

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRO MAIXIMOWSKI

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ANÁLISE DE CONTAMINANTES
SUPERFICIAIS EM VIDROS USADOS EM PAINÉIS SOLARES**

GUARAPUAVA

2022

ALEXANDRO MAIXIMOWSKI

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ANÁLISE DE CONTAMINANTES
SUPERFICIAIS PARA VIDROS USADOS EM PAINÉIS SOLARES**

*Development of a prototype for surface contaminants analysis to glasses used
in solar panels*

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Tecnólogo em Manutenção Industrial, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientadora: Dra. Viviane Teleginski Mazur
Coorientador: Dr. Maurício Marlon Mazur

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ALEXANDRO MAIXIMOWSKI

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ANÁLISE DE CONTAMINANTES
SUPERFICIAIS PARA VIDROS USADOS EM PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Tecnólogo em Manutenção Industrial, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 30/ novembro /2022

Viviane Teleginski Mazur
Doutorado em Ciências e Tecnologias Espaciais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Hilson Henrique Daum
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vlademir Aparecido Freire Junior
Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me abençoou com a vida pra que hoje eu possa realizar esse trabalho e me deu forças .

Aos professores Viviane Teleginski Mazur e Mauricio Marlon Mazur, que me ajudaram e acreditaram na realização de trabalho, que sem esse apoio não seria possível a realização do mesmo.

Aos meus pais e minha esposa que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e que sempre me ajudaram com tudo aquilo que necessitava durante o curso.

A toda a instituição da UTFPR que sempre deram total apoio para os estudos e pesquisas, aos meus colegas de curso aos quais sempre nos ajudamos nas dificuldades.

E a todos os professores aos quais passaram no curso e me incentivaram a continuar para que chegasse até aqui.

RESUMO

A pesquisa para projetar esse protótipo vem na necessidade de melhorar o funcionamento e também a eficiência da geração de energia dos painéis solares. Entretanto, a exposição dos painéis em ambientes externos podem afetar a sua eficiência devido a acumulação de sujidades na superfície do vidro, tais como fuligem industrial ou veicular, salinidade, areia, poeira, material orgânico e etc. Com o intuito de se avaliar o comprometimento da passagem de luz nos vidros de painéis solares expostos a diferentes condições, neste trabalho foi desenvolvido um sistema que permite quantificar a passagem de luz em lâminas de vidro. O projeto do dispositivo foi realizado em software CAD e as peças foram fabricadas utilizando impressora 3D. Empregou-se os componentes comerciais como Arduino, sensor de densidade luminosa, painel solar e placa de LED para composição do protótipo. Testes de funcionalidade foram realizado expondo-se amostras de vidro em diferentes ambientes no campus Guarapuava da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, comprovando sua funcionalidade. Assim o projeto tem com finalidade projetar e fabricar um protótipo o qual atende como analisar amostras de laminas de vidro a qual simule uma superfície de painel solar para quantificar a perda de eficiência dos painéis.

Palavras-chave: Painel solar; Perda de eficiência; Contaminantes.

ABSTRACT.

The research to design this prototype comes from the need to improve the functioning and also the efficiency of energy generation from solar panels. However, exposing the panels to external environments can affect their efficiency due to the influence of dirt on the glass surface, such as industrial or vehicular soot, salinity, sand, dust, organic material, etc. of the passage of light through the glass of solar panels exposed to different conditions, in this work a system was developed to quantify the passage of light through glass slides. The device design was carried out in CAD software and the parts were manufactured using a 3D printer. Commercial components such as Arduino, luminous density sensor, solar panel and LED board were used to compose the prototype. Functionality tests were carried out by exposing glass in different environments on the Guarapuava campus of the Federal Technological University of Paraná, proving its functionality. So the project has to design, design and manufacture a prototype which meets how to analyze the sample of glass slides which simulates a solar panel surface to quantify the loss of efficiency of the panels.

Keywords: Solar panel; Loss of efficiency; Contaminants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução anual da potência instalada de energia solar no Brasil	17
Figura 2 – Componentes de um painel fotovoltaico	18
Figura 3 - Estrutura dos semicondutores tipo N e tipo P	20
Figura 4 – Painel solar instalado em região de incidência de sujidades, onde (a) mostra o painel sujo, com baixa eficiência e em (b) mostra-se após a limpeza, com eficiência maior	21
Figura 5 – Fluxograma do desenvolvimento do projeto	23
Figura 6 - Desenho esquemático do sistema SAC	24
Figura 7- Esquemático elétrico da ligação do Arduino, sensor de lumens e painel OLED	24
Figura 8- Fotografia do suporte para amostras de laminas de vidro	27
Figura 9 - Montagem em CAD do sistema de análise de contaminantes - SAC	28
Figura 10 - Componentes da caixa em CAD e após a impressão em PLA, onde (a) é a parte inferior da caixa, (b) a parte intermediária e (c) o case para o Arduino.....	29
Figura 11 - Montagem do Sistema de Análise de Contaminantes (SAC).....	30
Figura 12 - SAC após montagem e inicializado	31
Figura 13 - Imagem de satélite do campus Guarapuava da UTFPR.....	32
Figura 14 - Luminosidade medida para as amostras analisadas e a média para cada local de exposição avaliado	34
Figura 15 - Tensão, corrente e eficiência medidas para as amostras analisadas e a média para cada local de exposição avaliado	35
Figura 16 - Chuva mensal média em agosto de 2022 em Guarapuava, PR.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes renováveis de energia e contribuição percentual para a matriz energética brasileira	13
Tabela 2 – Materiais utilizados para fabricação dos suportes para amostras de lâminas de vidro	26
Tabela 3 – Lista de componentes comerciais para o SAC	29
Tabela 4 – Resultados das análises com o SAC para as amostras expostas de lâmina de vidro	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer-Aided Design</i> , do inglês Desenho Assistido por Computador
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i> , do inglês Etileno Acetato de Vinil
LED	<i>Light Emission Diode</i> , do inglês Diodo Emissor de Luz
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , do inglês Porta Serial Universal
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Histórico e perspectivas da energia fotovoltaica	16
2.2	Painéis solares	17
2.2.1	Células fotovoltaicas.....	19
2.3	Acúmulo de sujeira em painéis solares	20
3.1	Projeto do protótipo de análise de contaminantes – PAC	23
3.2	Impressão 3D das peças.....	25
3.3	Testes em campo do PAC	25
3.3.1	Amstras de lâminas de vidro e condições de exposição ambiental.....	25
3.3.2	Suportes para amostras de lâminas de vidro	26
3.4	Fabricação dos suportes para amostras de lâminas de vidro	26
4.1	Projeto do PAC	28
4.2	Exposição das lâminas de vidro em ambiente externo	32
	REFERÊNCIAS.....	38
	ANEXO 1 – CASE DO SAC, PARTE INTERMEDIÁRIA	41
	ANEXO 2 - CASE PARA ARDUINO.....	42
	ANEXO 3 - CASE INFERIOR DO SENSOR E PAINEL FOTOVOLTAICO.....	43

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é indispensável para a vida moderna, alimentando os atuais equipamentos utilizados para que funcionem corretamente. A utilização da energia elétrica permeia todos os setores da atividade humana moderna, estendendo-se em unidades médicas, irrigação agrícolas, ambientes escolares, residenciais, entre outros. Devido a elevada demanda por energia elétrica há uma necessidade contínua de melhoria no processo produtivo e redução de perdas ou eficiência.

A matriz energética brasileira é constituída de diversas fontes de geração de energia, sejam elas oriundas de energias renováveis ou não. De acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética, o Brasil possui uma oferta interna de 48,4 % de energias renováveis e de 51,6 % de não renováveis (ALEM DA ENERGIA ENGIE 2022). A Tabela 1, mostra as fontes provenientes das energias renováveis no Brasil.

Tabela 1 – Fontes renováveis de energia e contribuição percentual para a matriz energética brasileira

Fonte energética	Contribuição na matriz energética brasileira (%)
Etanol e bagaço de cana	9,1
Hidroelétricas	64,2
Eólica	8,8
Energia solar	1,7

Fonte: ALEM DA ENERGIA ENGIE (2022)

Chama-se atenção para a fonte energia solar indicada na Tabela 1, pois a participação percentual da matriz de energia solar, é a mais baixa entre todas as citadas. A disponibilidade de implantação de energia solar no Brasil aumentou consideravelmente com uma participação de 1% em 2019 para 1,7% em 2020, quase que dobrou sua participação (ALEM DA ENERGIA ENGIE, 2022).

Os painéis solares são instalados nos mais diversificados ambientes e condições, as que podem ser desfavoráveis na eficiência da geração de energia. Estes problemas podem estar associados com a orientação do painel em relação ao sol, sombra, temperatura ambiente, precipitações e deposição de materiais particulados.

Neste sentido, neste trabalho de pesquisa desenvolveu-se um protótipo para avaliação do comprometimento da passagem de luz em vidros de painéis solares com contaminantes superficiais. O sistema consiste de peças fabricadas por meio da manufatura aditiva (impressão 3D) e componentes eletroeletrônicos comercialmente disponíveis. Para validar o sistema desenvolvido, testes com lâminas de vidro foram realizados após exposição em diferentes ambientes, especificamente no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O impacto dos dados obtidos podem ser úteis na previsão de ciclos de manutenção dos painéis instalados, como também verificar possíveis alternativas para reduzir o acúmulo dos contaminantes. Entende-se como redução a busca de novas tecnologias aplicadas a superfícies que são expostas a ambientes contaminantes.

Esse projeto tem como desenvolvimento principal a fabricação de um protótipo do qual posamos efetuar análises de superfícies com contaminantes e quais suas interferências na eficiência de painéis solares, tendo como objetivo a construção desse projeto através cases os quais e a base do protótipo, nele temos toda a parte de eletrônica, micro controlador, sensor, etc.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema para avaliação do comprometimento da passagem de luz em lâminas de vidro.

