoltaic panel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema Sol-Terra-observador	9
Figura 2- Ângulos sobre a superfície de um plano inclinado	11
Figura 3 - Variação de radiação média (L= +45; K_T médio=0,5; Sul).....	13
Figura 4 - Coordenadas utilizadas.....	17
Figura 5 - Irradiações em localidades próximas	18
Figura 6 - Irradiação em localidades próximas (Gráfico).....	18
Figura 7 - Visão geral do projeto	20
Figura 8 - Dimensões do projeto	21
Figura 9 - Modelo explodido	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conjunto 1 de equações de posição do sol.....	10
Quadro 2 - Conjunto 2 de equações de posição do sol.....	12
Quadro 3 – Turismo Sul do Brasil	15
Quadro 4 – Turismo Sul do Brasil	16
Quadro 5 – Turismo Sul do Brasil	16
Quadro 6 - especificações do painel fotovoltaico	19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 Objetivos específicos.....	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 MERCADO	13
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	15
4.1 TURISMO INTERNACIONAL.....	15
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	16
4.3 DESIGN DO PRODUTO	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

Sistemas naturais estão sob grandes pressões ambientais haja vista a necessidade de compatibilizar as ofertas energéticas com a crescente demanda mundial. No Brasil em 2017 a oferta teve crescimento de 1,3% em relação ao ano anterior (292,1 Mtep) assim como no consumo, crescimento de 1,2% no mesmo período (BEN2018). De modo geral fontes renováveis de energia têm sido incentivadas em todo o mundo. Entre as mais bem consolidadas está a geração solar, dado seus custos reduzidos e versatilidade, tendo diferentes modais de geração: on-grid, off-grid e híbrido. No cenário brasileiro como uma economia de baixo carbono a geração solar teve contribuição de apenas 0,4% da matriz de renováveis, dada grande representatividade de fontes como queima de lençóis, geração eólica e o Biodiesel e mesmo dentro da matriz elétrica a geração solar representa apenas 0,02%. Porém dentro das fontes consideradas micro e minigeração distribuída, a geração solar ocupa papel de relevância tendo representado cerca de 47% do 359 GWh gerados. Analisando cenário de equipamentos de geração para baixa carga, como por exemplo para carregamento de pequenos eletrônicos, verificou-se que apesar da disponibilidade tecnológica, poucas soluções de geração off-grid, na faixa energética em questão (10W).

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho teve por objetivo principal a aplicação de uma tecnologia já consolidada de geração de energia fotovoltaica, em um conceito sustentável de cadeira de praia.

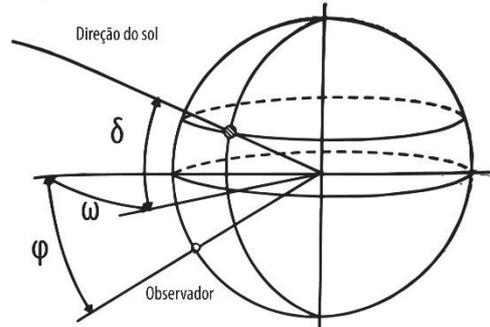
1.1.1 Objetivos específicos

- Avaliação preliminar de mercado;
- Avaliação de rendimento e dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico;
- Estudo de localização de aplicação do produto;
- Criação de um design conceitual de cadeira de praia

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para avaliação do potencial solar é necessário primeiramente entender a relação entre os movimentos terrestres, e a posição solar sobre a superfície.

Figura 1- Esquema Sol-Terra-observador



Fonte: adaptado de SIMÕES-MOREIRA, José R, *et al*, 2017.

