

# Proposição de Estratégias de Predição de Falhas para Sistemas Fotovoltaicos: Estudo de caso da usina fotovoltaica do IFRS Campus Farroupilha

1<sup>st</sup> Adriano Kempf  
Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Rio Grande do Sul  
IFRS Campus Farroupilha  
Av. São Vicente, 785  
Farroupilha, Brasil  
adrianokempf2000@gmail.com

2<sup>nd</sup> Ivan Jorge Gabe  
Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Rio Grande do Sul  
IFRS Campus Farroupilha  
Av. São Vicente, 785  
Farroupilha, Brasil  
ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br

**Resumo**—Este artigo trata dos resultados da disciplina de Trabalho de Conclusão II do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFRS Campus Farroupilha. O crescimento exponencial da geração distribuída no Brasil, majoritariamente implementada com usinas fotovoltaicas, tem alavancado a produção de energia renovável no Brasil. Grande parcela dessas usinas são de pequeno porte, classificadas como microgeração e estão espalhadas pelas residências e comércios. Devido à quantidade expressiva de usinas, apesar da baixa potência individual, o monitoramento e a manutenção adequados dessas passa a ser uma questão relevante. Neste trabalho, é proposta a investigação da produção e desempenho da usina fotovoltaica de 55 kWp instalada no campus e a proposição de uma metodologia de manutenção, baseados na potência estimada e efetivamente gerada, usando dados de irradiância e temperatura fornecidos remotamente pelo INMET, além de avaliar a confiabilidade dessa estimativa como ferramenta para detecção de falhas operacionais.

**Palavras chave**—Sistemas Fotovoltaicos, manutenção preventiva, monitoramento de sistemas de geração distribuída.

## I. INTRODUÇÃO

Segundo infográfico da Absolar [1], em 2024 o Brasil teve um crescimento de 41% da potência instalada de energia solar fotovoltaica em relação ao ano anterior. Em abril 2025, já superou 56 GW, sendo a segunda maior fonte de energia do Brasil em potência instalada. A Figura 1 mostra esse crescimento e enfatiza a diferença entre geração centralizada em amarelo e distribuída em azul. Em abril de 2025 69% da geração solar é distribuída. Nesta modalidade os consumidores podem produzir a energia e trocar o excedente com a rede elétrica por créditos, conforme a lei 14300 de 2022 [2].

Comercialmente, as usinas fotovoltaicas são conhecidas como um empreendimento de baixa necessidade de manutenção, por não possuírem peças móveis [3]. Entretanto, elas estão expostas a diversas falhas, de origem elétrica, mecânica, erro humano de instalação ou de projeto, que podem prejudicar a confiabilidade de operação e o desempenho na geração de energia elétrica, além de estarem expostas a intempéries [4].

Este trabalho foi motivado pela adoção do IFRS, de um programa de eficiência energética [5], em que a principal

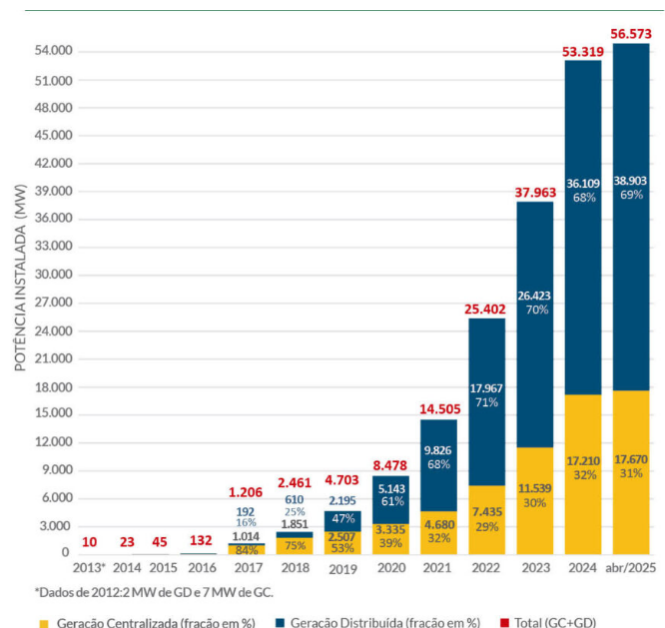


Figura 1. Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil [1]

ação foi a instalação de usinas fotovoltaicas em todas as suas unidades. A Tabela I abaixo, mostra a potência instalada em cada unidade do IFRS.

No entanto, até o momento ainda não foi implementada uma estratégia formal de manutenção. Este estudo propõe uma metodologia de monitoramento de desempenho de baixo custo, utilizando dados de irradiação e temperatura da estação meteorológica do INMET [6], dados de irradiação extraterrestre do site Solpos [7]. E para comprovar a confiabilidade dessa estratégia, foram utilizadas medições de irradiação no local da usina.

Tabela I  
CAPACIDADE TOTAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA POR CAMPUS. [5]

CAMPUS	Total de kWp em Operação
Campus Rolante	61,96
Campus Osório	100
Campus Farroupilha	80,44
Campus Feliz	100
Campus Rio Grande	180,44
Campus Vacaria	61,96
Campus Veranópolis	100
Campus Ibirubá	100
Campus Erechim	100
Campus Alvorada	36,96
Campus Bento Gonçalves	75
Campus Restinga	100
Campus Sertão	180,44
Campus Canoas	75
Campus Caxias do Sul	80,44
Campus Porto Alegre	100
<b>TOTAL</b>	<b>1532</b>

### A. Objetivo Geral

Propor estratégias de manutenção para a usina fotovoltaica de 55,44 kWp do IFRS Campus Farroupilha, fazendo uso dos dados ambientais de irradiação e temperatura da estação meteorológica do INMET localizada na cidade de Bento Gonçalves.