1.2 Objetivos Específicos

- Projetar o sistema utilizando software de desenho 3D e dispositivos componentes disponíveis;
- Aplicar a manufatura aditiva para a produção das peças do sistema;
- Programar um controlador Arduino e implementar os sensores;
- Expor lâminas de vidro em diferentes locais para acumulação de contaminantes;

- Realizar testes de validação do sistema quanto a diminuição da passagem de luz e eficiência da conversão de energia luminosa em energia elétrica, devido a presença de contaminantes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico e perspectivas da energia fotovoltaica

O efeito da transformação da energia solar em elétrica foi inicialmente observado por Edmond Bequerel em 1839 (NASCIMENTO, 2004), que visualizou uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora quando exposta à incidência de luz. Entretanto, o custo da fabricação era bem elevado e dificultava a sua implementação prática, sendo empregado apenas em trabalhos especiais, como na geração de energia para satélites. Foi somente 1956, com novas descobertas da microeletrônica, que foram construídos os primeiros painéis de células fotovoltaicas industriais (NASCIMENTO, 2004).

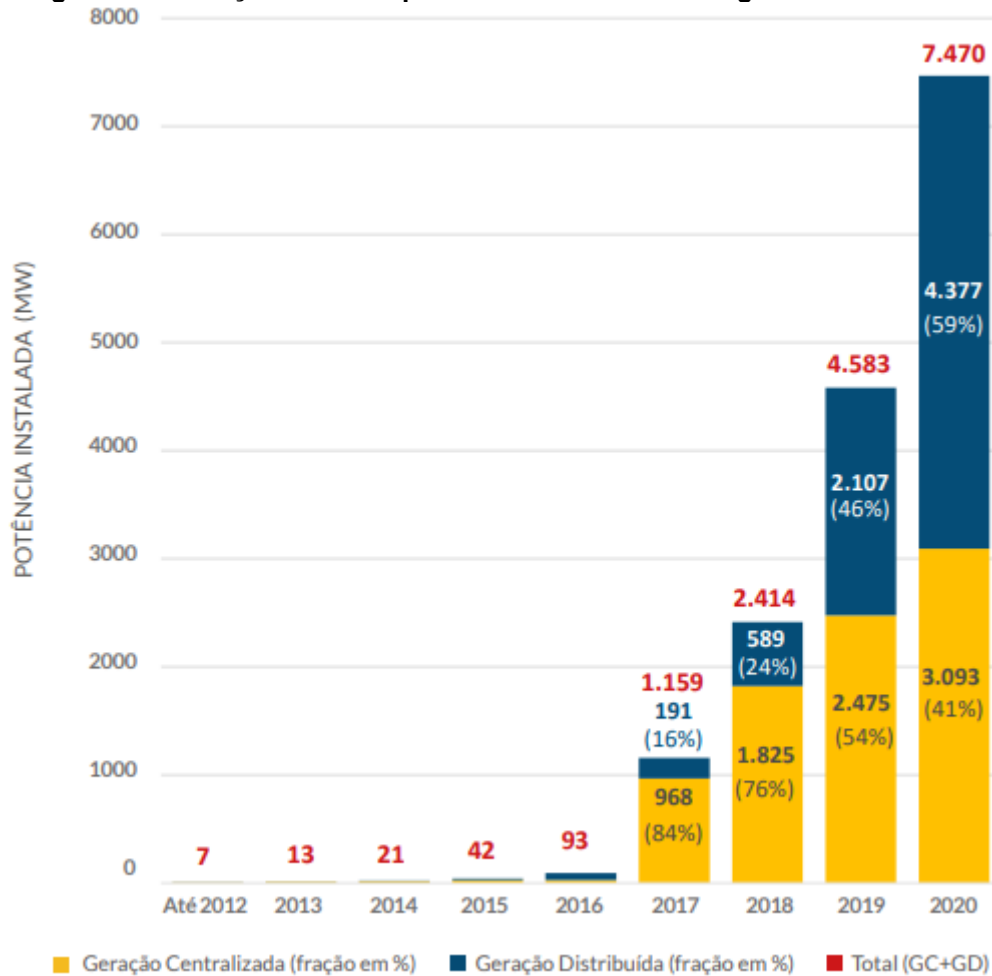
Após a crise do petróleo no ano de 1974, foi retomado o interesse na produção da energia solar com o emprego de módulos fotovoltaicos como alternativa ao esgotamento de energia fóssil. Porém, só em meados da década de 90 que o seu desenvolvimento foi acelerado (NASCIMENTO, 2004), tornando a tecnologia mais competitiva com a redução dos custos devido ao ganho de escala e dos avanços tecnológicos (NASCIMENTO, 2017).

Em todo o mundo foram lançados programas para viabilizar a geração de energia solar fotovoltaica, com a finalidade de beneficiar as áreas rurais. Outro ramo que fortaleceu e impulsionou essa indústria foram os movimentos de defesa ao meio ambiente (NASCIMENTO, 2004).

Segundo Nascimento (2017), o fator limitante da utilização de painéis solares, em maior escala é o seu elevado e seu custo de implantação. No entanto, com políticas públicas de incentivo, redução de custos relativos à produção local e o desenvolvimento visando o aumento de sua eficiência podem levar a uma expansão significativa nos próximos anos da utilização de sistemas fotovoltaicos.

Atualmente a energia solar está sendo amplamente difundida no mercado e substituindo gradativamente formas tradicionais de geração de energia principalmente quando a geração é distribuída. Na Figura 1, é possível visualizar a evolução e produção de energia solar no Brasil nos últimos nove anos, que indica um crescimento consistente entre 2006 e 2020.

Figura 1 – Evolução anual da potência instalada de energia solar no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2021)

Dois termos são indicados na Figura 1, a geração centralizada e a distribuída. A geração centralizada está relacionada a grandes usinas de geração de energia elétrica como as eólicas, termoelétricas e hídrica o que demanda de geração em grandes unidades e normalmente são geridas por uma concessionária. A geração de energia distribuída pode ser produzida em geradores nas unidades consumidoras, a exemplo os painéis solares e mini turbinas eólicas.

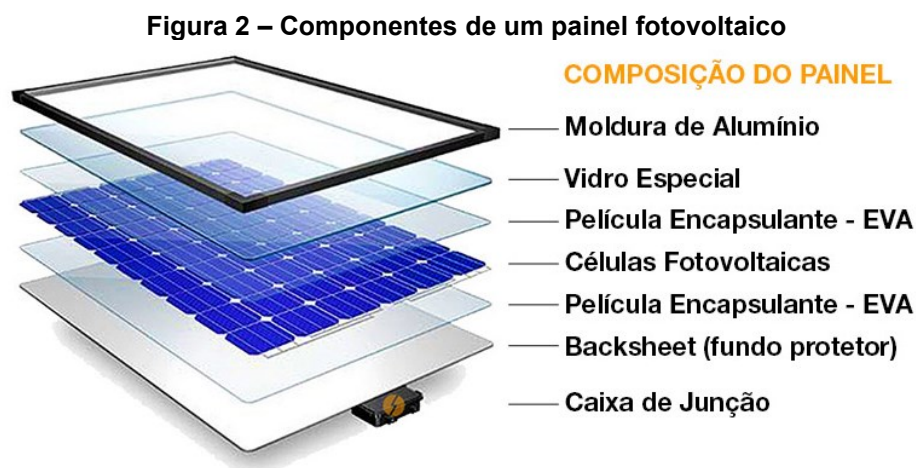
2.2 Painéis solares

Para produzir eletricidade é necessário um sistema gerador que utiliza a radiação solar, resultado da junção de luz e calor sobre um material semicondutor. Nos efeitos relacionados a luz, destacam-se o termoelétrico e fotovoltaico. O

primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial na junção de dois metais e caracteriza-se ainda o efeito Peltier, Thonson e Seebeck. Para o efeito fotoelétrico são convertidos os fótons diretamente em energia elétrica. A junção de módulos solares formam os painéis solares (NASCIMENTO, 2004).

Os painéis solares são sistemas que fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica. Esse sistema pode ser montado de maneira *on grid* e *off grid* (GONÇALVES, 2014). Na forma *off grid* ou sistema de geração de energia autônoma, o sistema não tem uma ligação com a rede de transmissão. É um sistema que produz a energia através dos módulos solares e a armazena em bancos de baterias para quando não há geração nos módulos, liberando-a para a unidade consumidora, sem a necessidade de uma fonte auxiliar de energia (GONÇALVES, 2014; BORTOLO, et al., 2017). Já no sistema *on grid* há uma ligação com a rede elétrica das distribuidoras, tornando com isso dispensável o banco de baterias, pois toda a energia gerada e transmitida para a rede de distribuição, ou consumida. (GONÇALVES, 2014; BORTOLO, et al., 2017). Neste caso, o consumidor só tem um gastos com energia elétrica quando tem um consumo maior que a capacidade instalada de geração. Do contrário, quando se gera mais energia do que o consumo, recebe-se créditos, como definido por lei segundo a norma ANEEL 482/2012 (BORTOLO, et al., 2017).

Na Figura 2, é mostrado um painel solar e seus componentes principais, sendo composto por uma moldura de alumínio, vidro, película encapsulante (EVA - *Ethylene Vinyl Acetate*), células voltaicas, outra camada de película encapsulante, fundo protetor (*backsheet*) e a caixa de junção.