Considerando os movimentos orbitais e a inclinação do

eixo de rotação terrestre, pode-se definir alguns ângulos importantes que determinam o de duração de insolação (N) para um dia específico do ano, sendo o ângulo de latitude (ϕ), ângulo horário (ω), ângulo solar de pôr do sol (ω_s), e a declinação solar (δ) como na Figura 2. Os ângulos horários variam com o passar das horas diárias e dia do ano (n). Na determinação da duração de insolação diária o conjunto de equações do Quadro 1 é utilizado para relacionar as posições sob a superfície terrestre e da posição da terra em relação ao Sol.

Algumas considerações são importantes para utilização desse conjunto de equações: para determinar o dia do ano n conforme equação 1, segue a relação: se o $Mês$ é menor ou igual a 2 a variável Cor é dada pelo menor inteiro de $Mês/2$; se $2 < Mês \leq 8$ então Cor é dada pelo menor inteiro de $(Mês/2)-2$, e se $Mês > 8$ então Cor é dada pelo menor inteiro de $(Mês/2)+1/2$, subtraído de 2. Dispondo do dia do ano a declinação é dada pela equação 2. A hora solar (HS) e hora legal (HL) se relacionam pela equação 3, a variável $Corhora$ utiliza os valores de longitude (L) e longitude legal (L_0), da localidade a equação do tempo que relaciona o tempo solar aparente e a hora legal, sob os efeitos de obliquidade do eixo da terra e elipticidade de sua órbita. Dada a variação de duração do dia em uma data latitude ao longo do ano calcula-se o ângulo solar de pôr do sol.

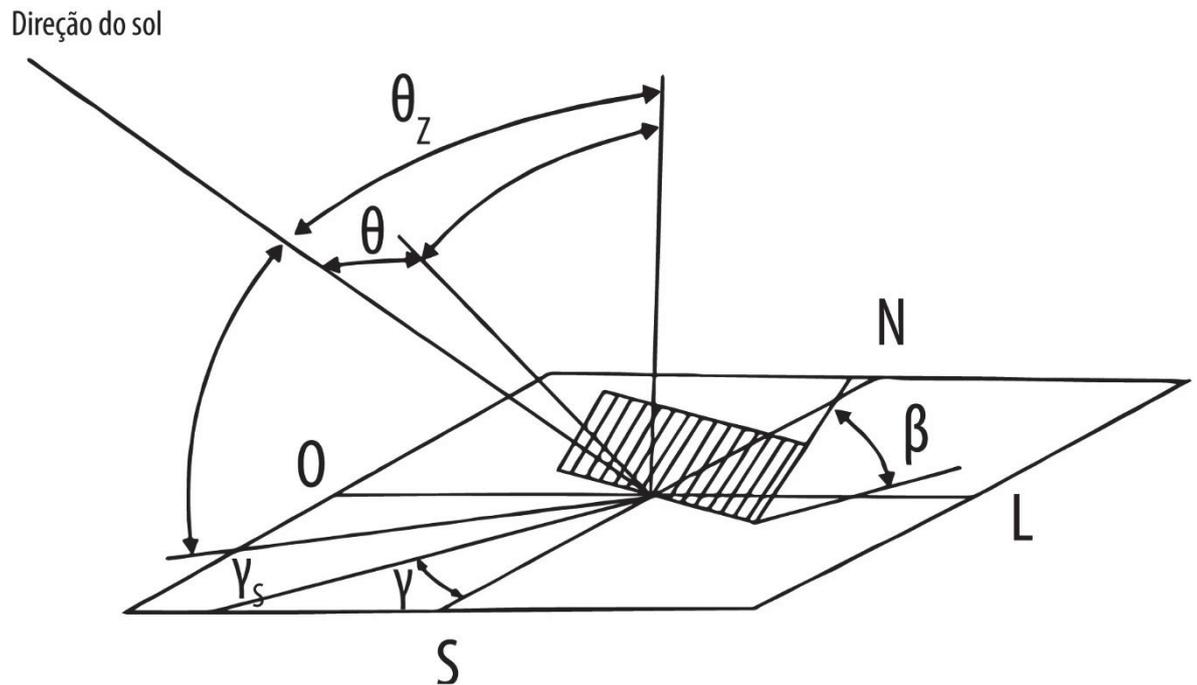
Quadro 1 - Conjunto 1 de equações de posição do sol