### B. Objetivos Específicos

- 1) Instalar um sensor, do tipo piranômetro térmico junto a usina, com o intuito de coletar dados de irradiação para avaliar a correspondência dos dados remotos obtidos pelo INMET
- 2) Estimar quanto a usina deveria produzir com os dados de irradiação e temperatura remotos e com as suas especificações nominais.
- 3) Calcular e avaliar o índice de desempenho da usina
- 4) Comparar a energia estimada com a energia efetivamente gerada pela usina, identificando eventuais discrepâncias e propondo rotinas de manutenção adequadas à realidade do campus Farroupilha.
- 5) Avaliar o impacto potencial da manutenção no desempenho da usina, quantificando as perdas de produtividade associadas à ausência ou ineficiência de ações corretivas e preventivas.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: Na seção II será apresentada a fundamentação teórica dos tópicos atinentes ao trabalho. Na seção III será apresentada a metodologia utilizada, na seção IV o desenvolvimento e na seção V a conclusão.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados os fundamentos teóricos que embasam o projeto, como falhas mais comuns, tipos de manutenção e estratégias de análises.

### A. Sistemas Solares Fotovoltaicos

O conjunto de equipamentos que converte a irradiância solar em energia elétrica constitui-se basicamente de módulos fotovoltaicos, inversores de frequência

- 1) Módulos: são compostos por várias células fotovoltaicas e utilizam do efeito fotovoltaico para fazer a conversão da energia solar em energia elétrica na forma de corrente contínua. Conforme [8], a célula é composta por duas camadas de silício, uma delas com excesso de elétrons (lado N) e outra com lacunas (lado P). A junção desses dois tipos de silício é denominada junção PN. A célula recebe radiação solar, fazendo com que os elétrons migrem da banda da valência para a banda de condução, logo, esse movimento de elétrons gera energia elétrica na forma de corrente contínua
- 2) Inversores: fazem a conversão da corrente contínua gerada pelos módulos para corrente alternada. Têm o objetivo de viabilizar o uso da potência gerada pela maioria dos equipamentos comumente utilizados, e também fazer a troca com a rede elétrica em sistema On-Grid (conectados com a rede);
- 3) Outros Componentes que constituem um sistema fotovoltaico conectado à rede têm por objetivo interligar componentes, fornecer proteção ao sistema. Entre eles estão: cabos, conectores, parafusos, eletrodutos, suportes de fixação, disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos, chave seccionadora. Além disso, sistemas OffGrid (isolados da rede) contam também com controladores de carga e baterias.

### B. Tipos de Falhas

- 1) Sujidade: engloba a poeira, poluição, fuligem, dejetos de aves, entre outros. A quantidade de sujeira acumulada depende muito do local onde o sistema está instalado, locais mais secos e com mais poeira deixam a usina com mais sujeira e locais com mais chuvas podem mantê-la mais limpa, portanto não existe um consenso da frequência que uma limpeza deve ser feita [3].
- 2) Sombreamento: existem dois tipos de sombreamento. O primeiro é causado por árvores, construções, linhas aéreas de potência, ou qualquer objeto que projete sombra nos módulos. O segundo, é o sombreamento difuso, que pode ser causado por núvens, poluição atmosférica ou neblina. [9]
- 3) Hotspot: também conhecidos como pontos quentes, ocorrem quando uma ou mais células operam na polarização reversa. Ou seja, em vez da célula produzir energia, ela atua como uma resistência, provocando aquecimento [4]. Isso ocorre porque as células que compõem o módulo FV estão ligadas em série, e, a célula que sofre aquecimento, impõe uma diminuição na corrente em toda string. Suas causas, elencadas em [9] incluem acúmulo pontual de sujeira, degradação das células, sombreamento parcial e trincas;
- 4) Degradação dos Módulos: os módulos sofrem degradação com o tempo de operação, dentre elas delaminação,

rachaduras e defeitos no revestimento anti-reflexo. Esses problemas causam aumento resistência série do módulo [9]. Conforme [10], os módulos tem um laminado que tem a função de proteger seus componentes internos da umidade e contaminação. No entanto, devido a exposição às intempéries há um envelhecimento natural. Fatores como locais quentes e úmidos, acúmulo de sal, contaminações potencializam esse problema [4]. Um dos principais indícios é quando os módulos ficam com uma coloração amarelada ou marrom. Rachaduras podem ser causadas por falta de cuidados no processo de fabricação, transporte, hora da instalação ou limpeza [4].

- 5) PID (Potencial de degradação induzida) conforme [9] e [11] o PID é mais comum em módulos que operam em tensões elevadas, surge uma fuga de corrente entre o material encapsulante, o vidro e a moldura. causando redução na resistência em paralelo do circuito equivalente. O processo é acelerado por temperaturas altas e umidade. É mais comum em sistemas não aterrados ou com tensões negativas em relação ao terra.