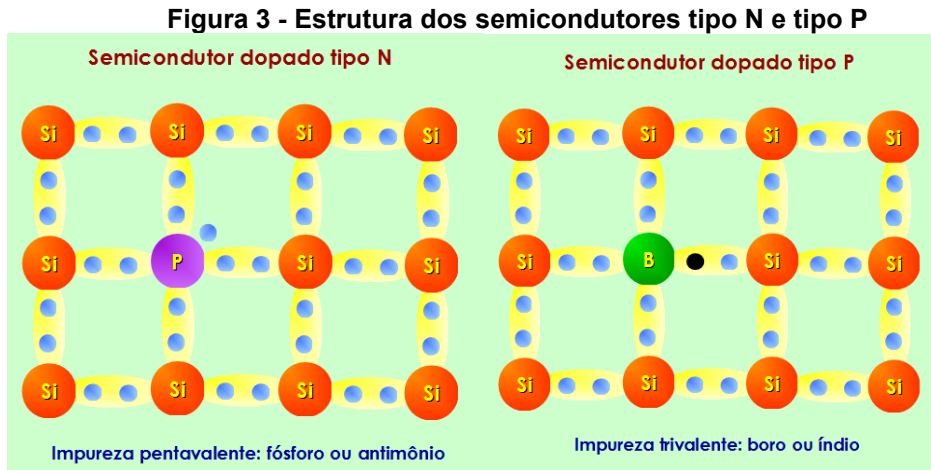
Fonte: PORTAL SOLAR (2022)

A moldura de alumínio tem como função proteger e assegurar a integridade do painel para sua fixação. O vidro é composto por um material duro, normalmente temperado e fabricado com tecnologias para ter o menor índice de reflexão possível, ou seja, deixando passar o máximo possível de luz. O EVA é um filme polimérico encapsulante que tem como função de proteger as células voltaicas contra impactos. Um problema associado a esse material é a sua degradação devido a incidência de raios ultravioleta (UV). Nas células fotovoltaicas é onde ocorre a conversão de radiação em energia elétrica, por meio de reações físico-químicas. O fundo protetor denominado *backsheet*, é fabricado normalmente na cor branca e fica localizado atrás das células fotovoltaicas, tendo como função o isolamento elétrico e térmico do conjunto. A caixa de função é onde se realiza a comunicação elétrica entre as células fotovoltaicas e a saída da energia gerada pelo sistema (GONÇALVES, 2014).

2.2.1 Células fotovoltaicas

Os painéis solares são compostos por diversas células fotovoltaicas que produzem pouca potência energética unitariamente. Com a ligação seriada destas células é possível obter maiores potências. Essas células podem ser produzidas em silício monocristalino, policristalino ou amorfo contendo elementos dopantes para formação do material que é um semicondutor (ANICETO, 2010).

O material semicondutor apresenta característica intermediárias entre um condutor e um isolante e a dopagem é realizada adicionando-se pequenas porcentagens de outros elementos químicos. Por exemplo, ao se adicionar fósforo ao silício obtém-se dopagem resultando em elétrons livres de cargas negativas em excesso, formando um semicondutor tipo N (NASCIMENTO, 2004). Em outro exemplo é a adição de boro em silício, que gera um material de característica inversa, resultando em falta de elétrons livres, formando um semicondutor tipo P (NASCIMENTO, 2004). Na Figura 3, é possível visualizar a estrutura dos semicondutores de silícios do tipo (N) e do tipo (P).



Fonte: INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA (2022)

As características construtivas dos painéis solares, tais como a área e o material semicondutor interferem diretamente na sua eficiência. Células de silício monocristalino apresentam rendimento de 16 % em condições normais, chegando a 23% em ambiente controlado, como em laboratórios. Com isso têm um custo elevado e maior complexidade de fabricação, bem como demandam mais energia na sua produção (ANICETO, 2010). As células de silício policristalinas tem rendimento entre 11% e 13%, chegando a 18% em ambientes controlados. Em relação às células monocristalinas tem menor custo e menor demanda de energia na produção. Já as células de silício amorfo tem o menor custo de fabricação em relação as outras duas, mas o seu rendimento também chega apenas entre 8% e 10 % em condições normais e a 13% em ambientes controlados (ANICETO, 2010).

As células fotovoltaicas produzem o efeito fotovoltaico após a incidência de fótons que causam excitação de elétrons devido a colisões dos fótons com átomos, carregando-os negativamente, formando corrente elétrica de forma contínua. Estes elétrons podem ser capturados antes de voltarem no estado mais estável na orbital atômico, e com essa captura podem ser aproveitados gerando uma corrente elétrica (TESSARO, 2005).

2.3 Acúmulo de sujeira em painéis solares

A localidade e o clima onde estão instalados os painéis são fatores determinantes no acúmulo de sujeira em sua superfície, sejam estas de origem

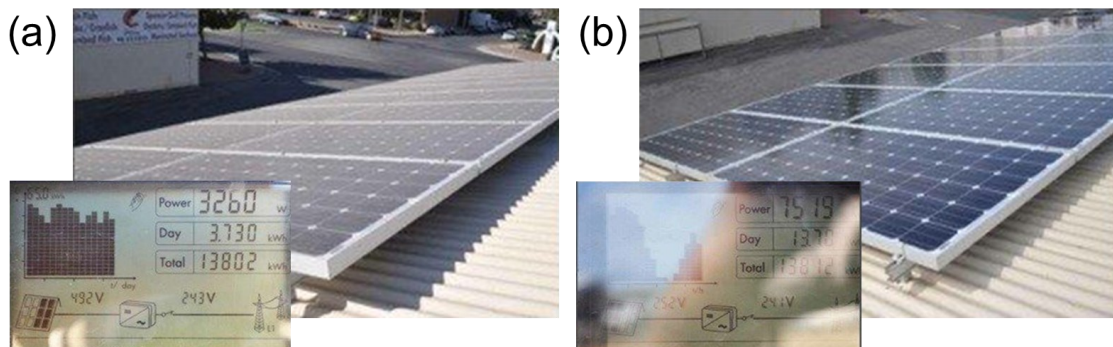
natural ou artificial. O tráfego intenso de veículos movidos a combustíveis fósseis próximo aos painéis, por exemplo, dependendo das condições de temperatura e umidade influenciam no acúmulo excessivo de fuligens na sua superfície.

Os contaminantes podem ser oriundos de fontes naturais ou artificiais. Entende-se por contaminantes naturais aqueles oriundos da natureza sem ação humana (AL-DOUSARI, et al., 2019). Os contaminantes naturais ou orgânicos podem ser microalgas, fezes de pássaros e fungos. Os contaminantes artificiais ou inorgânicos são por exemplo, as fuligens da queima de combustíveis, areia proveniente de regiões desérticas e de áreas agrícolas (ROSA-CLOT, 2020).

Perdas de eficiência em painéis solares devido a acumulação de contaminantes na superfície chegam até 15% em localidades com baixíssimos níveis de umidade. Desta forma, é de suma importância a realização de limpeza com um cronograma para manter aceitáveis os níveis de geração de energia elétrica. Entretanto, isso gera custos adicionais com insumos e mão de obra para limpeza das superfícies. Em ambientes com contaminação mediana por poeiras as perdas podem chegar a 4% num período de 12 meses. Em condições onde há agravante desses contaminantes a perda é significativamente mais grave, podendo chegar a 35% em apenas seis meses. (SIMIONI, 2017).

Na Figura 4, pode-se visualizar a diferença entre um painel solar antes da limpeza, Figura 4a, e após a limpeza, indicada na Figura 4b. Também estão indicadas as potências geradas (*power*), sendo que o painel com sujidades apresentava geração de 3260 W e após a limpeza passou a gerar uma potência de 7519 W, representando um aumento de mais de 56%.

Figura 4 – Painel solar instalado em região de incidência de sujidades, onde (a) mostra o painel sujo, com baixa eficiência e em (b) mostra-se após a limpeza, com eficiência maior



Fonte: PORTAL ENERGIA (2022)

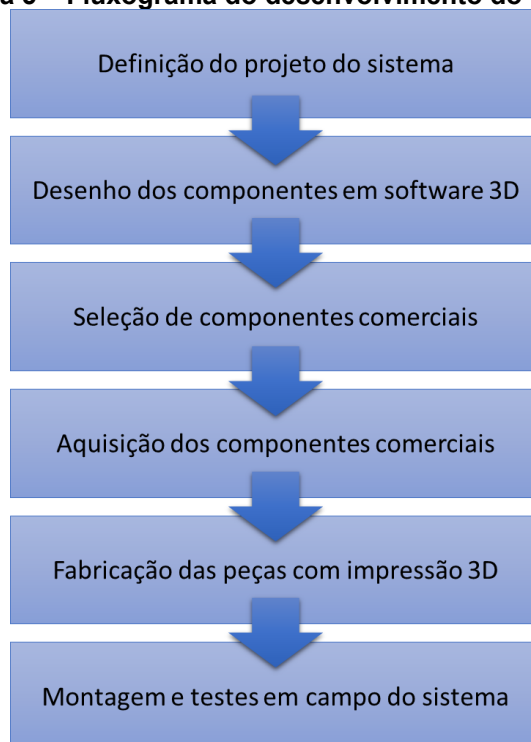
Com o objetivo de se reduzir o acúmulo dos contaminantes nos painéis solares, mudanças em seu posicionamento podem ser favoráveis, inclinando-os a 10° ou mais, permitindo redução no acúmulo pela limpeza superficial dos contaminantes não aderidos pela água das chuvas. Um bom projeto do painel inclui não conter ressaltos em suas extremidades para evitar acumulação e melhorar o escoamento desses contaminantes. No entanto, a limpeza por água das chuvas não é suficiente quando há adesão desses contaminantes, sendo necessária a retirada mecânica das sujidades, o que demanda mão de obra e uso de recursos hídricos, que em alguns casos é escasso (DGS, 2013; PARROTT, 2018).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo estão descritos os materiais e métodos aplicados para a fabricação do protótipo de análise de contaminantes, bem como os testes realizados em campo para validação de seu uso.