Parâmetro	Equação	Nº
Dia do ano	$n = Dia + (Mês - 1) \times 30 + Cor$	1
Declinação solar	$\delta = 23,45 \times \text{sen}\left(\frac{360 \times (284 + n)}{365}\right)$	2
Hora Solar	$HS = HL + Corhora$	3
	$Corhora = (4 \times (L_0 - L) + E)/60$	4
Equação do tempo	$E = 9,87 \times \text{sen}(2B) - 7,53 \times \text{cos}(B) - 1,5 \times \text{sen}(B)$	5
Parâmetro B	$B = \left(\frac{360}{364}\right) \times (n - 81)$	6
Ângulo horário	$\omega = (HS - 12) \times 15$	7
Ângulo horário de pôr do sol	$\text{cos } \omega_s = -\tan \phi \times \tan \delta$	8
Duração de insolação	$N = (2/15) \times \omega_s$	9

Fonte: adaptado de SIMÕES-MORERA, José R, *et al*, 2017.

Outro fator de influência é a inclinação do plano horizontal de incidência da radiação. A Figura 2, representa a configuração de um plano inclinado e da direção de incidência da radiação, aspectos relevantes a modelagem da geração solar. O Conjunto descrito no Quadro 2, de equações de posição do sol, apresenta o equacionamento das variáveis. O ângulo zenital (θ_Z) varia de 0° à 90° e representa o ângulo de incidência sob um plano horizontal. Considerando uma superfície inclinada com ângulo de inclinação (β) e considerando o azimute $\gamma = 180^\circ$ para o hemisfério sul, ou seja, o plano inclinado voltado para o norte temos a equação 13.

Figura 2- Ângulos sobre a superfície de um plano inclinado



Fonte: adaptado de SIMÕES-MOREIRA, José R, *et al*, 2017.

Pode aproximar a irradiação solar como um feixe paralelo e a constante solar (G_{SC}) que sob uma superfície perpendicular a direção dos raios paralelos representa a energia por unidade de tempo. Para a distância entre a Terra e o Sol, assume-se $G_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$. A irradiância extraterrestre (G_0) deve ser corrigida sob os efeitos de atenuação atmosférica. A irradiação solar total sobre um plano horizontal é composta pela parcela direta (G_B) e difusa (G_D) ou ainda refletida. Para determinação das componentes

difusas e direta utiliza-se equipamentos de medida de irradiância como piranômetro com sombreamento para G_D e para irradiação direta na direção de incidência é dado pelo periliômetro, sendo possível integrar os valores medidos hora a hora ou diários e calcular médias mensais. O agregado de registros de estações distribuídas pelo mundo pode ser compilado em mapas solar de irradiação. Para o presente trabalho foi utilizado o *Atlas Solarimétrico do Brasil*. Com o objetivo de estimar valores de radiação difusa e direta estudos como de Origill e Hollands (1997), Collares Pereira e Rabl (1979), utilizam o índice de claridade (k_T) para relacionar a radiação extraterrestre e sua versão atenuada pela atmosfera.