### C. Tipos de Manutenção

Em [9] os tipos de manutenção são classificados das seguintes maneiras:

- 1) Preventiva: consiste em uma manutenção feita periodicamente, com o intuito de resolver os problemas antes que eles aconteçam, minimizando assim o tempo que o sistema fica parado por causa de uma falha. Nela podem ser incluídos rotinas de inspeção, serviços de limpeza, poda de árvores próximas, inspeção de componentes. A sua principal desvantagem são visitas ineficientes e desnecessárias no local, resultando custos elevados;
- 2) Corretiva: é uma manutenção feita depois que a falha ocorreu, elas podem ser urgentes que necessitam de intervenção imediata para o sistema voltar a funcionar, ou o sistema pode estar funcionando parcialmente e a manutenção adiada para um momento mais oportuno;
- 3) Preditiva: é feita uma análise do funcionamento do sistema e com base nessas informações são tomadas as decisões. Tem o objetivo de agendar manutenções preventivas e reduzir o impacto das manutenções corretivas. Utiliza dados em tempo real para tomada de decisões.

### D. Estratégias de Análise

As estratégias descritas se basearam em [12] e [13]

- 1) Simulação de Circuito e Comparação: Esse método consiste em estimar a potência de produção de uma usina, utilizando softwares de simulação como PSIM, Matlab/Simulink [12]. Requerem dados de irradiância local [9]. Em [13] são elencadas as vantagens e desvantagens dessa estratégia. A principal vantagem é a rápida detecção de falhas e as desvantagens são inviabilidade econômica para sistemas pequenos e dificuldade de detecção de falhas pontuais [9].
- 2) Análise Baseada em Estatística em [12] são citados trabalhos que conseguiram identificar falhas utilizando

o método ANOVA (Análise de Variância), com ela é possível identificar se existe uma relação de causa e efeito entre duas séries de dados. Também cita-se método de identificação de outliers com box plot, no quais valores discrepantes geram atenção.

- 3) Estratégias Baseadas em Processamento de Sinais: Um exemplo dessa estratégia é análise de curva IV de um arranjo ou sub arranjo [12]. Tem alta capacidade de identificar falhas pontuais, entretanto requer um hardware caro.
- 4) Estratégias Baseadas em Inteligência Artificial ou Redes Neurais: Em [14] foi feito um algoritmo de redes neurais artificiais capaz de prever a produção de um sistema fotovoltaico com base nos valores de irradiância e temperatura medidos. Apesar da rede neural precisar de um tempo de treinamento foi possível identificar sujidade nos módulos

## III. METODOLOGIA

Conforme o artigo [15], o sistema fotovoltaico analisado neste trabalho Figura 2 está situado no IFRS Campus Farroupilha e tem as coordenadas geográficas  $29^{\circ} 13' 30''S$   $51^{\circ} 20' 52''O$ , e possui uma potência nominal de 55,44 kW, é composto por 144 módulos de 385 W da marca JA Solar, com a tecnologia de silício monocristalino. Ele é ligado em um inversor GW50KN-MT de 55 kW da marca Godwe e instalado em dois telhados de zinco com uma inclinação de cerca de  $10^{\circ}$ , 90 módulos estão para oeste e 54 estão para leste. O inversor conta com um sistema de aquisição de dados que coleta os valores citados abaixo do sistema de minuto em minuto e que podem ser baixados pelo Sems Portal.

- 1) Tensão e Corrente em cada MPPT;
- 2) Tensão e corrente para cada fase de saída do inversor;
- 3) Frequência da tensão em cada fase do inversor;
- 4) Corrente de cada arranjo
- 5) Potência CA



Figura 2. Sistema FV de 55,4kWp IFRS Campus Farroupilha, Fonte: 3.1 e 3.2 Site do IFRS 2021, 3.3 Google Maps 2024

Para colocar em prática, qualquer estratégia de manutenção e monitoramento é necessário coletar os dados de irradiação e temperatura.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possui uma rede de estações automatizadas, que coletam dados meteorológicos em todo o país. Na Figura 3 são mostradas algumas estações próximas a região da usina analisada. Os dados são disponibilizados na forma horária. Dentre eles a radiação solar incidente no plano horizontal e temperatura que são de interesse para elaboração da estimativa da usina analisada.

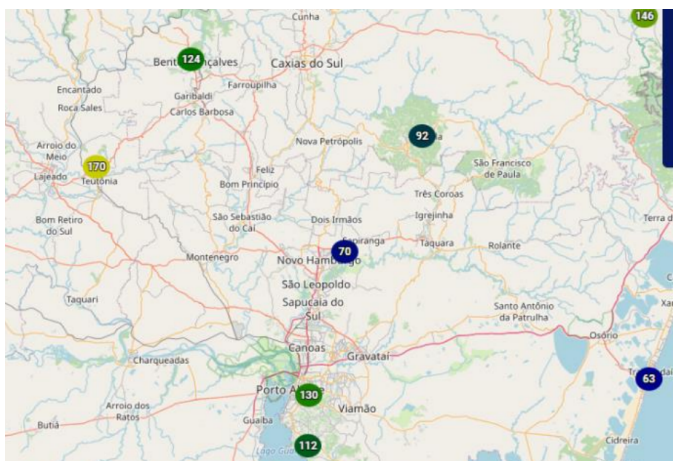


Figura 3. Estações Automáticas Inmet parte da Serra Gaúcha e Região Metropolitana. Fone INMET

Neste trabalho, foram utilizados dados da estação meteorológica A840, localizada em Bento Gonçalves, na latitude  $-29,164581^\circ$ , longitude  $-51,534202^\circ$ , com altitude de 623 metros acima do nível do mar, essa estação está localizada à 18,44 quilômetros do IFRS Campus Farroupilha, conforme mostra o mapa da Figura 4. Ela é a estação mais próxima da usina, mas não se sabe qual o erro estatístico que os dados de uma região distante da usina geram em sua estimativa.

