

## **Usina de Projetos Experimentais (UPx)**

### **Projeto – Relatório Final**

#### **IDENTIFICAÇÃO**

<b>Nº</b>	<b>NOME</b>	<b>e-mail</b>	<b>Telefone</b>
210421	Felipe Pires Dos Santos	Felipepires725@gmail.com	(15) 99105-9461
210200	Luan Bruno Domingues De Oliveira	luan-bruno-domingues@hotmail.com	(15) 98119-4653
211325	Luiz Henrique De Oliveira Filho	Luiz.lanterna@hotmail.com	(15) 99836-2434
210363	Matheus Velloso Nogueira	matheus.vn@outlook.com	(15) 98827-9200
210331	Pedro Henrique Lisboa	plisboa2003@gmail.com	(15) 98108-6208
210090	Rafael Vieira Felipe	Rafael.vf04@gmail.com	(15) 99648-0276
210652	Renan Antonioli Maitan	renanmaitan12@gmail.com	(14) 99645-1117

#### **TÍTULO:**

Sistema de Detecção e Alerta de Sujeira em Pannel Solar

---

**LÍDER DO GRUPO:** Luan Bruno Domingues de Oliveira

---

**ORIENTADOR(A):** Patrícia Palmieri

---

Data da Entrega: 09/06/2022

---

Visto do(a) Orientador(a)



## **Usina de Projetos Experimentais**

**Felipe Pires dos Santos, RA: 210421**  
**Luan Bruno Domingues de Oliveira, RA: 210200**  
**Luiz Henrique de Oliveira Filho, RA: 211325**  
**Matheus Velloso Nogueira, RA: 210363**  
**Pedro Henrique Lisboa, RA: 210331**  
**Rafael Vieira Felipe, RA: 210090**  
**Renan Antonioli Maitan, RA: 210652**

**Sistema de Detecção e Alerta de Sujeira em Pannel Solar**

**Sorocaba/SP**  
**2022**

**Felipe Pires dos Santos**  
**Luan Bruno Domingues de Oliveira**  
**Luiz Henrique de Oliveira Filho**  
**Matheus Velloso Nogueira**  
**Pedro Henrique Lisboa**  
**Rafael Vieira Felipe**  
**Renan Antonioli Maitan**

## **Sistema de Detecção e Alerta de Sujeira em Pannel Solar**

Primeira parte do projeto experimental apresentado ao Centro Universitário Facens, como exigência parcial para a disciplina de Usina de Projetos Experimentais (UPx).

Orientador: Prof. Patrícia Palmieri

**Sorocaba/SP**  
**2022**

## SUMÁRIO

<b>1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA E ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>3</b>
<b>3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>4 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>4</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
5.1 Proposta Final do Produto .....	5
5.1.1 Orçamento .....	8
5.1.2 Retorno Esperado.....	8
<b>6 VALIDAÇÃO.....</b>	<b>8</b>
6.1 Procedimento.....	8
6.2 Resultados .....	10
<b>ANEXO I - MAPA DE EMPATIA .....</b>	<b>11</b>
.....	12
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>12</b>

## 1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por escopo a otimização da captação de energia solar em placas fotovoltaicas através do controle de possíveis sujeiras e/ou elementos indesejados que se encontrem em um painel solar. Diante do citado, pretende-se aumentar a eficácia e os benefícios da energia solar, estimulando a sua utilização e, consequentemente, promovendo a sustentabilidade a partir do uso de fontes alternativas e limpas de energia.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA E ESTADO DA ARTE

O acúmulo de poeira e outras partículas na superfície de painéis fotovoltaicos acarretam numa obstrução da passagem de radiação solar para as células de geração energética, acarretando a perda de 15% da produção diária de energia (DEB e BRAHAMAT, 2018).

Aly e colaboradores (ALY et al. 2019), destacam que as condições ambientais ao qual o painel está instalado é fator chave para a taxa de depósito de sujeiras na superfície, que acarreta a diminuição significativa de sua eficiência. Um clima árido, por exemplo, está mais sujeito ao acúmulo de poeira do que um clima úmido.

Pensando nisso, Yfantis e Fayed (2014) iniciaram os estudos em um classificador de imagens, que recebe como entrada a imagem do painel, e a partir de análises dos canais de cores, pixel a pixel, buscam identificar possíveis obstruções da passagem de luz no painel fotovoltaico.