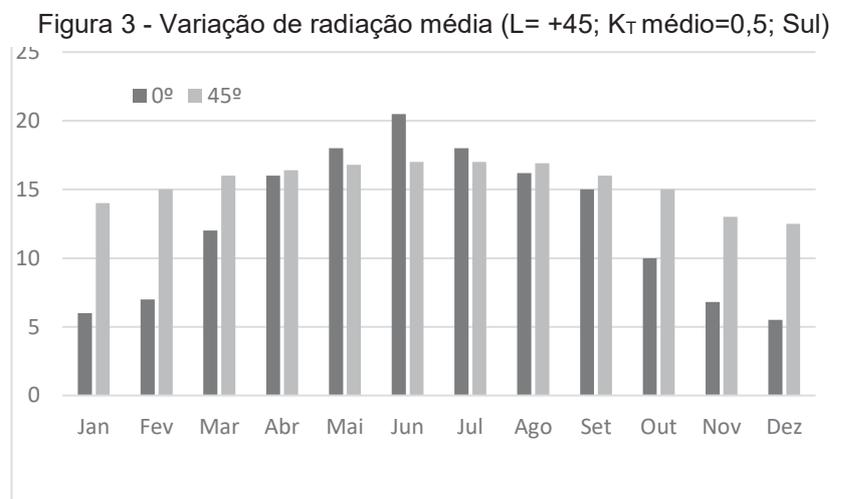
Quadro 2 - Conjunto 2 de equações de posição do sol

Parâmetro	Equação	Nº
Ângulo zenital	$\cos \theta_z = \text{sen } \delta \text{ sen } \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$	10
Azimute solar	$\gamma_s = \text{arc cos} \left(\frac{\cos \theta_z \text{ sen } \phi - \text{sen } \delta}{\text{sen } \theta_z \cos \phi} \right)$	11
Ângulo de incidência solar	$\cos \theta$ $= \text{sen } \delta \text{ sen } \phi \cos - \text{sen } \delta \cos \phi \text{ sen } \beta \cos \gamma$ $+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \text{ sen } \phi \text{ sen } \beta \cos \gamma \cos \omega$ $+ \cos \delta \text{ sen } \beta \sin \gamma \sin \omega$	12
Ângulo de inclinação hemisfério sul e $\gamma = 0$	$\cos(\phi + \beta) = \cos(\delta) \cos \omega + \sin \phi + \beta \sin \delta$	13

Fonte: adaptado de SIMÕES-MOREIRA, José R, *et al*, 2017.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Avaliando a variação radiação média mensal sob influência do ângulo β do plano inclinado, tendo como variável de controle o ângulo de azimute, $\gamma = 180^\circ$, sob uma latitude fixa, $L = +45^\circ$ e supondo claridade média mensal de 0,5 para o ano todo tem-se Figura 3. Considera-se que a inclinação ameniza os extremos da variação de radiação ao longo do ano, também é razoável assumir que pequenas variações do ângulo de azimute ($\leq \pm 20^\circ$) têm pouca influência sob energia coletada.



Fonte: adaptado de SIMÕES-MOREIRA, José R, *et al*, 2017.

3.1 MERCADO

Para dimensionar o tamanho do mercado, foi estimada a quantidade de turistas que visitam os estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul com motivo de lazer e em busca de turismo de Sol e Praia. Este segmento é o que consideramos como compradores potenciais e consumidores de nosso produto. Foi escolhido o Sul do Brasil como mercado objetivo dado que a nossa ideia foi desenvolvida em Curitiba, e por questões logísticas é conveniente focar num mercado próximo. O nosso estudo também pode ser aplicado em regiões do Sudeste e Nordeste do Brasil, porém, por ser um produto novo, decidiu-se, penetrar o mercado numa região menor até ganharmos maturidade.

Não existem dados com a quantidade real de turistas que anualmente optam por este tipo turismo (Sol e Praia), mas mediante dados estatísticos obtidos do Ministério de turismo e

entidades públicas, é possível determinar o volume de turistas internacionais e brasileiros em cada região, usando como referência dados do ano 2018.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 TURISMO INTERNACIONAL

No ano 2018, os estados Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, receberam 2.184.971 turistas internacionais. Para obtermos a quantidade de turistas que chegaram por motivo de lazer e com destino “Sol e Praia”, foi coletado o perfil da demanda turística internacional em cada estado, informado na pesquisa da demanda turística internacional no Brasil – Ministério de turismo, conforme as informações da tabela.

