

ANÁLISE TÉCNICA E INTERVENÇÃO EM USINA FOTOVOLTAICA DE 75 KW: UM ESTUDO DE CASO

Leonardo Santos Machado Filho¹; Lucio Rogerio Junior¹; Felipe Laure Miranda¹

¹Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

Autor Correspondente: luciorgerio@iftm.edu.br

RESUMO

Este artigo apresenta a investigação de falhas em uma usina fotovoltaica de 75 kW instalada na zona rural de Paracatu, Minas Gerais. A análise dos dados operacionais evidenciou uma redução significativa na geração de energia, demandando intervenções corretivas. O estudo avalia o desempenho do sistema antes e após as reformas implementadas, incluindo uma análise de viabilidade econômica por meio do cálculo do payback. Os resultados ressaltam a relevância da manutenção preventiva e da execução técnica adequada como fatores determinantes para assegurar a eficiência energética, a confiabilidade operacional e a viabilidade financeira de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Palavras-chave: fazenda fotovoltaica; manutenção preventiva; eficiência energética.

ABSTRACT

This paper investigates construction-related failures in a 75 kW photovoltaic power plant located in the rural area of Paracatu, Minas Gerais, Brazil. Operational data analysis revealed a significant reduction in energy generation, requiring corrective interventions. The study evaluates the system performance before and after the implemented refurbishments, including an economic feasibility assessment through payback analysis. The results highlight the importance of preventive maintenance and proper technical execution as key factors to ensure energy efficiency, operational reliability, and financial viability of grid-connected photovoltaic systems.

Keywords: photovoltaic plant; preventive maintenance; energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Diante do avanço das mudanças climáticas e da crescente demanda global por alternativas energéticas sustentáveis, as fontes renováveis têm adquirido papel de destaque na matriz energética mundial. Entre essas alternativas, a energia solar fotovoltaica sobressai em função da abundância do recurso solar e da comprovada viabilidade técnica e econômica dos sistemas de geração distribuída. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Associação Brasileira de Energia [...], 2023), a fonte solar consolidou-se como a segunda maior componente da matriz elétrica brasileira (Figura 1), apresentando ritmo acelerado de expansão e ampliando de forma expressiva sua participação no suprimento energético nacional nos últimos anos.

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023 - Adaptado pela Associação Brasileira de Energia [...].

O Brasil, em função de suas características geográficas, apresenta elevados índices de irradiação solar em grande parte de seu território. Na região Noroeste de Minas Gerais, por exemplo, o município de Paracatu registra valores médios diários de irradiação superiores a 5,5 kWh/m², segundo dados do Centro de Referência para Energias Solares e Eólicas (Centro [...], 2024), o que evidencia condições altamente favoráveis à geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica.

Em resposta a esse potencial, o arcabouço regulatório da geração distribuída no país teve início em 2012, com a publicação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as diretrizes para a geração própria de energia elétrica e a participação no sistema de compensação de créditos. Posteriormente, a Resolução nº 687, de 2015, ampliou o escopo regulatório ao incluir modalidades como a geração compartilhada, o autoconsumo remoto e a utilização de múltiplas unidades consumidoras vinculadas a um mesmo sistema.

A consolidação do setor ocorreu com a promulgação da Lei nº 14.300, de 2022, que instituiu o Marco Legal da Geração Distribuída, proporcionando maior segurança jurídica e estabilidade regulatória ao segmento. Essas iniciativas normativas da ANEEL e do governo federal viabilizaram a rápida expansão da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, comumente denominada *on-grid*.

Entretanto, apesar dos avanços regulatórios e tecnológicos, o desempenho dos sistemas fotovoltaicos permanece diretamente associado à qualidade da instalação e às práticas de manutenção ao longo de sua vida útil. Estudos recentes, como o de Soares (2023), apontam que falhas recorrentes, incluindo conexões inadequadas, utilização de componentes fora das especificações e ausência de manutenção preventiva, têm comprometido a eficiência das usinas solares, resultando em perdas energéticas e impactos econômicos significativos. A detecção precoce dessas falhas, aliada ao monitoramento contínuo das variáveis operacionais, configura-se como prática fundamental para assegurar a confiabilidade, a durabilidade e a rentabilidade dos empreendimentos fotovoltaicos.