Similarmente, a abordagem realizada por Abuqaoud e Ferrah (2020) propõe a identificação de resíduos nas células fotovoltaicas através da técnica de “*Gray Level Co-occurrence Matrix*” (GLCM). Essa técnica consiste no pré-processamento das imagens para eliminar efeitos externos, posteriormente convertendo para uma escala de cinza, a partir disso, uma análise feita pelo algoritmo encontra atributos da imagem, como o contraste e aplica uma classificação sobre o resultado. Com isso, aplicando um teste com 20 amostras, os autores alcançaram uma taxa de reconhecimento de aproximadamente 82%.

Ainda recentemente, a coleta de imagens foi otimizada, através da utilização de drones equipados com câmeras, conforme descrito por Azarnecki e Bloch (2022). Com a gama de imagens aumentada, os autores treinaram classificadores que correlacionavam a luminosidade e a saturação das fotografias, obtendo resultados satisfatórios, principalmente com o classificador probabilístico de Naive Bayes, com a precisão de 92%.

O presente trabalho, portanto, trará uma mescla dos métodos classificatórios presentes na literatura, identificando qual é o mais adequado e apresenta os melhores resultados na aplicação. Além disso, será trabalhado atributos arbitrários para a correlação com a eficiência do painel solar, como a intensidade de radiação solar, ou o clima diário que pode influenciar a produção energética.

### **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

A fim de atingir as expectativas postas sobre o projeto, existem etapas e objetivos específicos que devem ser cumpridos:

- Captação de dados de elementos em uma célula fotovoltaica a partir de sensor de luminosidade;
- Identificar anomalias nos dados com o auxílio de inteligência artificial;
- Aplicação massiva do projeto em sistemas de energia solar.

### **4 JUSTIFICATIVA**

Diante dos aspectos apresentados, o projeto pretende aumentar de maneira significativa a eficácia de captação de energia em painéis solares, solucionando o problema na identificação de elementos que reduzem o fluxo de energia recebido. Consequentemente, o sistema de detecção e alerta de sujeira em painel solar estimula a utilização desse tipo de energia limpa e renovável, o que o torna extremamente importante para o meio ambiente.

Diante de um cenário caótico para o meio ambiente devido ao uso abusivo de fontes de energia não-renováveis e nocivas ao planeta, sistemas que possam tornar

as energias limpas mais rentáveis, atrativas e eficientes são sempre bem-vindas, abrindo um grande espaço para novas ideias no campo de pesquisas.

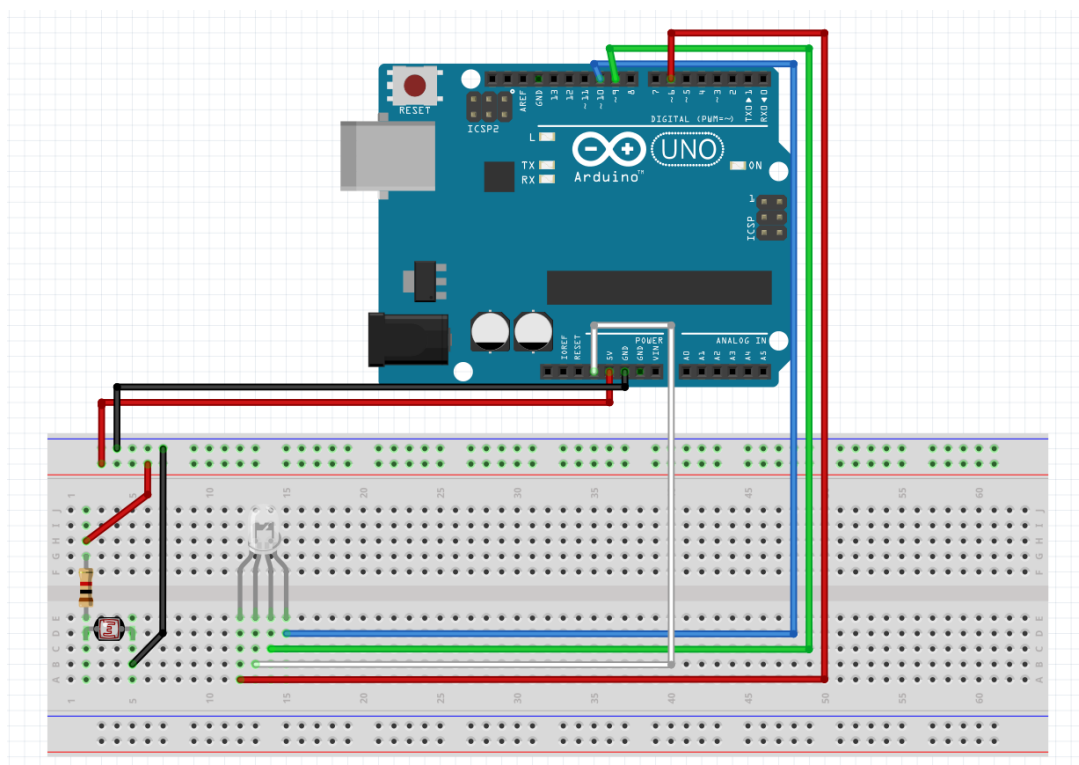
Ademais, o projeto traz uma abordagem ambiciosa ao fazer uso de inteligências artificiais para auxiliar o sistema, se aliando a dispositivos sensoriais e deixando o usuário atualizado sobre as condições de funcionamento.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Proposta Final do Produto