Quadro 3 – Turismo Sul do Brasil

Estado	Turistas internacional 2018	Motivo de viagem	Motivo: Sol e praia	Total turistas
PR	948.368	58,70%	12,70%	70.700
RS	1.011.824	59,20%	73,70%	441.463
SC	224.779	90,10%	95,10%	192.602

Fonte: Estudo da Demanda Turística Internacional Brasil-2018. Mtur, 2018.

A través de nosso cálculo, é possível estimar que no ano 2018 houve aproximadamente 704.765 turistas estrangeiros nas praias no sul do Brasil. Pelo lado do turismo doméstico, foi coletada informação da quantidade de turistas que viajaram pelo Brasil (terrestre e aéreo) no ano 2018. Conforme informado no módulo Turismo da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2019, 86,5% das viagens realizadas foram por motivos pessoais. Das viagens por motivo pessoal, 31,5% ocorreram em busca de lazer, e dentre os motivos de lazer, 34,3%, viajou para fazer turismo de sol e praia. Na mesma pesquisa foi publicado que os estados Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina se encontram entre as 10 unidades da federação mais procuradas para viagens nacionais recebendo 6,7%, 5,6% e 4,2% dos viajantes do país. Com estes dados, calculamos a quantidade de pessoas que optaram pelo Turismo de sol e praia na região estudada.

Quadro 4 – Turismo Sul do Brasil

Turistas (Brasil)	2018	Motivo da viagem: Pessoal	Tipo de viagem: Lazer	Tipo de Turismo :Sol e praia	Total turistas
	179.279.995	86,50%	31,50%	34,30%	16.755.316

Fonte: Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios Contínua (PNAD Contínua). IBGE, 2019.

Quadro 5 – Turismo Sul do Brasil

Turistas (Brasil)	2018	Tipo de Turismo :Sol e praia	Total turistas
	PR	5,60%	917.162
	RS	6,70%	1.097.319
	SC	4,20%	687.872

Fonte: Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios Contínua (PNAD Contínua). IBGE, 2019.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segue o memorial de cálculo e variáveis assumidas:

Tensão de alimentação da bateria do celular: 5 Volts (14)

Corrente aproximada: 2 Amperes (15)

Potência = $P = V.I = 5.2 = 10$ Watts (16)

O tempo considerado necessário para consumir a energia do celular completamente foi de 12 horas. O tempo considerado para carregamento da bateria foi de 1 hora

A energia consumida:

$$\frac{10 \text{ watts}}{x} = \frac{12 \text{ horas}}{1 \text{ hora}} \quad (17)$$

$$x = 0,83 \text{ watt.hora} \quad (18)$$

A energia total necessária considerando que o consumo durante 6 horas:

$$(0,83) \cdot (6) = 4,98 \text{ watts.hora} \quad (19)$$

Memorial de Cálculo:

$$\text{Potência} = \left(\frac{\text{Energia}}{\text{Tempo}} \right) \cdot \text{Rendimento} \quad (20)$$

Para o cálculo da potência a ser utilizada nos painéis, é necessário se levar em conta as perdas de processo; Perdas devido ao aquecimento das placas: As perdas variam entre 7% a 18%. Foi considerado para efeito de cálculo 11%, portanto, $100\% - 11\% = 89\%$; Perdas por incompatibilidade elétrica devido às construções das placas não serem iguais. As perdas variam entre 1% a 2%. Foi considerado para efeito de cálculo 1,5%, portanto $100\% - 1,5\% = 98,5\%$; Perdas por sujeiras nas placas. As perdas variam entre 1% a 8%. Foi considerado para efeito de cálculo 2%; portanto, $100\% - 2\% = 98\%$; Perdas por efeito joule. As perdas variam entre 0,5% a 1%. Foi considerado para efeito de cálculo 1%, portanto, $100\% - 1\% = 99\%$. Sendo assim o rendimento total é estimado em:

$$\text{Rendimento Total} = (0,89) \cdot (0,985) \cdot (0,98) \cdot (0,99) = 0,85 = 85\% \quad (21)$$