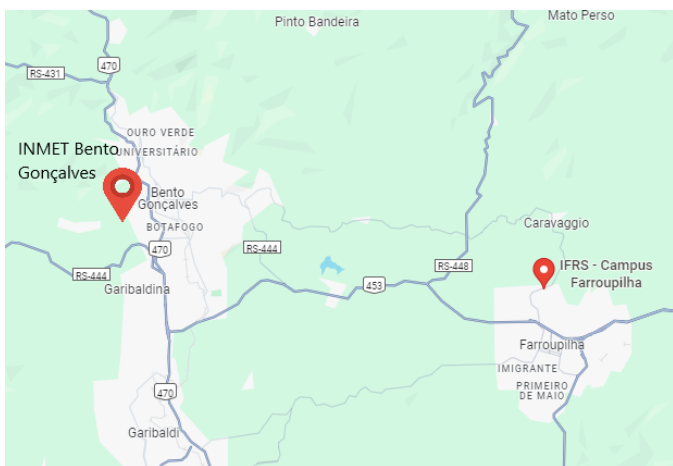


Figura 4. Mapa localização INMET Bento Gonçalves e IFRS - Campus Farroupilha

A instalação de um piranômetro junto a usina para coleta de dados é a melhor alternativa em termos de confiabilidade dos dados. A distância entre o ponto de coleta dos dados e a usina impõe uma limitação de confiabilidade [16].

Portanto, neste trabalho a utilização do piranômetro térmico junto a usina serviu para comparar a diferença de radiação solar das duas cidades, afim de garantir a confiabilidade da estimativa com os dados remotos e propor um filtro, no qual dias com menos confiabilidade são excluídos da análise.

As variáveis locais são coletadas por um Piranômetro térmico modelo SR15-D2A2 da marca Hukseflux mostrado na Figura 5. Os dados são enviados para um computador, através de um conversor TTL USB. Utilizando o software Hukseflux Sensor Manager é feita a configuração para o salvamento dos dados a cada um minuto em um arquivo do tipo csv que depois é exportado para um banco de dados.

- 1) Irradiância global e horizontal ( $W/m^2$ )
- 2) Temperatura Ambiente ( $^\circ C$ )



Figura 5. Piranômetro Térmico, Fonte: autores

Os dados remotos foram obtidos do site do INMET, além disso, foi necessário obter dados de radiação extraterrestre do site Solphos [7].

O download dos dados do site INMET, do inversor da usina Goodwe no SemsPortal e do site do Solphos foi automatizado através de um algoritmo em Python, utilizando a biblioteca Selenium. Essa biblioteca permite a criação de um RPA (*Robotic Process Automation*), que consiste em um programa de computador que imita a interação humana com uma interface web, permitindo assim, a automatização do processo de download e o salvamento dos dados em um banco de dados MYSQL. A próxima etapa foi comparar a diferença entre os dados remotos e os dados locais, a fim de avaliar a confiabilidade destes dados para estimativa da produção ideal da usina. Inicialmente os dados coletados do piranômetro foram

depurados, foram identificadas inconsistências temporais e foram colocados na mesma unidade para possibilitar comparações. Após, foi calculado o índice de claridade através da Equação (1), onde  $E_{Inmet}$  consiste na radiação horária e no plano inclinado, obtida do site do Inmet e a  $E_{Extraterrestre}$  é a radiação extraterrestre, obtida do site do Solphos na forma horária, na mesma latitude e longitude da estação do INMET, e no plano inclinado. Também com os mesmos dados, obteve-se a diferença percentual  $Dp$  com a Equação (2).

$$Kt = \frac{I_{Inmet}}{I_{Extraterrestre}} \quad (1)$$

$$Dp = \frac{I_{Inmet} - I_{Piranômetro}}{I_{Piranômetro}} \cdot 100 \quad (2)$$

Após a etapa de comparação das diferenças entre as radiações solares de Farroupilha e Bento Gonçalves. Foi aplicada uma série de equacionamentos desenvolvidos em [18] com o intuito de converter os valores de radiação do INMET  $I_{Inmet}$  para o ângulo da usina ( $I_{\beta}$ ). Para prever a quantidade de energia que a usina deveria gerar, primeiramente foi calculado uma estimativa da temperatura da célula ( $T_c$ ) com a Equação (3). Onde ( $T$ ) é a temperatura e ( $I_{\beta}$ ) é a irradiação, ambos obtidos do site do INMET e ( $T_{NOC}$ ) que é a temperatura nominal de operação da célula, que conforme o fabricante dos módulos é 45 °C. A ( $P_{teorica}$ ), obtida pela Equação (4), onde ( $P_p$ ) é a potência de pico instalada, ( $I_{ref}$ ) é a irradiância de referência, que é 1000 W/m<sup>2</sup> e ( $\gamma$ ) é o coeficiente de temperatura máxima dos módulos, que para esta usina é 0,37 %/°C, ( $t$ ) é o período de tempo analisado e ( $T_{ref}$ ) é a temperatura de referência que é 25 °C. Por fim o cálculo do índice de desempenho ( $PR$ ) com a (5), onde a ( $P_{gerada}$ ) é obtida do SemsPortal.