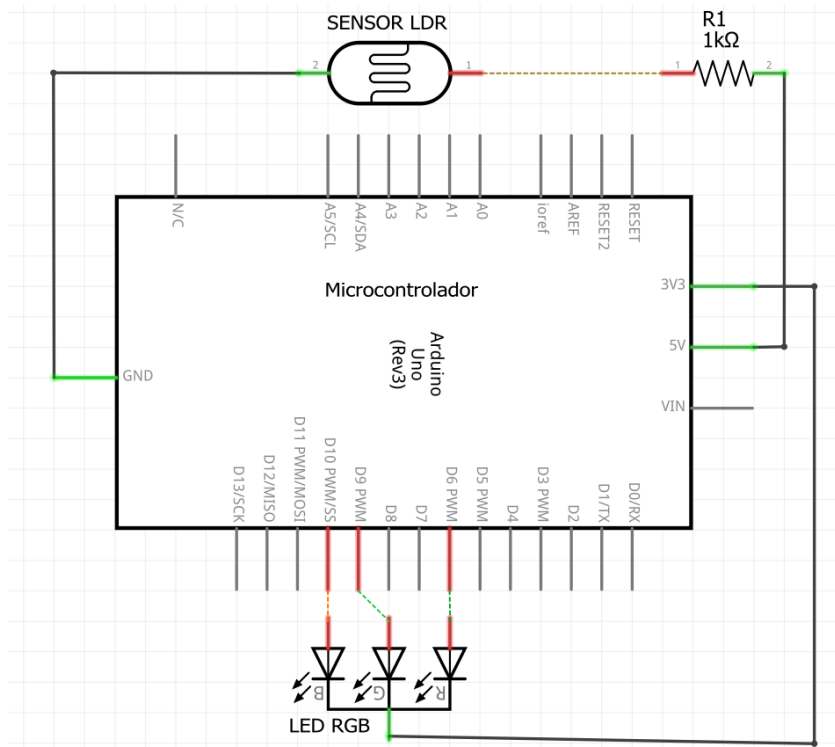
O sistema de detecção conta com a parte física, que inclui um LED RGB, um resistor de 1k Ohms ( $10^3$  Ohms) e um sensor LDR conectado em um microcontrolador, que neste projeto a equipe utilizou um Arduino UNO (placa microcontroladora baseada na ATmega328P, com 14 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM, 6 entradas analógicas, entre outros). Para apresentação inicial, foi desenvolvido esquemáticos eletrônicos do Hardware, a figura 1 mostra o esquemático com protoboard para ficar mais intuitivo. E a figura 2 mostra o esquemático eletrônico.

Figura 1 - Esquemático com Protoboard



Fonte: Próprio autor.