O fluxograma apresentado na Figura 5, mostra as etapas de realização do presente trabalho, as quais estão descritas em detalhes nos próximos subitens.

Figura 5 – Fluxograma do desenvolvimento do projeto

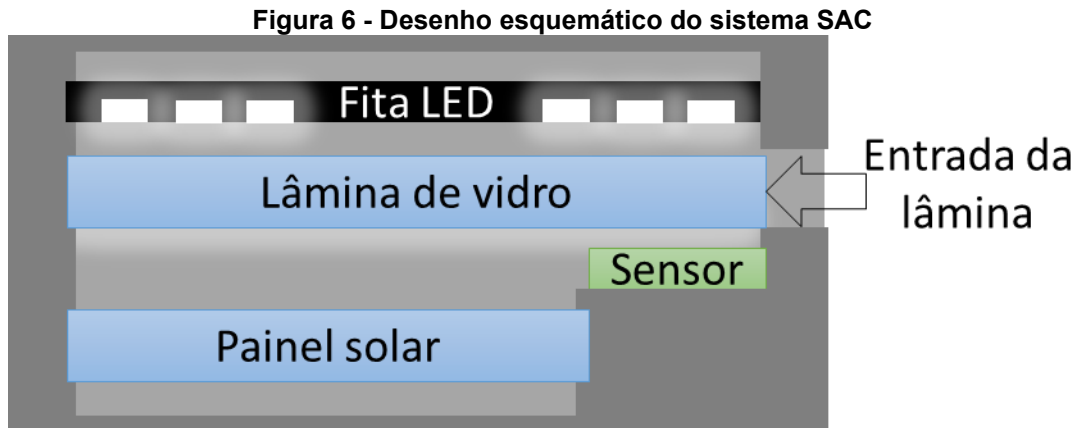


Fonte: Autoria própria (2022)

3.1 Projeto do protótipo de análise de contaminantes – PAC

Foi definido que o protótipo de análise de contaminantes PAC – deve contemplar a análise da passagem de luz através de lâminas de vidro padronizadas, as quais encaixam-se dentro de uma caixa fechada. No interior da caixa, uma luz LED incide na superfície e a luminosidade que atravessa é registrada pelo sensor bh 1750 de intensidade luminosa. Abaixo da lâmina e do sensor, um painel solar de 1w da marca (CPOWER) recebe a luz e gera energia elétrica, sendo sua tensão e

corrente registradas por um multímetro. Na Figura 6, mostra um desenho esquemático do sistema.

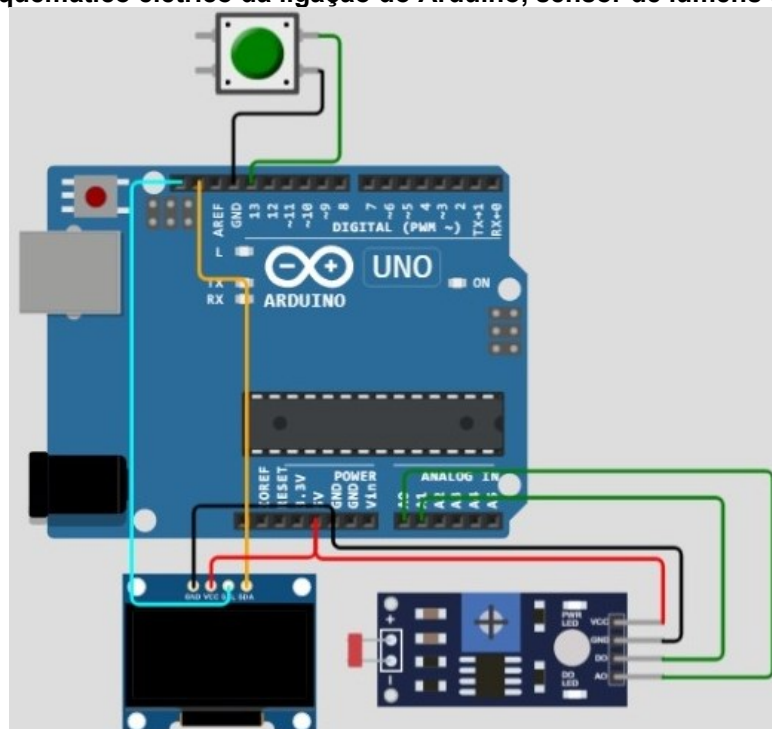


Fonte: Autoria própria (2022)

Assim os dados captados pelo sensor de lumens chega até o Arduino uno o qual está programado com as bibliotecas BH1750 por Christopher Laws, SSD1306 da Adafruit. Assim o micro controlador recebe os dados e os emitem ao painel OLED.

Na próxima figura 7, mostra o esquemático elétrico da ligação do Arduino e o sensor de lumens e também o painel OLED.

Figura 7- Esquemático elétrico da ligação do Arduino, sensor de lumens e painel OLED



Fonte: Autoria própria (2022)

Os desenhos tridimensionais e desenhos técnicos foram realizados utilizando o software CAD Autodesk Inventor®. Após definição do projeto do SAC, foram selecionados e adquiridos no mercado nacional os componentes comerciais.

3.2 Impressão 3D das peças

O fatiamento para impressão 3D da parte inferior da caixa, parte intermediária da caixa e o case para Arduino utilizou o software Creality Slicer® versão 4.8.2. Empregou-se uma impressora 3D marca Ender, modelo V2. Os parâmetros de impressão incluem a temperatura da mesa de 65°C, temperatura de fusão do polímero de 200°C e velocidade de impressão de 130 mm/s. Foi utilizado um filamento do material PLA (*Polylactic acid*, do inglês Ácido Polilático), da marca Print a Lot, com diâmetro de 1,75 mm na cor cinza.

3.3 Testes em campo do PAC

3.3.1 Amostras de lâminas de vidro e condições de exposição ambiental

Para realização do teste em campo, foram adquiridas lâminas de vidro plano convencional nas dimensões 86 x 50 x 3 mm ($\pm 0,5$ mm). Os testes foram realizados em triplicata. Uma amostra limpa com detergente e seca com papel toalha serviu como branco (sem contaminantes). Outras nove amostras foram testadas, sendo que foram posicionadas em três diferentes locais dentro do campus Guarapuava, da UTFPR. O intervalo de exposição foi de 30 dias, sendo entre os dias de 30 de agosto a 30 de setembro de 2022, em ambientes totalmente abertos, sem qualquer proteção ou obstrução de chuvas, poeira, sol, fuligem, orvalho, e demais condições ou variações meteorológica. Nesse período não houve nenhum tipo de intervenção nas amostras.

3.3.2 Suportes para amostras de lâminas de vidro

Para a exposição em ambiente externo das amostras de lâmina de vidro foram confeccionados suportes de madeira. Para fabricação dos suportes foram adquiridos no mercado local os materiais listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Materiais utilizados para fabricação dos suportes para amostras de lâminas de vidro

Quant.	Descrição	Custo
01	Madeira de pinus, 3000 x 5,08 x 5,08 mm	R\$ 67,50
18	Parafuso auto atarrachante de cabeça chata, para madeira, 6"	R\$ 7,25
01	Haste de ferro para fixação dos suportes	R\$ 20,50
Total		R\$95,25

Fonte: Autoria própria (2022)

3.4 Fabricação dos suportes para amostras de lâminas de vidro

Nessa etapa da fabricação dos suportes, foi levado em consideração gerar uma inclinação nos suportes, de maneira a simular como os painéis solares são instalados em telhados. Os suportes empregados para os painéis são de vários modelos e angulações, então definiu-se um ângulo de 45° para fins deste estudo e uma das angulações que tem menor facilidades para acúmulos de contaminantes os quais não se pode sem instalados com um ângulo menor do 15° devido a grade acúmulos de contaminantes. A orientação utilizada nesse projeto foi de deixar as laminar orientadas para a região do norte a qual se tem mas incidência de luz solar.

Foram cortados 03 vigotes de madeiras com uma serra mármore nas medidas 2" x 2" x 1 m de comprimento cada, 6 tábuas de 1" x 6" x 50 cm e 03 filetes de 1" x 1" x 50 cm. Foram utilizados 06 parafusos auto atarrachantes de cabeça chata para madeira de 6" por suporte, totalizando 18 parafusos.

Composição de cada suporte compreende 01 vigote como pé direito, 02 tábuas, sendo uma para sustentação outra para a base das amostras, 01 filete também como base para as amostras, 02 parafusos na parte inferior do suporte, 02 parafusos na parte superior e 02 no filete. Na parte superior do vigote encontra-se

um corte de 45° e na inferior um corte de 180°. A montagem e os componentes do suporte descritos acima podem ser visualizados na figura 8.

Figura 8- Fotografia do suporte para amostras de laminas de vidro



Fonte: Autoria própria (2022)

Somente a superfície superior das amostras foram expostas para serem contaminadas. Já a parte inferior não teve contato com o ambiente de contaminação, ficando apoiada no suporte. Esta situação é similar a maneira como os painéis solares são montados, onde somente sua superfície superior é exposta aos contaminantes, sendo que a parte inferior do vidro de proteção das células que estão enclausuradas não tem entradas para os contaminantes chegarem até ele.