$$T_c = T + I_{\beta} \left( \frac{T_{NOC} - 20}{800} \right) 0,9 \quad (3)$$

$$E_{teorica} = P_p \left( \frac{I_{\beta}}{I_{ref}} \right) (1 + \gamma(T_c - T_{ref})) t \quad (4)$$

E o índice de desempenho da usina é dado pela Eq. (5)

$$PR = \frac{P_{gerada}}{P_{teorica}} \quad (5)$$

#### IV. DESENVOLVIMENTO

##### A. Comparação dos dados locais com dados remotos

A próxima etapa constituiu em comparar a diferença dos dados remotos (INMET de Bento Gonçalves) com os dados medidos localmente (piranômetro junto a usina de Farroupilha), através da Eq.(2) a fim de avaliar a confiabilidade destes dados para estimativa da produção ideal da usina. Nesta etapa, foi utilizado Python com a biblioteca Matplotlib.

Inicialmente, foi feita a distribuição normal das diferenças com todo o conjunto de dados, na Figura 6. Onde a média total deu -1,81% e o desvio padrão de 15,02%. O que mostra que os dados têm uma grande dispersão, apesar da média final ser baixa. Portanto, foi decidido correlacionar as diferenças percentuais com o índice  $Kt$

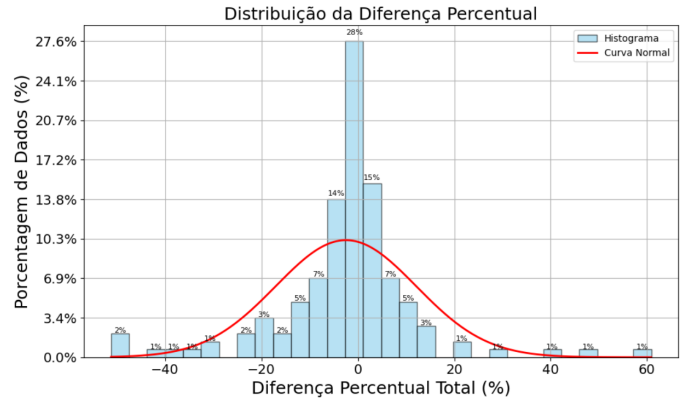


Figura 6. Distribuição normal da diferença entre dados locais e INMET

##### B. Estimativa com dados remotos

O índice  $Kt$  foi calculado com os dados do piranômetro e a irradiação extraterrestre, através da Eq.(1). O objetivo dessa etapa foi correlacionar o índice de claridade com a diferença percentual dos dias dados analisados. Os resultados foram plotados num gráfico na Figura 7. Observando os resultados, conclui-se que os dias analisados com faixas de  $Kt$  entre 0,4 e 0,8 apresentam menor dispersão nos resultados, portanto a estimativa desses dias será mais confiável.

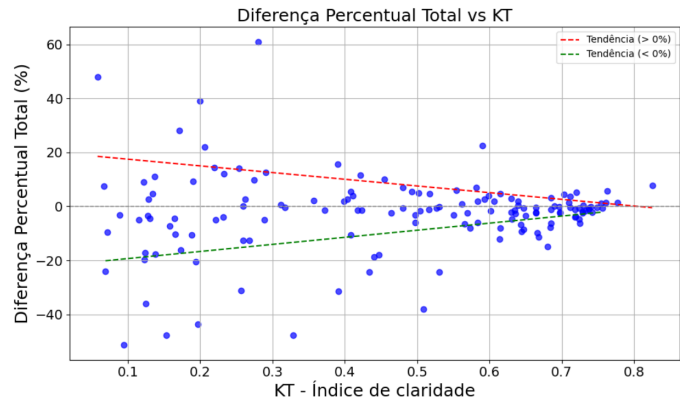


Figura 7. Diferença entre dados locais e INMET versus Índice de claridade

Aplicou-se o equacionamento desenvolvido na metodologia nos dados remotos. Para isso, foi utilizado um comando SQL, permitindo que, após cada execução dos algoritmos de download automático, os gráficos sejam atualizados com novos dados.

Os dados foram filtrados na faixa de  $Kt$  entre 0,4 e 0,8. O gráfico da Figura 9 apresenta a quantidade de dias de cada mês categorizados conforme o desvio percentual do PR (*Performance Ratio*). As categorias são: em amarelo, desvio de PR entre 0 e 10%; em verde, entre 10% e 20%; e em azul, desvio superior a 20%.

Para determinar quando o alerta de inspeção visual deve ser gerado considerou-se o desvio padrão de 15%, obtido na distribuição normal da Figura 6 e na análise da Figura 8. Foi calculado que 87 pontos estão na faixa de -15% a 15% e 6 pontos estão fora dessa faixa, representando 6,4% dos dados.

Portanto, assume-se que é aceitável que os meses tenham pelo menos 6,4%, ou seja dois dias, de dias com desvio de PR superior a 20%. Foi definido que, se houver dois meses consecutivos com mais de dias superiores esta faixa, o alerta de inspeção deve ser gerado.