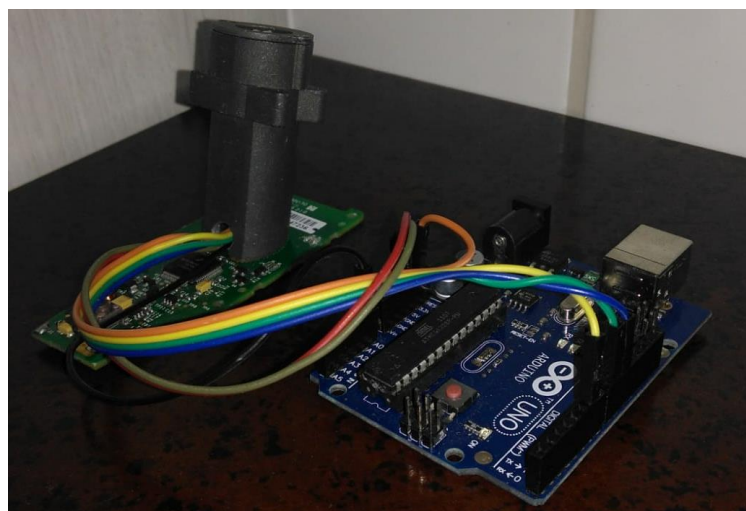
Figura 2 - Esquemático eletrônico



Fonte: Próprio autor.

A realização dos esquemáticos foram realizados no software Fritzing, um programa tipo CAD amador para design de hardware eletrônico. Ainda sobre o hardware, ele conta com um suporte para o LED, o resistor e o sensor, como a figura 3 e 4 apresenta. Esse suporte é uma placa com um circuito eletrônico, em que ela possui um tubo, e assim o LED, o resistor e o sensor ficam dentro deste tubo.

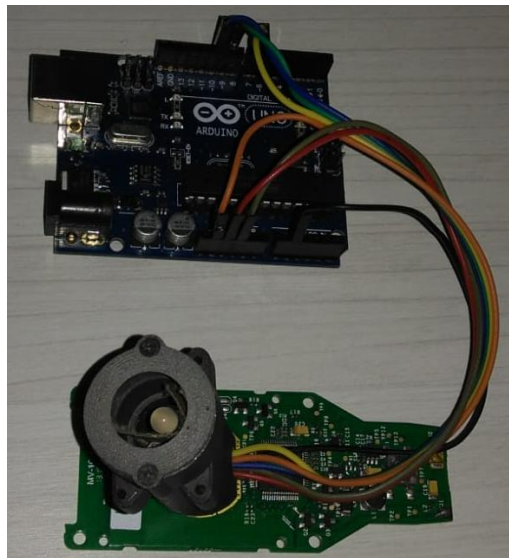
Figura 3 – Protótipo (hardware)



Fonte: Próprio autor.



Figura 4 – Protótipo (hardware)

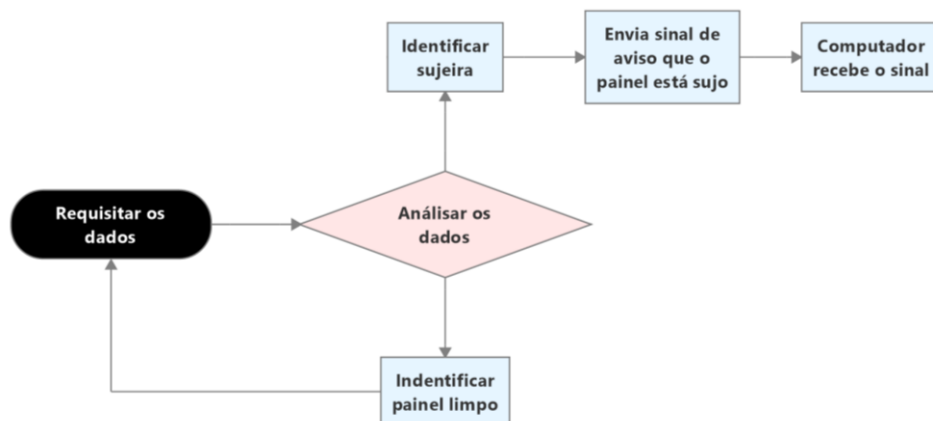


Fonte: Próprio autor.

Sobre a parte de software, o algoritmo está contido todo no Arduino, em que de 4 em 4 segundos ele faz requisição de dados pelo sensor LDR e com esses dados o sistema faz uma análise e descobre se a célula está suja ou não. Para que funcione desse modo, o sensor precisa estar constantemente apontado para a célula que se deseja verificar se há sujeira.