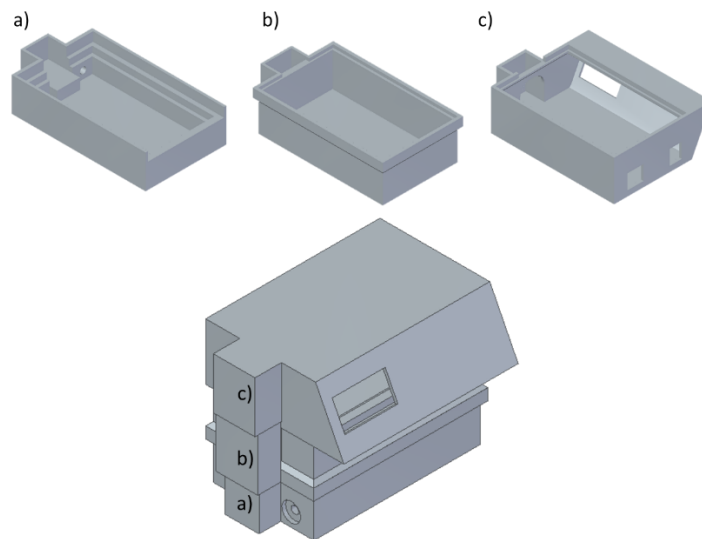
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão descritos os resultados obtidos da fabricação e montagem do sistema de análise de contaminantes, a construção dos suportes para as amostras de lâmina de vidro serem expostas em ambiente externo e os resultados dos testes realizados em campo.

4.1 Projeto do PAC

A partir das definições apresentadas para o funcionamento do protótipo no item 3.1 foram realizados os desenhos tridimensionais. A montagem dos componentes foi realizada no mesmo software, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Montagem em CAD do sistema de análise de contaminantes - SAC



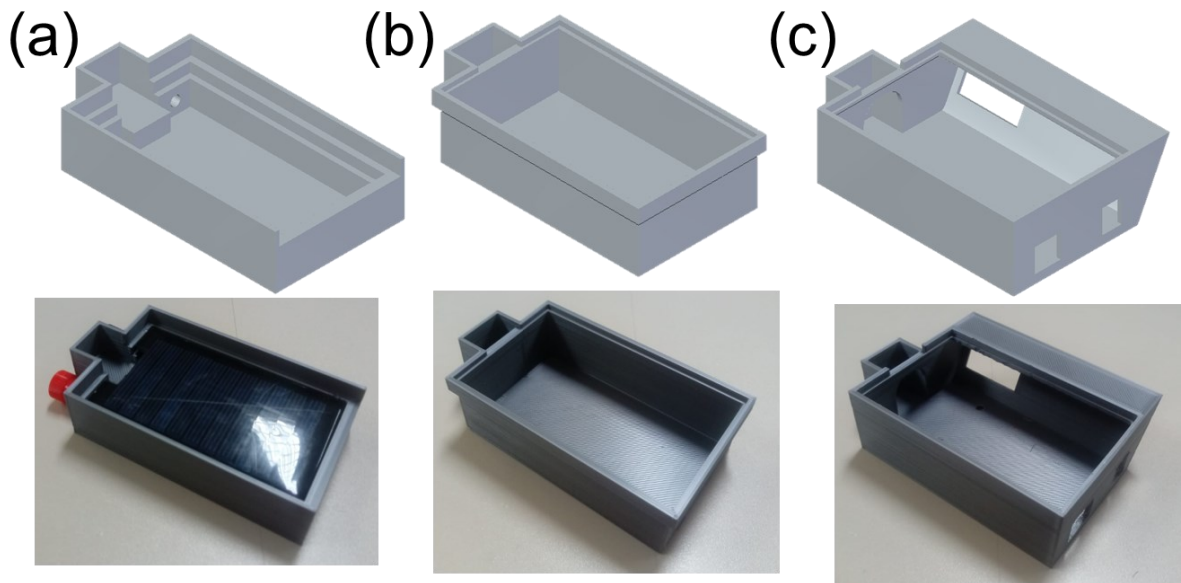
Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 9a é a parte inferior da caixa que contém os recortes para o posicionamento do sensor de intensidade luminosa e o painel solar comercial. Na Figura 9b é possível visualizar a parte intermediária, onde fica localizada a placa de LED de luz branca. A Figura 9c é o case onde foi encaixado o Arduino, tela OLED e a bateria que faz alimentação. Na Figura 9d é possível visualizar a caixa montada.

Com os arquivos dos componentes da caixa e case em 3D, foi realizado o fatiamento e preparo dos arquivos para impressão 3D. Na Figura 10, são mostradas as imagens CAD e os componentes após a impressão. Na Figura 10b o painel solar

comercial e a conexão para o multímetro já estão inseridos. Os desenhos técnicos com cotas e detalhamentos desses componentes estão disponíveis nos Anexos desse trabalho.

Figura 10 - Componentes da caixa em CAD e após a impressão em PLA, onde (a) é a parte inferior da caixa, (b) a parte intermediária e (c) o case para o Arduino



Fonte: Autoria própria (2022)

Os componentes comerciais selecionados para o projeto foram adquiridos no mercado nacional, sendo seu custo e descrição conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de componentes comerciais para o SAC

Quantidade	Descrição	Custo
01	Arduino Uno (micro controlador)	R\$ 82,00
01	Botoeira	R\$ 3,55
01	Display para o Arduino, tela Oled modelo (ssd1306)	R\$ 33,90
01	Placa de leds	R\$ 22,50
01	Placa solar 1w da marca (CPOWER)	R\$ 25,90
01	Sensor de lumens bh 1750	R\$ 16,75
1 m	Cabos de energia 1 mm	R\$ 3,00
02	Borne vermelho e borne preto	R\$ 26,50
01	Bateria 9 V	R\$ 19,99
Total		R\$ 234,09

Fonte: Autoria própria (2022)

O total de custos foi de R\$ 329,34 (trezentos e vinte e nove reais e trinta e quatro centavos), em junho de 2019.

Após a impressão 3D dos componentes, a montagem do SAC foi realizada, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Montagem do Sistema de Análise de Contaminantes (SAC)



Fonte: Autoria própria (2022)

O emissor de luz branca utilizado foi uma placa de 20 LED's de potência próxima de 4 W, indicada na Figura 11 – 1, o qual é alimentado por uma bateria de 9 V, a qual fica no case onde o Arduino uno está, logo abaixo do mesmo. Os LED'S com emissão de luz branca tem como função simular a luz solar, com isso, não há diferenças de luminosidade entre as análises de diferentes amostras. Desta forma assegura-se que não ocorram alterações na luminosidade durante a análise das diferentes amostras.

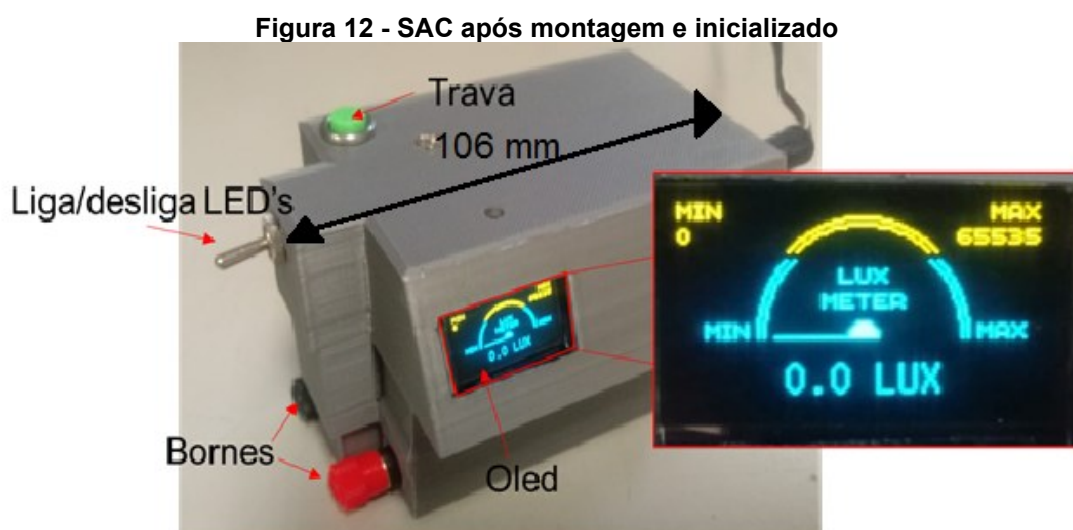
A amostra de lâmina de vidro fica posicionada na parte indicada na Figura 11 – 2, sendo entre o emissor de luz e o painel solar, de forma que os contaminantes presentes na superfície acabam por interferir na passagem de luz. O painel solar modelo 6 V 0-200 MA Figura 11 – 3 de tamanho 80 x 45 mm foi

posicionado abaixo da região onde a amostra é inserida. O painel solar possibilita uma segunda obtenção de informações relacionadas a geração de energia, utilizando um multímetro acoplado na parte indicada na Figura 11 – 4. Essas informações podem ser comparadas aos resultados obtidos de intensidade luminosa como a corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto.

O sensor de intensidade luminosa Figura 11 – 5, adquire a informação da quantidade de luz que chega e envia ao painel de OLED, indicado na Figura 11 – 6. Adicionalmente, uma chave liga/desliga foi instalada para o acionamento da placa de LED's, como mostra a indicação na Figura 11 – 7.

O Arduino UNO, indicado na Figura 11 – 8, foi encaixado no case, juntamente com o sistema de alimentação por bateria de 12 V, uma saída do tipo porta serial universal (USB) a qual serve como alimentação do Arduino. A bateria para a placa de LED's e uma botoeira de pulso Figura 12, – trava também foram encaixadas no case. A função da botoeira é pausar a leitura do sensor de lumens para registro. Além de uma chave liga/desliga a qual está ligada em série com a placa de LED's, para ligar e desligar quando necessário.

O OLED modelo(ssd 1306) indicado Figura 12, é o display no qual se mostra a leitura de lumens recebida do sensor pelo Arduino. Após a montagem, o sistema foi fechado e acionado, como mostra a fotografia da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde a tela OLED é destacada, neste caso sem leitura (0,0 LUX).