1.1 Exemplo de ilustrações e tabelas

1.1.1 Objetivo geral

Investigar o impacto da reforma técnica realizada em uma usina fotovoltaica de 75 kW no desempenho energético e no retorno financeiro do empreendimento utilizando análise comparativa dos dados de geração antes e depois da intervenção.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais fatores que levaram à redução de geração na usina fotovoltaica estudada;
- Analisar os procedimentos de reforma realizados, como substituição de cabos, conexões e adequação às normas técnicas;
- Demonstrar a importância da manutenção preventiva e corretiva na maximização da eficiência de sistemas fotovoltaicos;

- Correlacionar os resultados obtidos com boas práticas de operação e manutenção de usinas solares, visando garantir segurança, desempenho e sustentabilidade.

1.2 Delimitação

Esta pesquisa insere-se no campo da Engenharia Elétrica, com ênfase na manutenção de sistemas elétricos aplicados à geração de energia fotovoltaica. O estudo tem como objeto de análise uma usina fotovoltaica de 75 kW instalada na Fazenda Entre Ribeiros, localizada no município de Paracatu, Minas Gerais, configurando-se como um caso representativo de geração distribuída em ambiente rural.

Figura 2 – Usina fotovoltaica c/ cinco estruturas de módulos solares e edificação anexa



Fonte: Arquivo pessoal dos autores (2023).

1.3 Problema

A eficiência de sistemas fotovoltaicos está diretamente condicionada à qualidade da instalação e à execução regular de procedimentos de manutenção. Mesmo falhas técnicas aparentemente simples, como emendas inadequadas de cabos ou conexões elétricas defeituosas, podem ocasionar perdas significativas

de desempenho e reduzir a vida útil dos equipamentos.

1.4 Hipótese

Entre dezembro de 2024 e março de 2025, a usina fotovoltaica analisada neste estudo de caso apresentou queda significativa na produção de energia elétrica, acompanhada de indícios de falhas elétricas críticas. As inspeções realizadas em campo identificaram pontos de superaquecimento, cabos danificados por queima, presença de fuligem e derretimento de componentes em caixas de passagem e eletrocalhas localizadas nas proximidades dos inversores.

Tais falhas foram atribuídas, predominantemente, à execução inadequada de emendas de cabos e conexões elétricas. A hipótese considerada é que a má execução da obra, associada à insuficiência de qualificação técnica da equipe de montagem, contribuiu para a ocorrência de conexões defeituosas. O derretimento de cabos e a carbonização de eletrocalhas, conforme ilustrado na Figura 3, reforçam a premissa de que falhas construtivas durante a instalação da usina estiveram diretamente relacionadas aos problemas identificados.

Figura 3 – Caixa de passagem subterrânea c/ evidência de queima de cabos e fumaça residual



Fonte: Arquivo pessoal dos autores (2023).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

A norma ABNT NBR 16274:2014 estabelece os requisitos mínimos para o comissionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, constituindo-se em referência fundamental para a avaliação técnica e operacional dessas instalações. Além de orientar os procedimentos de entrada em operação, a norma define diretrizes para a elaboração de um plano de manutenção baseado em registros técnicos documentados. No item 4, prevê-se a obrigatoriedade da apresentação de diagramas unifilares atualizados, fichas técnicas de módulos, inversores e cabos, certificados de conformidade com normas internacionais (tais como IEC 61215 e IEC 61730), além de relatórios de inspeção e manuais de fabricantes. Esses documentos são essenciais para assegurar a rastreabilidade, apoiar intervenções futuras e garantir a conformidade regulatória da instalação.