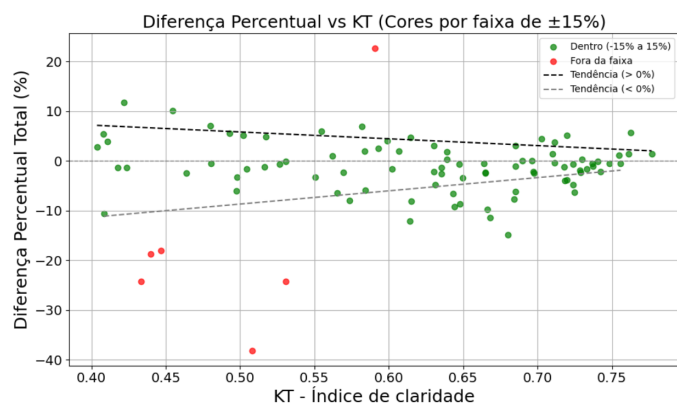


Figura 8. Diferença entre dados locais e INMET versus Índice de claridade, classificado por  $\pm 15\%$  e  $K_t$  válido

### C. Análise dos Resultados

Após a análise da Figura 9, conclui-se que, nos primeiros 6 meses, a usina operava dentro do esperado. Entretanto, com o passar do tempo, observa-se um aumento progressivo no desvio do PR em relação à referência, aumento dos dias em "azul", alcançando um patamar crítico em fevereiro de 2025, pois o mês de janeiro teve 7 dias com o desvio de PR superior e o mês de fevereiro teve 4 dias. Nesse ponto, deveria ter sido gerado o alerta de manutenção.

No mês de março de 2025, realizou-se uma limpeza no sistema, e a produtividade retornou aos níveis normais, comprovando a eficácia do método proposto para detecção de falhas, conforme pode ser visto nas últimas colunas do gráfico da Figura 9 e no gráfico da Figura 10 que mostra o PR mensal sem considerar o filtro  $K_t$ , onde há um retorno de PRs próximos ao valor ideal 1, a partir de março de 2025.

Além disso, foi plotado o gráfico da produção real versus a estimada, mostrado na Figura 11. Esse gráfico coloca lado a lado a produção real e a estimada demonstrando qual poderia ter sido o potencial de produtividade da usina, caso as medidas de manutenção tivessem sido adotadas nos períodos corretos.

Se considerar os meses julho, até dezembro de 2021 a produtividade da usina ficou 12,1% abaixo da estimada. Caso a usina produzisse de acordo com esses meses por todo o período analisado, sem considerar os dias que ela ficou desligada, ela teria gerado 257,49 MWh, mas só gerou 234,77MWh. Essa diferença, considerando o preço de R\$ 0,40 do KWh, gerou uma perda de R\$ 8687,00.

## V. CONCLUSÃO

O método desenvolvido neste trabalho demonstrou-se eficaz na detecção de falhas operacionais em usinas fotovoltaicas, destacando a relevância do monitoramento baseado em estimativas

como ferramenta para verificar se a produção de energia está alinhada com o desempenho esperado. Embora o uso de dados remotos incorra em certo grau de erro estatístico, os resultados finais mostraram que esse erro não compromete a eficácia na identificação de falhas. Quando um alerta é acionado, deve ser feita uma inspeção visual na usina. Sem o método proposto, não se sabe quando essas inspeções visuais são necessárias, o que pode gerar perdas devido a falta de manutenção ou custos elevados com manutenções preventivas desnecessárias. Com a aplicação deste método, torna-se mais eficiente a identificação do momento certo de realizar a manutenção, sendo que, na maioria dos casos, a perda de desempenho está relacionada à sujidade dos módulos, cuja solução geralmente se limita à limpeza. Caso a limpeza não resolva, então geralmente é necessário verificar os outros tópicos citados na fundamentação teórica deste trabalho.

A experiência com a instalação do sensor piranômetro térmico junto a usina evidenciou algumas limitações práticas. A necessidade de reinicialização manual após quedas de energia, ou falhas no sistema resultou em perdas recorrentes de dados, tornando a série histórica incompleta em diversos dias. Nesse contexto, a utilização de dados remotos mostrou-se mais vantajosa, uma vez que ofereceu maior continuidade na coleta das informações. Além disso, a implementação do sistema RPA para automatização do download otimizou significativamente o tempo dedicado a esta tarefa, garantindo que o banco de dados estivesse constantemente atualizado.

Como proposta de continuidade, recomenda-se a aplicação deste algoritmo nas demais usinas fotovoltaicas da rede IFRS, listadas na Tabela I, a fim de ampliar a validação do método e permitir uma análise comparativa entre diferentes plantas. Outra sugestão, é integrar os algoritmos de download automático com o agendador de tarefas do Windows, permitindo que o processo seja executado de forma totalmente automatizada diariamente ou semanalmente, elevando ainda mais o nível de autonomia do monitoramento.

Por fim, o trabalho reforçou a viabilidade da utilização dos dados remotos e técnicas de automação para o monitoramento de usinas fotovoltaicas. Permitindo, não apenas redução de custos, mas também contribuindo para eficiência energética e sustentabilidade. A solução apresentada cumpriu seu objetivo, sendo robusta, escalável e de baixo custo, com potencial significativo no contexto acadêmico e no setor produtivo de energia solar.