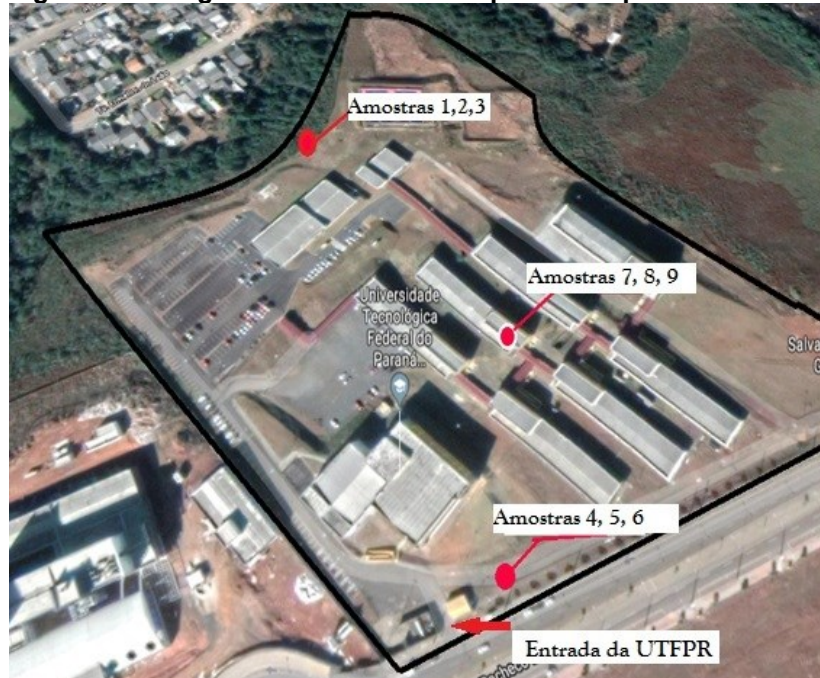


Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Exposição das lâminas de vidro em ambiente externo

Nesta pesquisa o objetivo é analisar amostras que foram alocadas no espaço externo do campus da UTFPR em diferentes locais. Na Figura 13, é possível observar uma vista de satélite do terreno onde está localizado o campus. As demarcações em vermelho são indicações dos locais onde foram instalados os suportes e alocada as amostras.

Figura 13 - Imagem de satélite do campus Guarapuava da UTFPR



Fonte: Autoria própria (2022)

No ponto onde foram colocadas as amostras 1, 2 e 3 é próximo a um córrego que fica entre a vegetação próxima. Este ponto fica localizado nos fundos em relação à entrada da UTFPR. Trata-se de um ambiente com maior probabilidade de apresentar maior quantidade de umidade maior em relação aos demais. No local onde foram posicionadas as amostras 4, 5 e 6 trata-se de um ambiente com tráfego de veículos pois fica próximo a uma avenida, onde há grande possibilidade de haver contaminantes como fuligem e poeira. No local das amostras 7, 8 e 9 foram posicionadas em meio aos blocos da universidade, sendo um ambiente com passagem de pessoas.

Com o SAC inicializado e a placa de LED's acionada, verificou-se no display Oled qual é a medida de luminosidade gerada sem a presença de uma amostra de

lâmina de vidro. Uma vez estabilizada a medição, pressionou-se a trava para fixar o valor medido. Com o multímetro acoplado nos bornes do painel solar, verificou-se o valor de tensão e corrente que o painel solar gerou nestas condições. Depois, foi colocada a amostra branco, ou seja, aquela amostra de lâmina de vidro limpa de contaminantes e verificou-se os valores gerados.

Após os 30 dias de exposição ao ambiente externo, as análises com o SAC foram realizadas nas amostras de forma similar ao que foi realizado no branco. A Tabela 4 mostra os resultados para as medidas de luminosidade, tensão e corrente geradas no painel solar para as situações analisadas.

Tabela 4 – Resultados das análises com o SAC para as amostras expostas de lâmina de vidro

Amostra	Luminosidade (LUX)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Eficiência (%)
Sem amostra	12755	5,9	195	100
Branco	12755	5,8	193	97,2
1	10956	5,7	190	94,1
2	10864	5,7	189	93,6
3	10843	5,7	188	93,1
Média local 1	10.887,67	5,7	189	93,6
4	9172	5,6	181	88,1
5	9965	5,6	186	90,5
6	9114	5,6	180	87,7
Média Local 2	9417,00	5,6	182,33	88,77
7	10657	5,7	188	93,1
8	10598	5,7	187	92,6
9	10345	5,7	186	92,1
Média local 3	10533,33	5,7	187	92,6

Fonte: Autoria própria (2022)

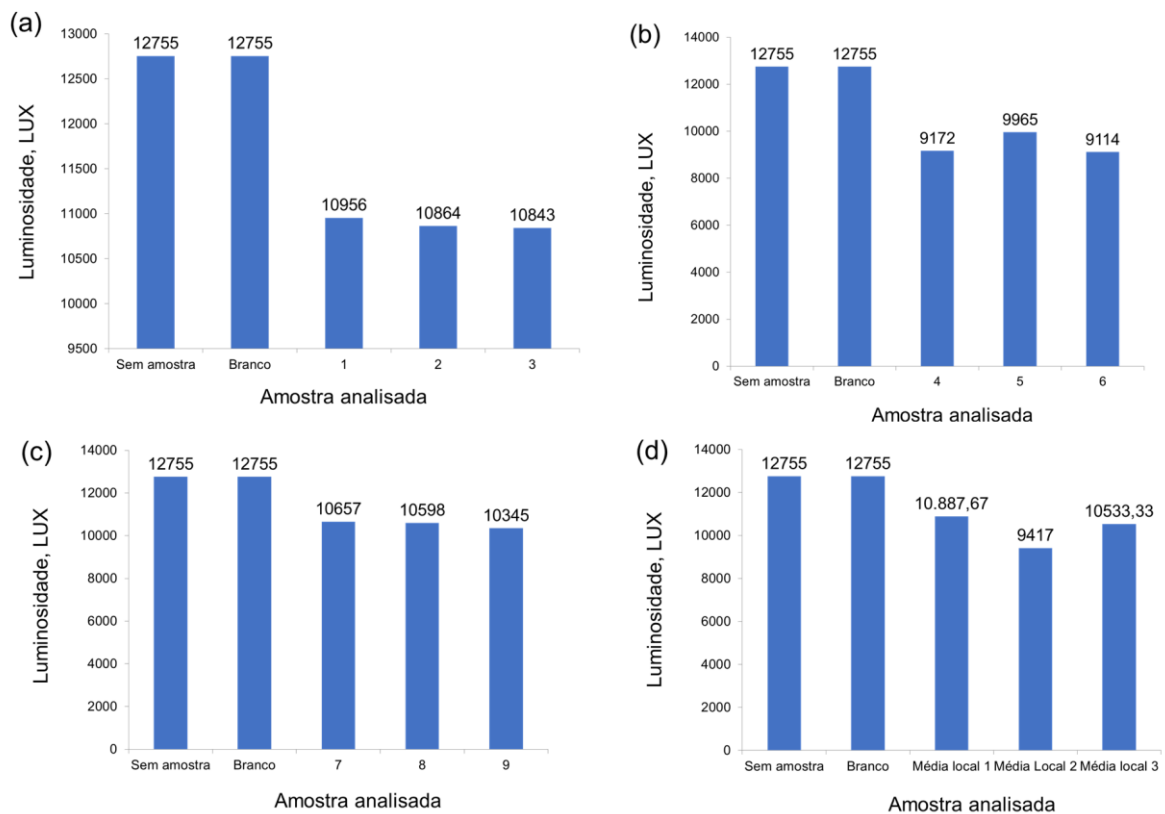
Desta forma foi possível obter os dados da interferência dos contaminantes quanto a passagem de luz através da lâmina de vidro. A partir dos valores encontrados para a análise sem amostra, considerando-os como uma eficiência de 100%, calculou-se a perda de eficiência das demais amostras, utilizando como referência a medida de tensão.

Pode-se observar na Tabela 4 que em relação a análise sem amostra, o branco apresentou redução de 2,8 % de eficiência. Isso significa que o próprio vidro interferiu na conversão de luz em energia elétrica (corrente e tensão). Desta forma,

as comparações para as amostras com as sujidades acumuladas foram feitas com relação a esta medida de eficiência.

Na Figura 14 os dados coletados para luminosidade são mostrados em forma de gráfico, para uma visualização mais completa e comparativa, incluindo na Figura 14 d a média para cada local analisado.

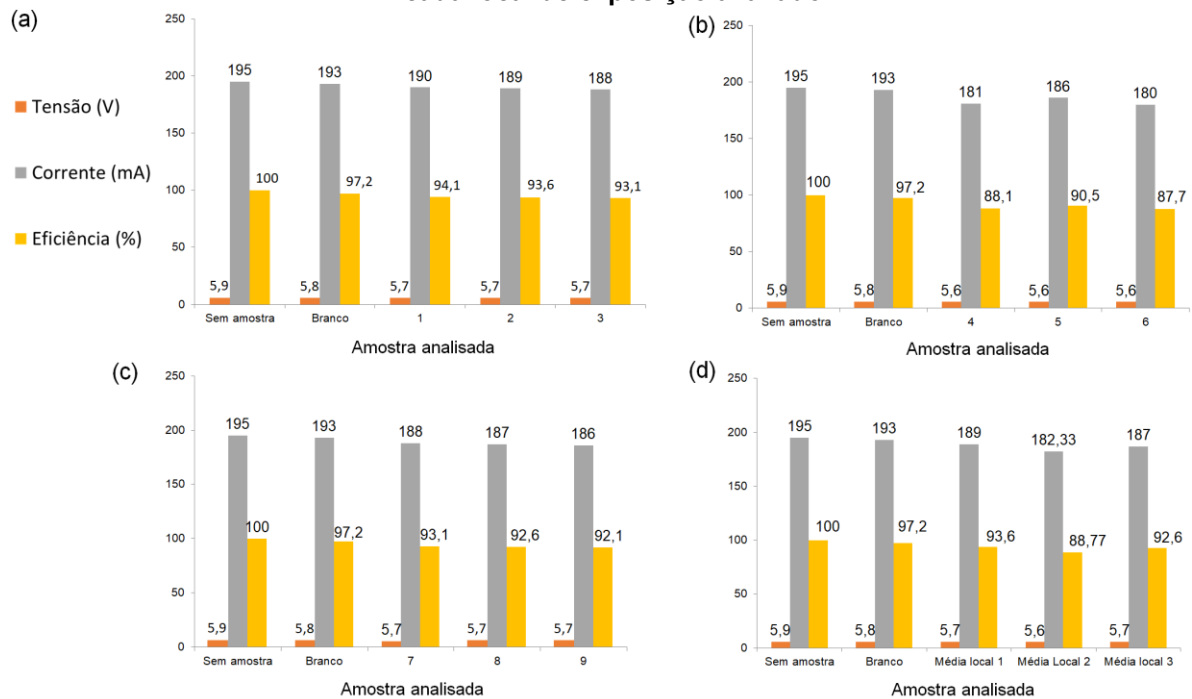
Figura 14 - Luminosidade medida para as amostras analisadas e a média para cada local de exposição avaliado



Fonte: Autoria própria (2022)

De forma similar, graficamente mostra-se na Figura 15 os dados coletados para tensão, corrente e eficiência das amostras analisadas, incluindo na Figura 15 d a média para cada local analisado.