O item 5 da norma trata dos procedimentos de verificação técnica a serem aplicados durante a inspeção dos sistemas fotovoltaicos. Dentre eles, destacam-se a checagem de continuidade elétrica, polaridade das conexões, torque de terminais, integridade dos dispositivos de proteção e fixação mecânica dos módulos. A norma também enfatiza a importância de avaliar a isolação elétrica dos condutores, bem como o desempenho dos inversores em conformidade com os parâmetros técnicos especificados. Tais testes são fundamentais para garantir a segurança operacional, maximizar o desempenho e prevenir falhas ocultas que possam comprometer a operação da usina.

Complementando a abordagem normativa, Souza (2021) apresenta uma sistematização prática dos tipos de manutenção e dos principais equipamentos que compõem uma usina fotovoltaica típica. A partir de uma análise crítica, o autor propõe diferentes estratégias de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, aplicadas conforme a função e criticidade de cada componente. Por exemplo, módulos fotovoltaicos e inversores requerem manutenções preventiva e preditiva, com foco em inspeções visuais, ensaios elétricos e monitoramento contínuo via sistemas supervisórios. Já elementos como cabos, conectores e estruturas de fixação demandam ações preventivas regulares, a fim de garantir desempenho adequado ao longo da vida útil do sistema.

As informações sistematizadas por Souza (2021) são particularmente relevantes para o planejamento de rotinas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. O autor apresenta estratégias específicas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, aplicadas de acordo com a função e criticidade dos equipamentos. O Quadro 1 resume os principais componentes da usina e as estratégias correspondentes, fornecendo suporte à definição de procedimentos técnicos alinhados às exigências normativas do setor.

Quadro 1 – Equipamentos e tipos de manutenção recomendados

Equipamento	Estratégia
Módulos fotovoltaicos	Preditiva/Preventiva
Conectores	Preventiva
Cabos elétricos CC	Preventiva
Stringbox	Preventiva/Corretiva planejada
Estrutura de fixação	Preventiva
Inversor fotovoltaico	Preditiva/Preventiva
Quadro geral de baixa tensão	Preventiva/Corretiva planejada
Transformador de potencial	Preditiva/Preventiva
Subestação de proteção e medição	Preventiva

Fonte: Adaptado de Souza (2021).

2.2 Material e Métodos

Este estudo baseou-se em dados reais coletados entre janeiro de 2024 e junho de 2025, correspondentes à geração mensal de energia de uma usina fotovoltaica *on-grid*, com potência instalada de 75 kW, localizada na zona rural de Paracatu, Minas Gerais. As informações referentes ao consumo e à injeção de energia foram obtidas na plataforma CEMIG Atende, disponibilizada pela concessionária local. Adicionalmente, foram utilizados os registros do Solar Portal, vinculado aos inversores da usina, responsável pelo monitoramento em tempo real da potência ativa, tensão e corrente em corrente contínua, bem como pelo registro de alarmes de falha e histórico operacional. Os dados foram exportados mensalmente, organizados em planilhas e analisados com foco na variação do desempenho e nos impactos decorrentes das intervenções técnicas realizadas.

Complementarmente, foram realizadas duas inspeções técnicas na usina durante o segundo trimestre de 2025, em conformidade com os requisitos estabelecidos nos itens 4 e 5 da ABNT NBR 16274:2014. Durante as visitas, executaram-se os seguintes procedimentos: inspeção visual de módulos, cabos, *string* boxes e caixas de passagem; verificação do torque das conexões; e testes de continuidade elétrica nos terminais de corrente contínua e alternada.

Todas as não conformidades observadas foram registradas por meio de documentação fotográfica. A Figura 4 ilustra o estado geral dos módulos fotovoltaicos instalados em solo antes da execução da limpeza preventiva, evidenciando acúmulo superficial de sujidades que comprometeu parcialmente a absorção da radiação solar.