Para uma explicação mais intuitiva, a equipe fez um fluxograma de como o software irá trabalhar, apresentado na figura 5. Este fluxograma foi criado utilizando o programa MindManager, software de mapeamento mental desenvolvido pela Mindjet, o programa fornece maneiras de visualização de informações em mapas mentais e fluxogramas.

Figura 5 – Fluxograma do sistema



Fonte: Próprio autor.

### 5.1.1 Orçamento

A Tabela 1 expõe a simulação do custo total do projeto. Para a realização do presente estudo, o MAIA (equipe de competição de engenharia do LINCE, da Facens) está patrocinando o projeto, fornecendo o equipamento e material necessário. Sendo assim, o grupo não terá nenhum gasto para desenvolvimento do projeto.

Tabela 1 - Orçamento

ITEM	QUANTIDADE USADA	PREÇO TOTAL	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO PARA QUANT. USADA
Arduino Uno	1	R\$ 44,83	R\$ 44,83	R\$ 44,83
Pacote de Jumpers	7	R\$ 15,90	R\$ 0,40	R\$ 2,80
Led RGB	1	R\$ 14,90	R\$ 1,49	R\$ 1,49
Resistor	1	R\$ 11,99	R\$ 0,12	R\$ 0,12
Sensor LDR	1	R\$ 12,00	R\$ 1,20	R\$ 1,20
<b>TOTAL:</b>		R\$ 99,62	R\$ 48,04	R\$ 50,44

Fonte: Próprios autores

### 5.1.2 Retorno Esperado

A partir do objetivo traçado, espera-se que o projeto traga diversas contribuições na área de energia renovável, agregando no fomento de tecnologias que promovam a expansão de fontes renováveis de recursos.

Dessa forma, o projeto pretende gerar uma melhora na produção de energia solar, com valores entre 5 e 20% superiores na produção de energia sustentável mensalmente. No aspecto social, o sistema proporciona diretamente uma melhoria na qualidade de vida a partir da maior disponibilidade de energia limpa, que poderá ser destinada aos mais diversos usos. Indiretamente, e a longo prazo, o projeto ainda pode beneficiar a redução de poluentes emitidos pela produção de energia não renovável, como a queima de carvão ou petróleo.

## 6 VALIDAÇÃO

### 6.1 Procedimento

Segundo a NBR ISO 9001:2000, a validação deve “(...) assegurar que o produto resultante seja capaz de atender aos requisitos para aplicação especificada ou uso intencional onde conhecido”, destacando métricas que possam demonstrar a

eficiência do produto. Similarmente, Juran (1992) pontua que o processo de validação é intrinsicamente relacionado à garantia da qualidade.

Dessa forma, como primeira análise da eficiência, o sistema irá verificar a ocorrência de anomalias no desempenho de funcionamento das células, pois a sujeira causa a diminuição do desempenho do painel solar. Sendo assim, a queda na tensão recebida é uma das variáveis analisadas para validar a qualidade do projeto.

Dessa forma, a avaliação da porcentagem de eficiência atual do painel se dará por meio da Equação 1.

$$\varepsilon\% = \frac{V_{produzida}}{V_{estimada}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:  $\varepsilon\%$  é a porcentagem estimada de tensão no painel no atual instante,  $V_{produzida}$  representa a tensão gerada no instante e  $V_{estimada}$  é a tensão, em Volts, que o painel deveria estar gerando nas condições ideais.

A tensão estimada é baseada nas características do painel, bem como fatores ambientais, como a incidência solar, clima e outros. Caso a taxa de produção esteja abaixo de uma faixa pré-estabelecida, a verificação da necessidade de limpeza se encaminhará para a segunda etapa.

Durante a segunda etapa, um sensor de luminosidade estará apontado para a célula, e uma inteligência artificial irá fazer o papel de classificação binária (sujo ou não sujo) e interpretar os dados do sensor, retornando se a célula está realmente suja ou não. Esse processo é realizado a partir do uso de um sensor de luminosidade LDR que, combinado com um led RGB, consegue captar as reflexões para diferentes cores e relacioná-las aos seus respectivos espectros. Os dados captados pelo sensor são direcionados a um microcontrolador, onde haverá o processamento desses dados para uso no algoritmo de inteligência artificial. O papel da inteligência artificial é, portanto, correlacionar o dado recebido do sensor com um determinado espectro de cor.