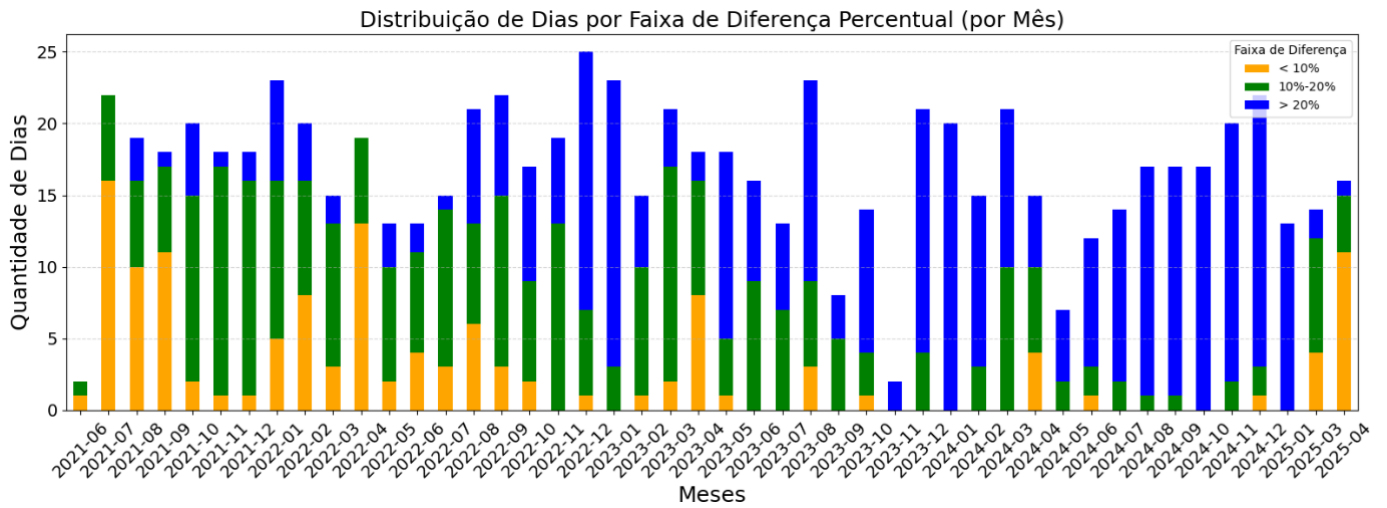


Figura 9. Quantidade de dias de cada mês e faixas de desvio de PR.

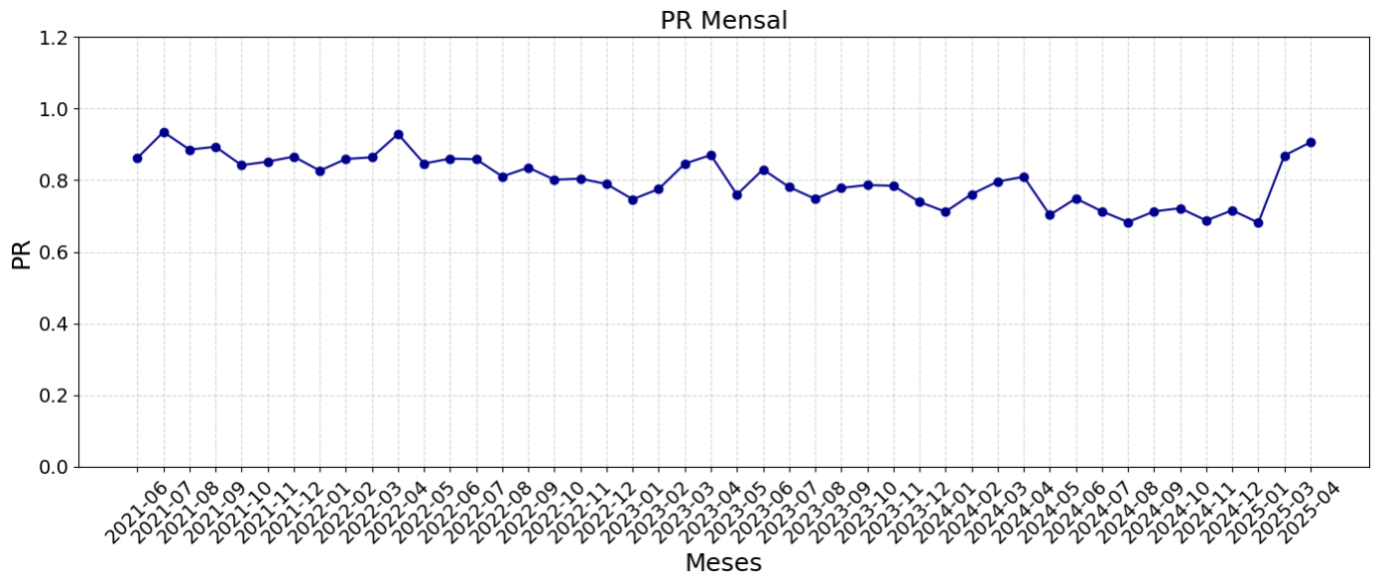


Figura 10. PR Mensal.