Figura 4 – Módulos fotovoltaicos instalados em solo na zona rural de Paracatu/MG

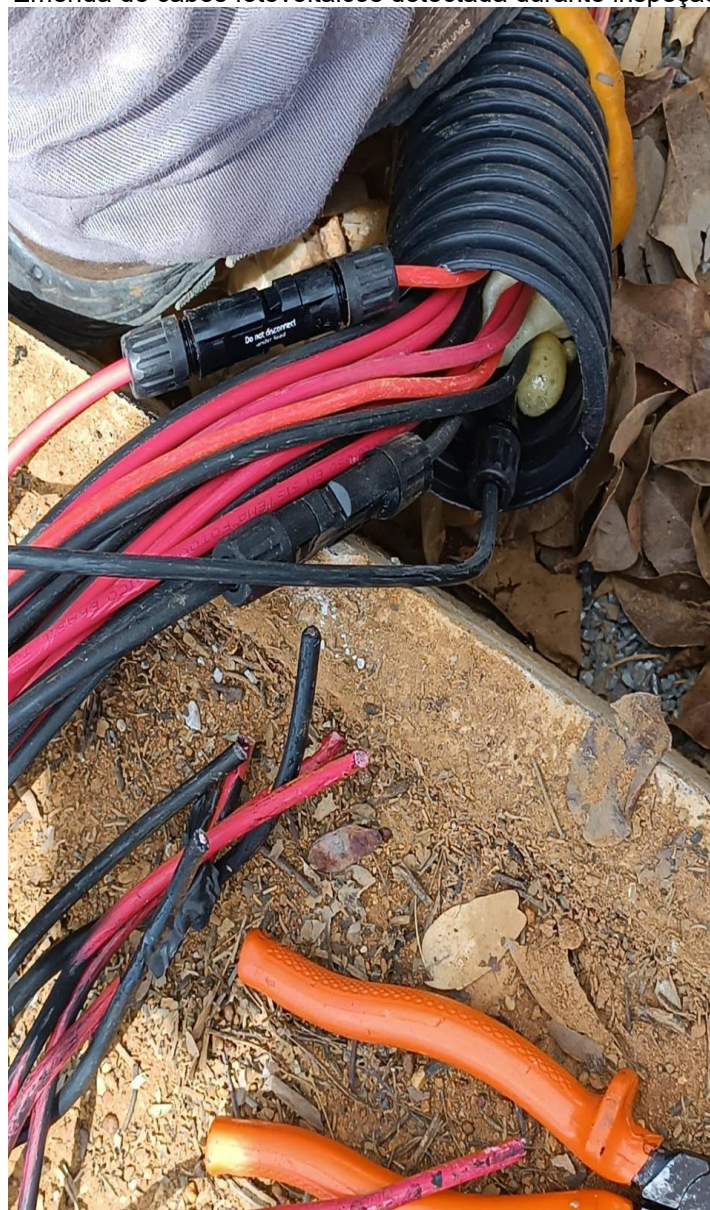


Fonte: Fotografia do autor (2024).

A Figura 5 apresenta o interior de uma caixa de passagem subterrânea, na qual foram identificadas emendas de cabos de corrente contínua com conectores danificados, evidências de carbonização e falhas de isolamento. Essa condição demandou intervenção imediata, uma vez que representa risco significativo de falha crítica no sistema.

Durante as inspeções de campo, foram identificados indícios visuais evidentes de falhas térmicas em pontos específicos do sistema. A Figura 5 ilustra o interior de um eletroduto metálico, no qual foram observados acúmulo de fuligem e escurecimento das paredes internas, indicando superaquecimento e possível ocorrência de curto-circuito. Os cabos que atravessam o eletroduto apresentavam carbonização parcial, e a isolação plástica encontrava-se comprometida em alguns trechos.

Figura 5 – Emenda de cabos fotovoltaicos detectada durante inspeção de campo



Fonte: Fotografia do autor (2024).

As intervenções aplicadas em campo, incluindo reaperto de conexões, limpeza técnica dos módulos, testes de isolamento e inspeções visuais periódicas, seguiram as recomendações técnicas de Souza (2021) e Soares (2023), alinhando-se às melhores práticas de manutenção preventiva e preditiva em sistemas fotovoltaicos.