A correlação citada é realizada com o treinamento da inteligência artificial, onde o led é alternado entre seus modos de cor (vermelho, verde e azul) enquanto o sensor capta a luminosidade refletida. Nessa etapa, deve-se posicionar o sensor próximo a um espectro de cor desejado e, quanto menor a reflexão, mais próxima a cor emitida pelo led está da cor apresentada para treinamento. Dessa forma, é possível treinar a rede para reconhecer espectros de cores relacionados a sujeiras.

## **6.2 Resultados**

Os dados de tensão gerados pela célula fotovoltaica foram coletados da estação de controle de carga para serem analisados e processados, sendo a análise de anomalias realizada com o auxílio de uma rede neural de regressão logística.

A inteligência artificial para o reconhecimento dos espectros de cor foi treinada, a princípio, utilizando cores impressas em papel, com a rede apresentando 100% de precisão para o reconhecimento de três diferentes tonalidades de cores em vermelho, verde e azul (totalizando nove espectros) para trinta testes realizados. Não são esperados maiores empecilhos para o treinamento da mesma com a placa solar, tanto limpa quanto suja.

## **7 CONCLUSÃO**

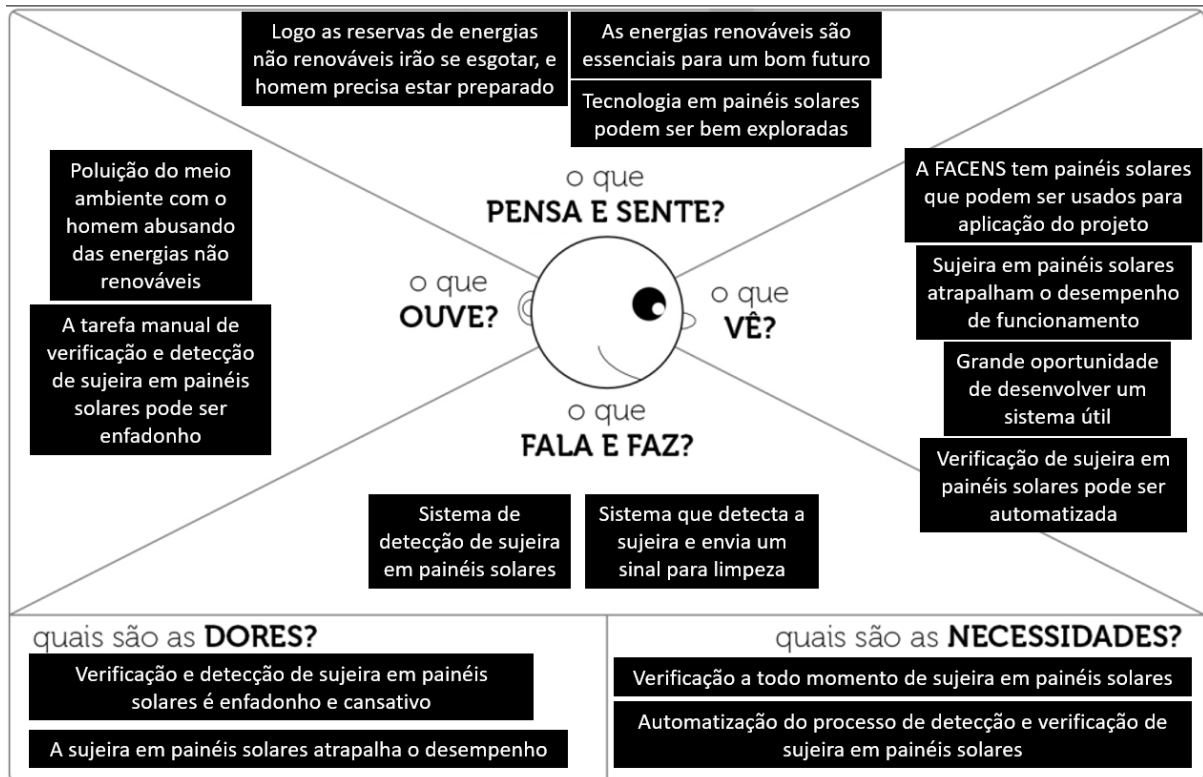
A partir da análise dos resultados, conclui-se que o grupo atingiu parcialmente os objetivos estabelecidos no início do projeto, onde obteve-se êxito na captação de dados por meio do circuito com sensor de luminosidade e processamento dos dados por rede neural. Por outro lado, a identificação de anomalias foi prejudicada por um imprevisto técnico relacionado ao equipamento necessário para a conclusão dessa etapa, onde o equipamento – que seria fornecido pelo núcleo de competições MAIA – encontrou-se indisponível para uso.