Figura 15 - Tensão, corrente e eficiência medidas para as amostras analisadas e a média para cada local de exposição avaliado



Fonte: Autoria própria (2022)

A exposição aos diferentes ambientes causou acúmulos de sujidades, o que promoveu reduções de eficiência, mesmo sendo um pequeno tempo de exposição ao ambiente externo. Comparando-se com as medidas realizadas para a amostra de vidro limpa, as amostras 1, 2 e 3 apresentaram redução média de 3,6 % na eficiência. Essas amostras estavam em um ambiente próximo à mata, acumulando possivelmente sujidades de fontes naturais. Já nas amostras 4, 5 e 6, onde se tem uma movimentação de veículos e pessoas, a perda de eficiência na conversão da luminosidade pelo painel solar foi de 8,43 %. Nessas amostras, houve exposição tanto a contaminantes naturais como artificiais, devido a queima dos combustíveis dos veículos que circulam nas proximidades e demais condições ambientais.

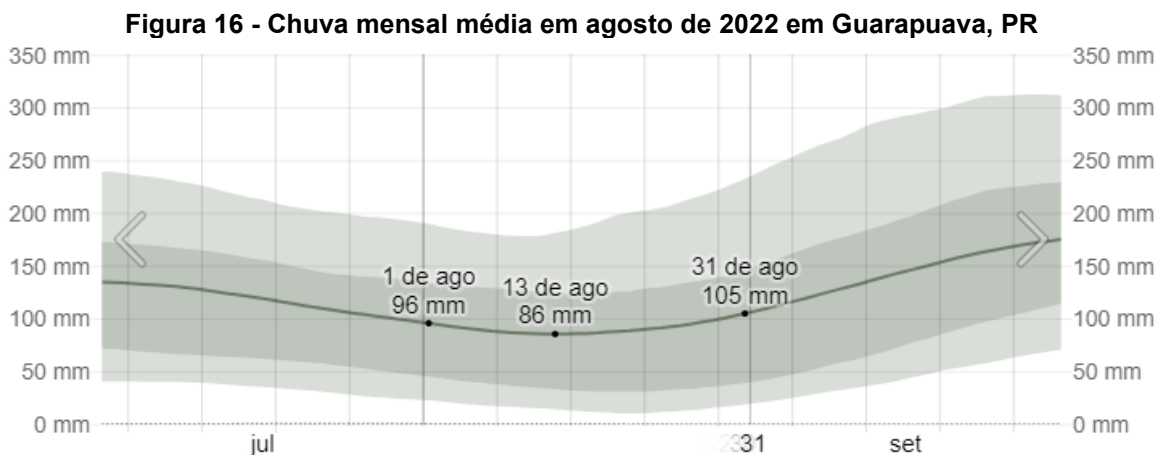
Para as amostra 7, 8 e 9, que foram expostas em uma ambiente apenas com circulação de pessoas, houve perda de eficiência de 4,6 %. Neste caso, os contaminantes possivelmente são de origem natural.

Esses resultados exemplificam o uso do SAC desenvolvido, sugerindo que a exposição aos contaminantes artificiais apresentaram maior impacto na perda de eficiência na transformação da energia luminosa em energia elétrica.

Segundo Simioni (2017), um ambiente considerado mediano no índice de contaminação, em 12 meses haveriam perdas da ordem de 4%. Entretanto, os

resultados apresentados mostram uma perda já próxima a este valor para apenas 30 dias de exposição.

É notável também correlacionar os dados de precipitação de chuvas durante o período de exposição das amostras ao ambiente externo. A Figura 14, mostra um gráfico da precipitação média para o mês de agosto de 2022, na cidade de Guarapuava. Em média houve mais de 95 mm médio de chuvas no período (WEATHER SPARK, 2022).



Fonte: Weather Spark (2022)

Potencialmente, as chuvas podem contribuir na limpeza da superfície dos painéis solares quando estão na posição inclinada a 10° (DGS, 2013; PARROTT, 2018), desde que as sujidades não estejam aderidas. Diferentes condições climatológicas, como a exposição em outras épocas do ano, poderiam causar mudanças na taxa de acúmulo de sujidades.

Os dados apresentados reforçam a necessidade de realização de medidas no local onde os painéis são instalados, de forma a se promover um cronograma de limpeza adequado para manter a eficiência na geração de energia elétrica e o SAC desenvolvido apresenta essa potencialidade de avaliação.

5 CONCLUSÕES

Em relação do problema apresentado que foi de desenvolver um protótipo para analisar superfícies em painel solares, através da fabricação dos cases em uma impressora 3D e efetuar a comunicação de um sensor de lumens (bh 1750) com um micro controlador (Arduino) para então mostrar esse dados recebidos em uma tela OLED, o projeto foi executado dentro do esperado, além de se ter um painel fotovoltaico o qual após receber a luminosidade gerando assim uma energia, tendo assim como medir essa energia gerada para assim se ter uma correlação de perde de energia.

Foi possível projetar com sucesso os componentes do protótipo de análise de contaminantes (PAC) utilizando software de desenho 3D. Os componentes modelados foram utilizados para fabricação empregando manufatura aditiva com polímero de PLA. Utilizando a programação do Arduino foi possível gerar a comunicação entre o sensor de luminosidade e o display OLED, permitindo leitura in-situ da luminosidade.

Os testes realizados com as lâminas de vidro e as condições de referência empregadas permitiram validar o funcionamento do SAC quanto a diminuição da eficiência na conversão de energia luminosa em energia elétrica devido a presença de contaminantes.

A exposição das lâminas de vidro em ambiente externo mostrou que o sistema atende seu propósito que é mensurar, se há perdas de eficiência quando há contaminantes na superfície das amostras.

Além de mostrar a perda de eficiência, esse projeto pode ser usado uma ferramenta de análises em manutenção preditiva, adicionando-se junto aos painéis fotovoltaicos amostra de mesmo material, como foi efeito nesse trabalho. Regularmente, pode-se aferir ou analisar as amostras com o SAC, para assim obter dados quanto á perda de eficiência e estipular cronogramas de limpeza com acuidade.

REFERÊNCIAS

AL-DOUSARI, A.; AL-NASSAR, W.; AL-HEMOUD, A.; ALSALEH, A.; RAMADAN, A.; AL-DOUSARI, N.; AHMED, M. Solar and wind energy: challenges and solutions in desert regions. **Energy**. Vol. 176, pp. 184-194. 2019.

ALEM DA ENERGIA. **Matriz energética brasileira**, 2022. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/matriz-energetica-brasileira/#:~:text=J%C3%A1%20a%20matriz%20el%C3%A9trica%20%C3%A9,solar%20representa%201%2C7%25>. Acesso em : 20/11/2022

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR. N° 27, 2021. Disponível em < <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/02/2021.01.08%20Infogr%C3%A1fico%20ABSOLAR%20n%C2%B0%2027.pdf>> Acesso em: 15/11/2022.

ANICETO, J. M. A. **Conversor DC-DC com busca de ponto de potência máxima (MPPT) para painéis solares**. Dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Disponível em http://run.unl.pt/bitstream/10362/4977/1/Aniceto_2010.pdf>: Acesso em: 20/11/2019.

ASGIT. **Manutenção de energia solar: o que é preciso saber?** Disponível em: <https://www.asgit.com.br/amp/2019/09/07/manuten%C3%A7%C3%A3o-de-energia-solar-o-que-%C3%A9-preciso-saber>. Acesso em: 23/11/2019

DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013. Disponível em: <<https://www.renac.de/who-is-who/player/dgs-german-solar-energy-society>>. Acesso em: 23/11/2019.

GONÇALVES, D. **Energia solar para alimentação de uma estação elevatória de água**, 2014. Trabalho de conclusão de curso, engenharia civil, universidade Mogi das cruces. São Paulo, 2014.

GOOGLE MAPS. **Pesquisa no google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-25.3476026,-51.4780027,352a,35y,180h,44.94t/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 23/11/2019

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARIAN. **Aula 2 Eletrônica Geral 1 Técnico**. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletr%C3%B4nica_Geral_1_-_T%C3%A9cnico. Acesso em: 19/11/2022

LU, H.; ZHANG, LI-ZHI. Numerical study of dry deposition of monodisperse and polydisperse dust on building-mounted solar photovoltaic panels with different roof inclinations. **Solar Energy**. Vol. 176, pp. 535-544, 2018.