Figura 6 - Fuligem em eletroduto com indícios de curto-circuito



Fonte: Fotografia do autor (2025).

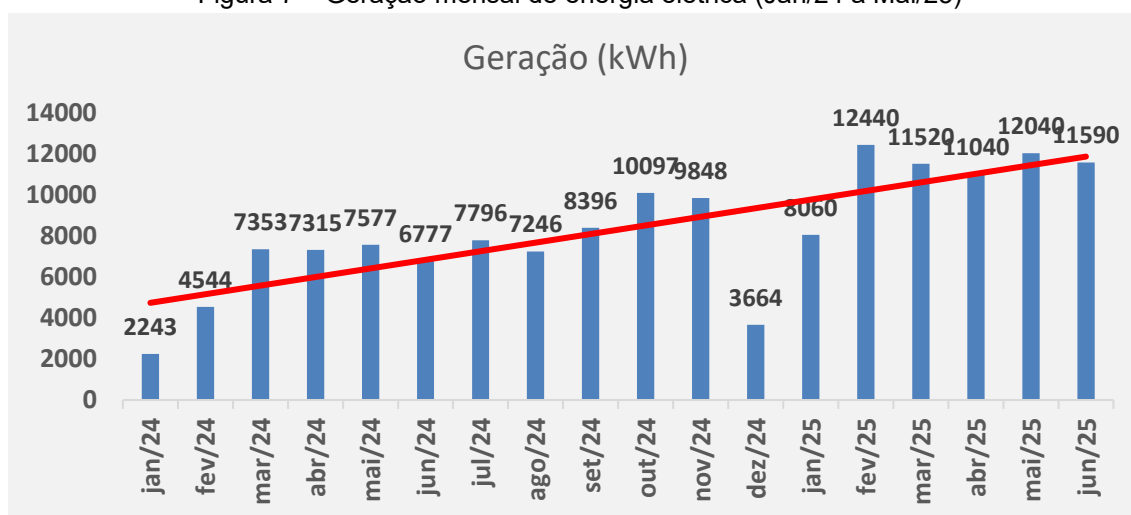
2.3 Resultados e Discussão

A geração mensal da usina fotovoltaica entre janeiro de 2024 e junho de 2025 apresentou variações significativas, conforme ilustrado na Figura 7. É possível identificar três fases distintas ao longo do período: uma fase inicial de crescimento (jan-jun/24), seguida de uma fase de degradação operacional (jul-dez/24), e, por fim, uma fase de recuperação e estabilização após a reforma técnica realizada em janeiro de 2025.

Durante o primeiro semestre de 2024, a usina fotovoltaica apresentou crescimento gradual na produção de energia, alcançando picos superiores a 7.500 kWh nos meses de março a maio. A partir de julho, observou-se uma tendência de queda na geração, associada principalmente ao acúmulo

de sujeira sobre os módulos e à degradação de conexões elétricas. Embora limpezas preventivas tenham sido realizadas entre setembro e novembro, refletindo temporariamente em uma elevação da geração para 10.097 kWh em outubro, a ausência de manutenção corretiva aprofundou o desgaste dos componentes, culminando em um curto-circuito em dezembro, quando a geração despencou para 3.664 kWh.

Figura 7 – Geração mensal de energia elétrica (Jan/24 a Mai/25)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A inspeção técnica subsequente identificou cabos carbonizados, conectores derretidos, pontos de mau contato e acúmulo de fuligem nas caixas de passagem, caracterizando falhas severas por sobrecarga e ausência de manutenção sistemática. Em resposta, a usina passou por uma reforma completa em janeiro de 2025, incluindo substituição de cabos e conectores danificados, reaperto de terminais, reorganização de eletrocalhas, limpeza técnica dos módulos e execução de ensaios de continuidade elétrica.