Para o cálculo do tempo de irradiação no local onde vai ficar o painel solar, foi considerado a latitude e longitude da região abaixo:

Figura 4 - Coordenadas utilizadas

Coordenada Geográfica

Latitude		Longitude	
25.79	Sul	48.53	Oeste

Norte:

graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar Limpar

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/>

Figura 5 - Irradiações em localidades próximas

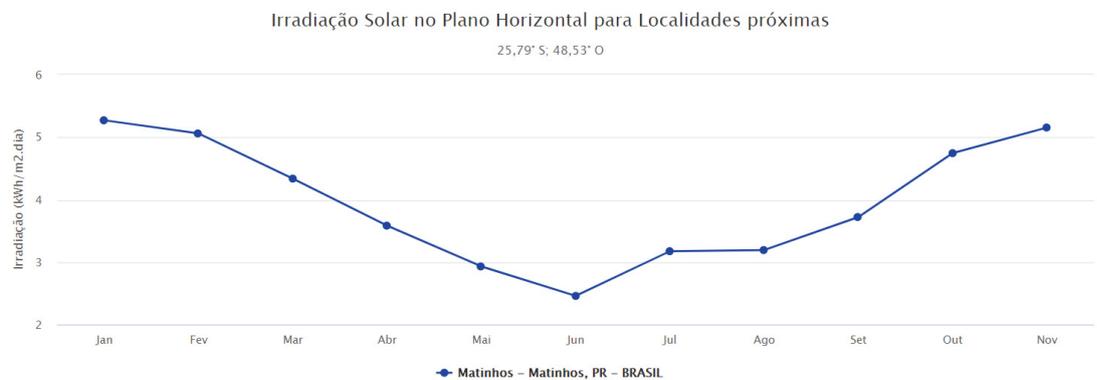
Localidades próximas

Latitude: 25,79° S
Longitude: 48,53° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]												Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez
<input checked="" type="checkbox"/>	Matinhos	Matinhos	PR	BRASIL	25,801° S	48,549° O	2,3	5,27	5,06	4,34	3,58	2,93	2,46	2,50	3,18	3,19	3,72	4,75	5,16	3,84	2,81
<input type="checkbox"/>	Pontal do Parana	Pontal do Parana	PR	BRASIL	25,701° S	48,549° O	10,1	5,12	5,03	4,27	3,53	2,93	2,47	2,51	3,20	3,16	3,67	4,63	5,12	3,80	2,66
<input type="checkbox"/>	Guaratuba	Guaratuba	PR	BRASIL	25,801° S	48,649° O	12,0	5,16	4,97	4,25	3,53	2,91	2,47	2,51	3,23	3,15	3,61	4,64	5,04	3,79	2,69

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/>

Figura 6 - Irradiação em localidades próximas (Gráfico)



Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/>

(22)

$$Potência da Placa = \left(\frac{4,98}{3,84}\right) \cdot 0,85 = 1,52 \text{ Watts}$$

Esta potência é chamada de pico ou máxima. Assim teremos a potência necessária de 1,52Wp. Com os valores encontrados, é possível definir a corrente, conforme cálculo abaixo:

$$Corrente = \left(\frac{Potência}{tensão}\right) = \left(\frac{1,52}{5}\right) = 0,3 \text{ Amperes} \quad (23)$$

Dessa maneira, foi procurado uma especificação de placa fotovoltaica dentro dos parâmetros determinados pelos cálculos acima. O produto encontrado segue abaixo:

Quadro 6 - Especificações do painel fotovoltaico

Dimensão:	150 mm x 140 mm x 15 mm
Peso:	150 g
Potência:	2 W
Corrente:	0,33 A
Número de placas:	Uma placa é suficiente
Preço da placa:	R\$ 44,99

Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/>

4.3 DESIGN DO PRODUTO

Tratando-se de um objeto de uso amplo e ao ar livre, foram tomadas decisões de projeto visando simplificar a utilização do equipamento como o descarte de um sistema de ajuste angular independente foi descartado, a fim de mantê-lo acessível a usos múltiplos e compatível com as demandas do usuário. Considerando as pequenas cargas requeridas para função principal do produto e a pouca influência dos ângulos de inclinação sobre a energia coletada, optou-se por um projeto simples, com o painel fixado sobre soleira móvel com apenas um grau de liberdade como na Figura 7 , porém sem ajuste independente de ângulo de inclinação (β) do painel fotovoltaico assim como o ajuste de azimute (γ) que está acoplado a posição da cadeira sobre a superfície. Para manter aspectos de ergonomia foram utilizadas dimensões padrão de cadeiras de descanso, mas mantendo comprimento máximo de 130cm, a fim de manter a facilidade de transporte dada sua natureza de utilização ao ar livre. As demais dimensões principais estão descritas na Figura 8. Outro aspecto avaliado foi a facilidade de montagem, procurou-se manter um número reduzido de componentes e perfil linear em suas peças na Figura 9

Figura 7 - Visão geral do projeto

VISÃO GERAL

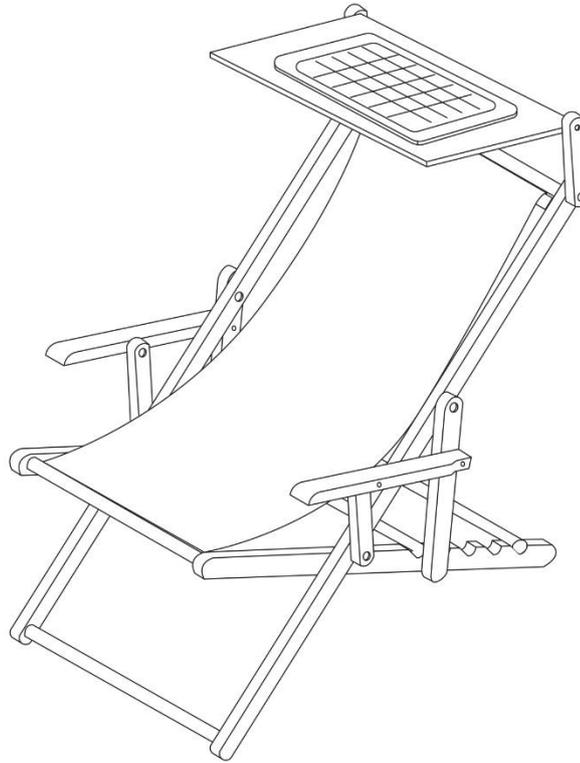


Figura 8 - Dimensões do projeto

VISTA EXPLODIDA

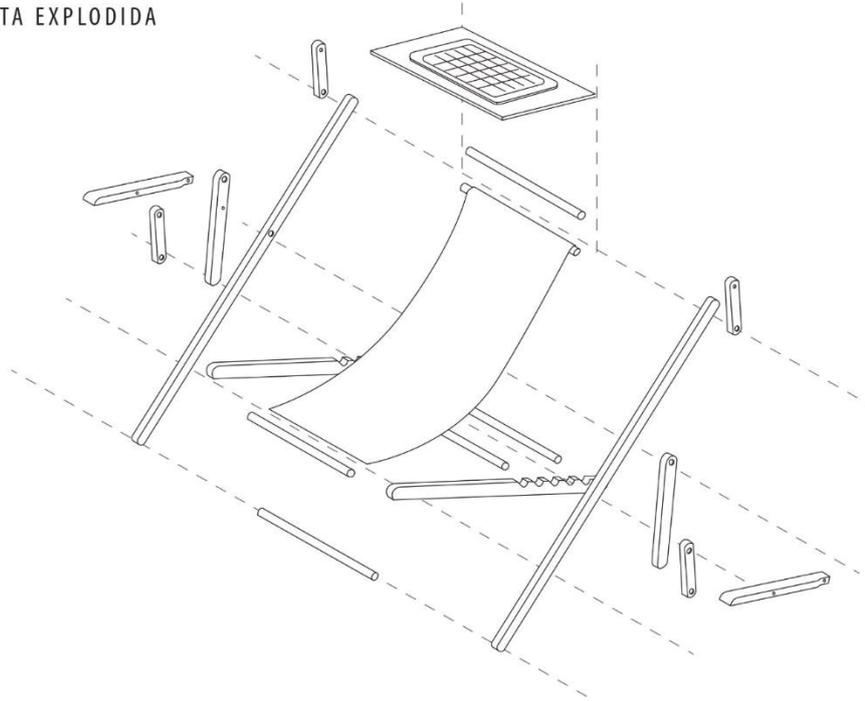
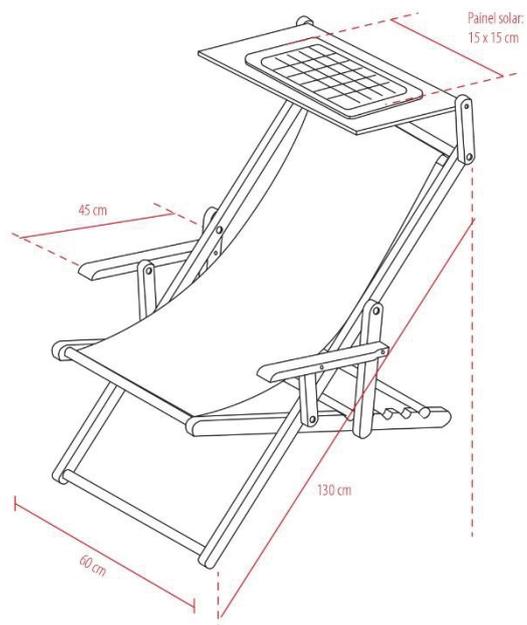


Figura 9 - Modelo explodido

VISÃO GERAL - DIMENSÕES