Apesar disso, é possível afirmar que o grupo interagiu de maneira eficiente para superar os obstáculos, desenvolvendo a interação para elaborar cada etapa do projeto em conjunto.

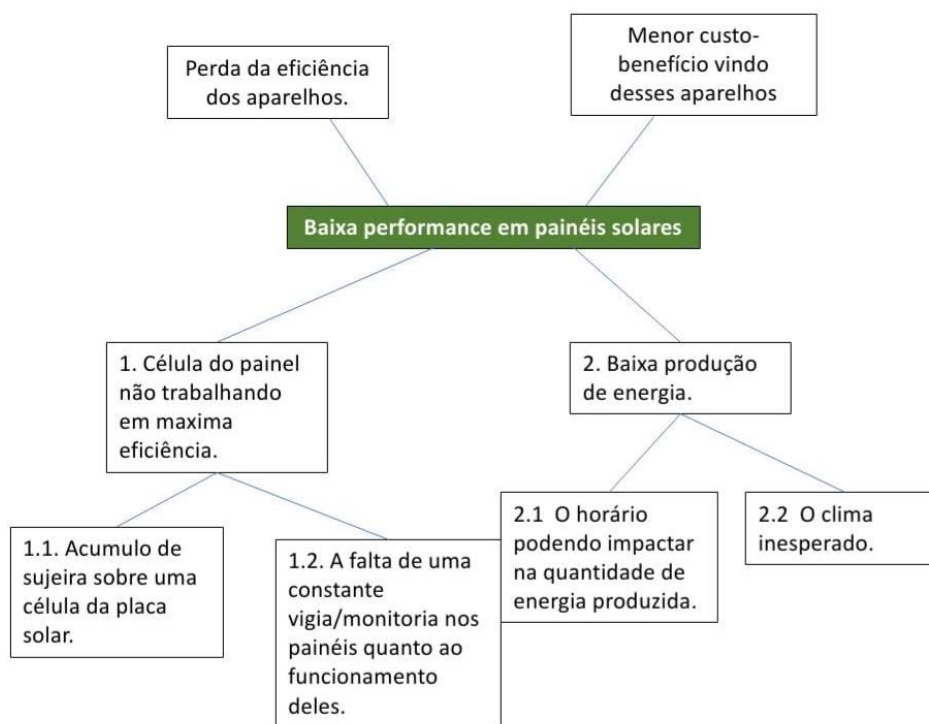
Portanto, para os próximos projetos, é aberta a questão de identificação de anomalias, como a queda de tensão através de gerenciadores da bateria, capaz de acurar os resultados do sistema de detecção. Além disso, é possível aprimorar um

sistema de notificação para alertas remotos do sistema, através da construção de uma interface de programação de aplicações (API) para o envio do sinal via internet.

## ANEXO I - MAPA DE EMPATIA



## ANEXO II – ÁRVORE DE PROBLEMAS



## REFERÊNCIAS

ABUQAAUD, Kamal Adel; FERRAH, Azzeddine. A Novel Technique for Detecting and Monitoring Dust and Soil on Solar Photovoltaic Panel. In: **2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)**. IEEE, 2020. p. 1-6.

ALY, Shahzada Pamir; AHZI, Said; BARTH, Nicolas. Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 200, p. 109948, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro, 2000.

CZARNECKI, Tomasz; BLOCH, Kacper. The Use of Drone Photo Material to Classify the Purity of Photovoltaic Panels Based on Statistical Classifiers. **Sensors**, v. 22, n. 2, p. 483, 2022.

DEB, Dipankar; BRAHMBHATT, Nisarg L. Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3306-3313, 2018.

JURAN, J. M. A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. **São Paulo: Pioneira Thimson Learnig**, 1992. 551p.

YFANTIS, E.; FAYED, A. A camera system for detecting dust and other deposits on solar panels. **Advances in Image and Video Processing**, v. 2, n. 5, 2014.