Como resultado, a geração aumentou de 8.060 kWh em janeiro para 12.440 kWh em fevereiro, representando crescimento de 54,3% em apenas um mês. Nos meses subsequentes, a produção manteve-se elevada: 11.520 kWh em março, 11.040 kWh em abril e 12.040 kWh em maio, evidenciando não apenas a recuperação da capacidade produtiva, mas também a estabilidade operacional obtida após a correção das falhas. A linha de tendência apresentada na Figura 4 demonstra a inflexão positiva após a reforma, confirmando o restabelecimento das condições nominais da usina.

Esses resultados indicam que a combinação de intervenções corretivas pontuais com a implementação de uma rotina de manutenção preventiva foi eficaz tanto para restaurar a performance quanto para mitigar riscos operacionais. As ações foram conduzidas com base nos procedimentos definidos pela ABNT NBR 16274:2014, incluindo verificações de continuidade elétrica, torque de terminais, polaridade e inspeção visual estruturada. Complementarmente, aplicaram-se estratégias de manutenção recomendadas

por Souza (2021), como limpeza técnica, reaperto de conexões e organização de cabos.

Além da recuperação da geração de energia, o estudo evidenciou benefícios técnicos e operacionais significativos. Do ponto de vista técnico, a identificação precisa das falhas e a aplicação de medidas corretivas restabeleceram a eficiência operacional da usina, garantindo maior confiabilidade do sistema e prevenindo futuras interrupções. Em termos operacionais, o monitoramento contínuo e a sistematização das intervenções forneceram base para o desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva adaptado à realidade da planta, contribuindo para a estabilização da produção e redução de ocorrências críticas. A abordagem aplicada é replicável em outras usinas de porte similar, demonstrando a viabilidade técnica e a importância da integração entre monitoramento, inspeção de campo e aplicação de normas técnicas como ferramenta de gestão da performance em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

O Quadro 2 apresenta a distribuição proporcional da energia excedente gerada pela unidade no mês de maio de 2025, considerando o sistema de compensação de energia vigente. Desde o início de 2024, os percentuais de rateio foram ajustados para maximizar o aproveitamento dos créditos entre as unidades receptoras cadastradas. A geração total do período foi de 12.040 kWh, dos quais 1.160 kWh foram consumidos pela própria unidade geradora, restando 10.880 kWh encaminhados às unidades consumidoras associadas conforme os percentuais previamente definidos. Embora os valores mensais variem de acordo com consumo e geração de cada ciclo, todos seguem o mesmo princípio de compensação proporcional. Essa operação está em conformidade com o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), regulamentado pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, que permite o envio e a compensação de energia excedente entre unidades consumidoras de mesma titularidade ou vínculo autorizado junto à distribuidora (CEMIG), respeitando os critérios técnicos e operacionais estabelecidos pela concessionária.

Quadro 2 – Distribuição da energia excedente e rateio entre unidades compensadoras (maio/25)

UC	Cota	Geração / Enviado (KW)	Consumo (KW)	Acumulado (KW)
Geradora	0%	12040	1160	54840,45
Compesadora 1	22%	2648,8	8320	2439,64
Compesadora 2	21%	2528,4	4200	0
Compesadora 3	57%	6862,8	8520	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O Quadro 3 apresenta a correlação mensal entre a energia elétrica gerada (em kWh) e o retorno financeiro obtido pelo cliente por meio da compensação na

fatura de energia elétrica, no período de janeiro de 2024 a junho de 2025. Os dados evidenciam um retorno econômico significativo ao longo de 18 meses, totalizando R\$ 163.005,25 em créditos compensados, correspondendo ao montante que o cliente deixou de pagar à concessionária CEMIG.