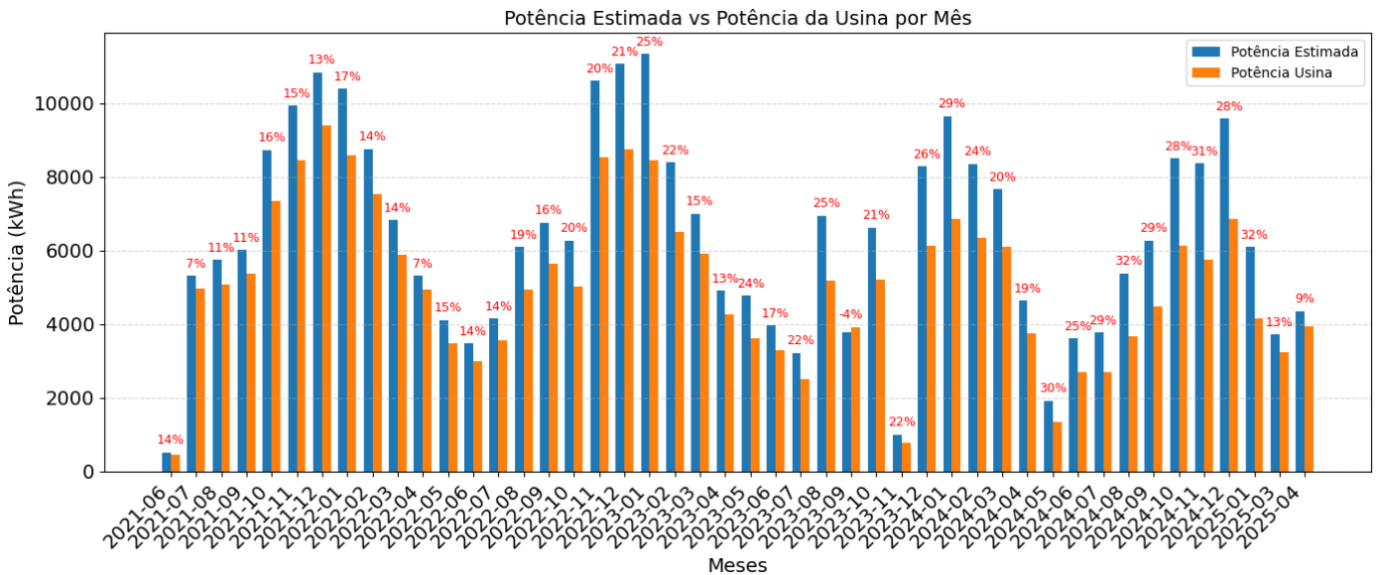


Figura 11. Estimativa e produtividade.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABSOLAR. Panorama da Energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 06/06/2025.
- [2] Brasil. “Lei N° 14300, 6 janeiro de 2022”, Diário oficial da União, Brasília, DF, 2022. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/14300.html](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/14300.html). Acesso em 06/06/2025.
- [3] HCC Energia solar, “Saiba como realizar a manutenção de sistemas fotovoltaicos”, 2022. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/saiba-como-realizar-amanutencao-de-sistemas-fotovoltaicos/> Acesso em 17/06/2024.
- [4] Asma Triki-Lahiani, Afef Bennani-Ben Abdelghani, Ilhem Slama-Belkhdja, “Fault detection and monitoring systems for photovoltaic installations: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews” Volume 82, Part 3, 2018. Tunisia.
- [5] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. (2023) Lançado o programa de eficiência energética do IFRS. [Online]. Disponível em: <https://ifrs.edu.br/lancado-o-programa-de-eficiencia-energetica-do-ifrs/> Acessado em 06/06/2025
- [6] Instituto Nacional de Meteorologia. (2025) Inmet [Online]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em 12/05/2025.
- [7] National Renewable Energy Laboratory. (2024) Solpos calculator. [Online]. Disponível em: <https://midcdmz.nrel.gov/solpos/solpos.html> Acessado em 14/10/2024.
- [8] UFRGS “Efeito Fotovoltaico” Disponível em: [http://penta3.ufrgs.br/fisica/energia/Energia\\_solar/efeito\\_fotovoltaico.html](http://penta3.ufrgs.br/fisica/energia/Energia_solar/efeito_fotovoltaico.html). Acesso em: 12/06/2024.
- [9] A. Abubakar, C. F. M. Almeida and M. Gemignani, “A Review of Solar Photovoltaic System Maintenance Strategies,” 2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), São Paulo, Brazil, 2021, pp. 1400-1407, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529669.
- [10] G. Soto Olea, J. Hernández Vanegas, D. Almarza, and I. Jofré, “Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos,” Santiago de Chile: Ministerio de Energía de Chile, 2018.
- [11] Ecore Energia Solar, “Efeito do PID – Degradação Induzida pelo Potencial em Módulos fotovoltaicos”, Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/efeito-pid---degradacao-induzida-pelo-potencial-em-modulosfotovoltaicos> Acesso em 26/06/2024.
- [12] A. Mellit, G. M. Tina, and S. A. Kalogirou, “Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: A review,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 91, no. February 2017, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.062
- [13] A. Livera, M. Theristis, L. Micheli, E. F. Fernández, J. S. Stein and G. E. Georghiou, “Operation and Maintenance Decision Support System for Photovoltaic Systems,” in IEEE Access, vol. 10, pp. 42481-42496, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3168140.
- [14] Girelli M. F. “Estimativa de Geração Fotovoltaica com o Uso de Redes Neurais Artificiais na Planta de Geração do IFRS Campus Farroupilha”. 2023. IFRS Campus Farroupilha.
- [15] Bühler, Alexandre. Análise do Desempenho de um Sistema de 55kW Conectado à Rede na Cidade de Farroupilha - RS, Farroupilha – RS, 2022 – IX Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- [16] G. Agliardi, F. P. Gasparin, e A. Krenzinger, “Monitoramento de um Sistema Fotovoltaico Utilizando Bases de Dados de Radiação Solar e Temperatura do INMET,” Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS), 2022.
- [17] D. Erbs, S. Klein, e J. Duffie, “Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation,” Solar energy, v. 28, n. 4, p. 293–302, 1982.
- [18] Casa R. L. “Análise de desempenho da usina fotovoltaica do IFRS Campus Farroupilha utilizando dados de irradiação e temperatura remotos”. 2024. IFRS Campus Farroupilha