MICHELS, R. N.; SANTOS, J. A. A. dos.; GNOATTO, E.; FISCHBORN, M.; KAVANAGH, E. Influência do acúmulo de poeira sobre a eficiência de painéis fotovoltaicos na região oeste paranaense: comunicação científica. **Revista Agrogeoambiental**, V 01, n 3, p. 126-129, 2009. Disponível em < <https://doi.org/10.18406/2316-1817v1n32009221>>. Acesso em: 24/11/2022.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Estudo técnico março 2017. Consultoria Legislativa.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras. 2004. 21f. Monografia – Especialização em Fontes Alternativas de Energia - Universidade Federal de Minas Gerais. Lavras, 2004.

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil**. 2017. Tese (Mestre em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas)**. 2022. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 15/11/2022.

PORTAL ENERGIA. **Como limpar os painéis solares fotovoltaicos para aumentar a eficiência**. 2022. Disponível em < <https://www.portal-energia.com/como-proceder-para-limpar-os-paineis-solares-fotovoltaicos-e-aumentar-a-eficiencia/>>. Acesso em: 15/11/2022.

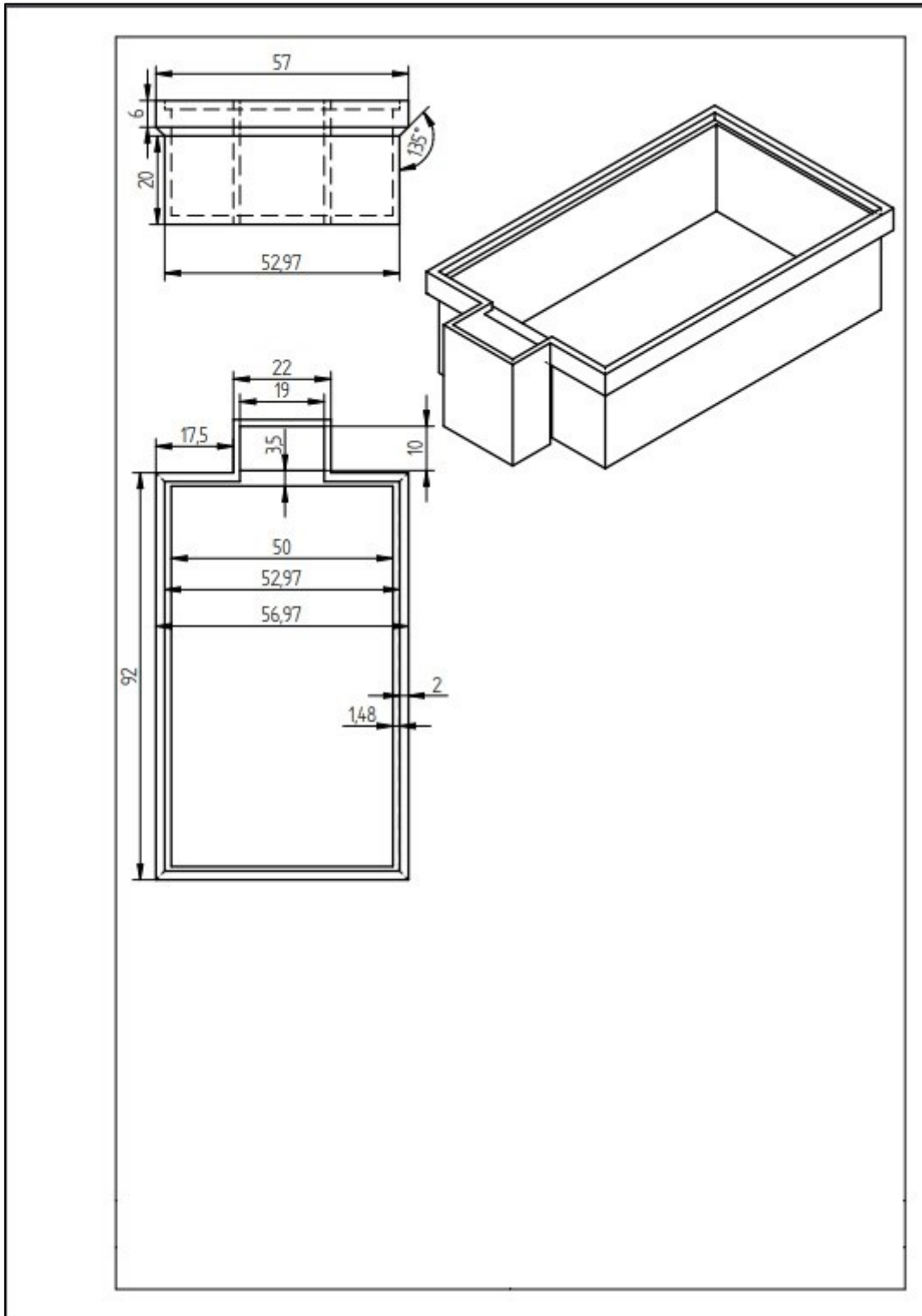
PARROTT, B.; ZANINI, P. C.; SHEHRI, A.; KOTSOVOS, K.; & GEREIGE, I. Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush. **Solar Energy**, 171, 526–533, 2018.

ROSA-CLOT, P. **FPV and Environmental Compatibility**. Em: Floating PV Plants, 2020. P. 101–118, Academic Press. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00009-9>>. Acesso em: 15/11/2022.

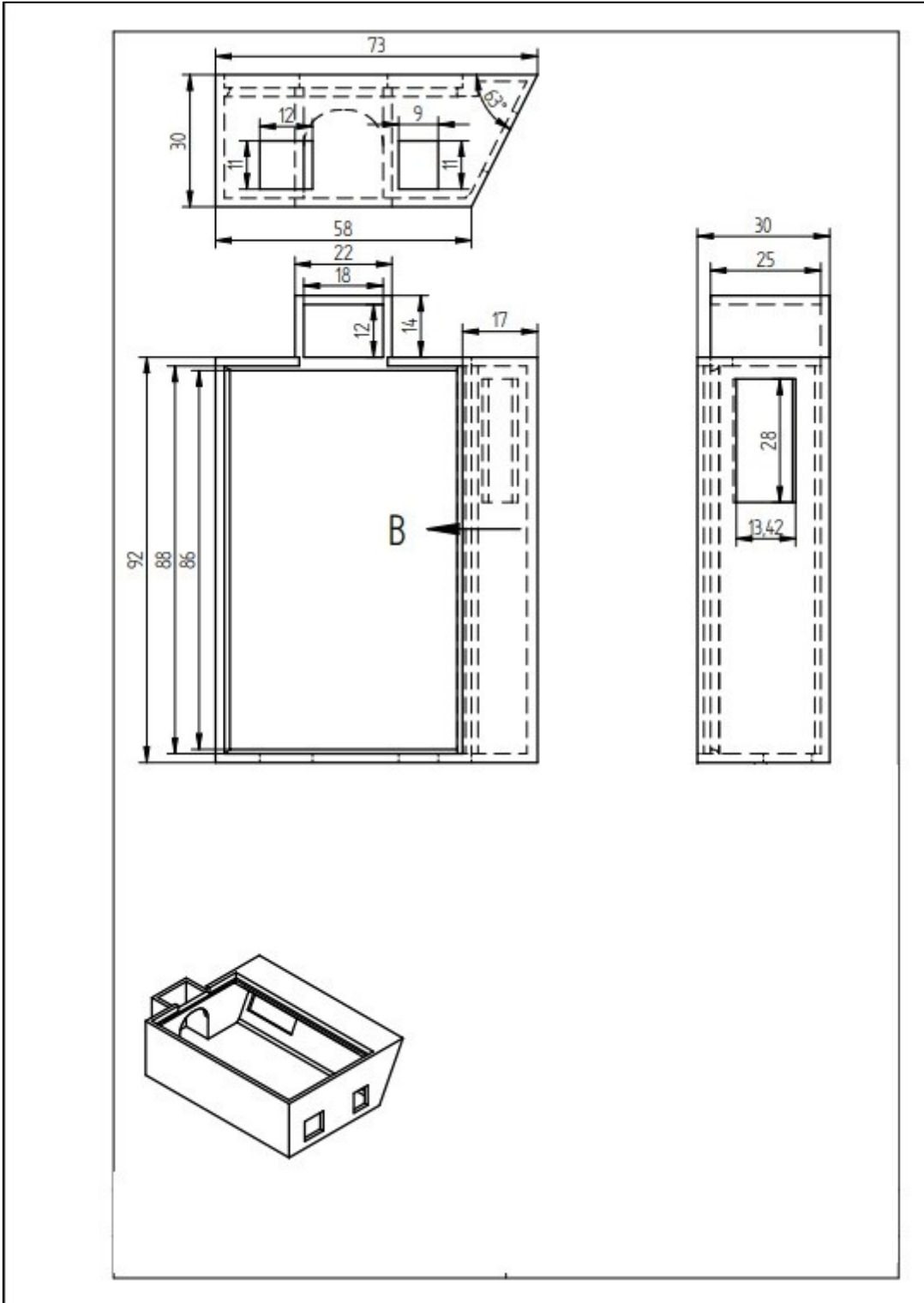
TESSARO, A.R. et al, **Desempenho de um Painel Fotovoltaico Acoplado a um Rastreador Solar**, 2005. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR. 2005.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas em agosto em Guarapuava**. 2022. Disponível em: <
<https://pt.weatherspark.com/m/29727/8/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-caracter%C3%ADsticas-de-Guarapuava-Brasil-em-agosto#Figures-PrecipitationProbability> >. Acesso em: 24/11/2022.

ANEXO 1 – CASE DO SAC, PARTE INTERMEDIÁRIA



ANEXO 2 - CASE PARA ARDUINO



ANEXO 3 - CASE INFERIOR DO SENSOR E PAINEL FOTOVOLTAICO.