Quadro 3 – Geração mensal de energia e retorno financeiro com compensação de créditos

DATA	Geração (kWh)	Retorno	Data	Geração (kWh)	Retorno
jan/24	2243	R\$ 2.445,20	out/24	10097	R\$ 11.005,95
fev/24	4544	R\$ 4.952,52	nov/24	9848	R\$ 10.733,88
mar/24	7353	R\$ 8.014,99	dez/24	3664	R\$ 3.994,09
abr/24	7315	R\$ 7.972,91	jan/25	8060	R\$ 8.785,40
mai/24	7577	R\$ 8.258,82	fev/25	12440	R\$ 13.559,60
jun/24	6777	R\$ 7.387,26	mar/25	11520	R\$ 12.556,80
jul/24	7796	R\$ 8.497,86	abr/25	11040	R\$ 12.033,60
ago/24	7246	R\$ 7.897,81	mai/25	12040	R\$ 13.123,60
set/24	8396	R\$ 9.151,86	jun/25	11590	R\$ 12.633,10
Total					R\$ 163.005,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se um incremento gradual na produção de energia ao longo do período analisado, com destaque para os meses de fevereiro a junho de 2025, quando a geração ultrapassou 11.000 kWh. Esse aumento está diretamente associado à manutenção corretiva realizada no sistema, que restabeleceu o desempenho das unidades geradoras. A recuperação da performance do sistema fotovoltaico evidencia a importância da operação contínua e eficiente dos equipamentos, garantindo a maximização dos benefícios econômicos inerentes à geração distribuída.

3, CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou que a integração de monitoramento remoto, inspeções de campo estruturadas e intervenções corretivas pontuais é determinante para a performance de sistemas fotovoltaicos de médio porte. A análise contínua dos dados coletados entre janeiro de 2024 e junho de 2025 revelou variações significativas na geração de energia, associadas ao acúmulo

de sujeira nos módulos e falhas em conexões elétricas. A intervenção realizada em janeiro de 2025, baseada nos procedimentos definidos pela ABNT NBR 16274:2014 e nas rotinas de manutenção recomendadas por Souza (2021), restabeleceu rapidamente a operação do sistema: a produção mensal aumentou de 8.060 kWh para 12.440 kWh (+54%) e manteve-se estável acima de 11.000 kWh nos meses subsequentes.

Além do ganho energético imediato de 15,7 MWh em quatro meses, a usina passou a operar sem registros de alarmes críticos, com redução do risco de falhas por superaquecimento e aumento da confiabilidade dos inversores. Em termos econômicos, o retorno financeiro bruto registrado ao longo de 18 meses totalizou R\$ 163.005,25 em créditos compensados na fatura de energia elétrica. Ressalta-se que este valor não inclui os custos com manutenção e reforma, que somaram aproximadamente R\$ 14.000, correspondendo a cerca de 3,9% do custo médio de implantação de uma usina de 75 kW, estimado em R\$ 360.000. Dessa forma, a intervenção mostrou-se economicamente viável, promovendo recuperação de desempenho e prolongamento da vida útil do sistema.

Recomenda-se a implementação contínua de um programa de manutenção preventiva, incluindo limpeza programada dos módulos, verificação de torque dos terminais, testes de isolamento e inspeções termográficas semestrais. A metodologia aplicada neste estudo é replicável em instalações fotovoltaicas similares, especialmente em contextos rurais, contribuindo para a sustentabilidade e expansão da geração distribuída no Brasil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274:2014** – Sistemas fotovoltaicos (FV): requisitos mínimos para comissionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar já é a segunda maior fonte da matriz elétrica brasileira**. São Paulo: ABSOLAR, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008. Disponível em: https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasil_3a-ed.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a REN nº 482/2012 e amplia as

modalidades de geração distribuída. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel>. Acesso em: 03 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 7 jan. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIAS SOLARES E EÓLICAS. **Banco de dados de irradiação solar diária**: município de Paracatu-MG. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <http://www.cresesb.eel.usp.br>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SOARES, B. E. de A. **Planejamento de manutenção em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**: um estudo voltado para as usinas da UFRN. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

SOUZA, T. M.de. **Estudo de técnicas de manutenção preventiva em instalações fotovoltaicas**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Brasília, 2021.