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise de comercial identificou-se a existência de um mercado em potencial para venda do produto projetado. Fica compreendido que o projeto tem condições de escalabilidade e monetização. Através dos cálculos e dimensionamento, e consulta ao mercado, encontrou-se placas fotovoltaicas compatíveis, com as especificações necessárias para o desenvolvimento do projeto. Como conclusão final verificou-se a possibilidade de combinar tecnologias já consolidadas de geração de energia, em um produto de ampla de utilização, no sentido de criar um conceito sustentável, e que surge para atender uma necessidade com poucas soluções aplicadas no mercado. Como trabalho futuro pode-se aprofundar as análises de mercado e de produto em um plano de negócios direcionado, a fim de esclarecer questões como, matérias a serem utilizados, fornecedores, concorrência e detalhamento de uma DRE.

REFERÊNCIAS

CCST/LABREN/INPE, 2017. CRESESB SUNDATA/WEB - Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição. São Paulo - SP. Acesso em 18/08/2020 < <http://www.cresesb.cepel.br/> >.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT) - Anuário CNT do Transporte 2019. Brasília, 2019

EPE. Balanço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017. Rio de Janeiro, 2018. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Acesso 18/08/2020 < <http://www.epe.gov.br> >.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios Contínua (PNAD Contínua). Rio de Janeiro, 2019.

MINISTERIO DE TURISMO. Estudo da Demanda Turística Internacional Brasil-2018. Brasília, 2018.

SIMÕES-MOREIRA, José R.; HERNANDEZ NETO, Alberto; AMARAL, Alessandra Camilla do; et al. Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. [S.l: s.n.], 2017.