

COMISSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO CONTEXTO RESIDENCIAL: ANÁLISE SEGUNDO NORMAS E PRÁTICAS

Esterfano Diego da Silva Tavares¹ e Romênia Gurgel Vieira²

Resumo: O comissionamento é uma etapa importante na identificação de problemas antes de uma planta fotovoltaica entrar em operação. O objetivo é garantir que o sistema de geração de grande ou pequeno porte obedeça aos requisitos mínimos necessários segundo a NBR 16274:2014. A norma é dividida em três aspectos principais: documentação, ensaios de comissionamento e avaliação de desempenho. Na parte de comissionamento, é possível obter a metodologia de ensaios à qual o sistema fotovoltaico estará sujeito, sendo eles os Ensaios de Categoria 1, Ensaios de Categoria 2 e Ensaios Adicionais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar a aplicação do método de ensaio de Categoria 1 a um sistema fotovoltaico de pequeno porte instalado em uma residência localizada na cidade de Mossoró, trazendo contribuições para a área de sistemas fotovoltaicos de microgeração, visto que a norma obriga esses sistemas a passarem pelo processo de comissionamento, mas que muitas vezes têm essas etapas ignoradas. As etapas de verificação foram seguidas conforme a NBR 16274:2014 recomenda, realizando-se inspeção visual antes dos procedimentos de ensaios. Apesar da pouca aplicação dos métodos a sistemas de menor porte, é possível identificar que problemas ocorreram durante a montagem. No caso desta pesquisa, foram constatados altos níveis de resistência, sombreamento parcial, falta de etiquetas de identificação, além de outros pontos que podem comprometer a segurança e o desempenho da planta fotovoltaica.

Palavras-chave: Ensaios de comissionamento; NBR 16274:2014; Sistema Fotovoltaico; Inspeção visual; Ensaios de Categoria 1.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia solar fotovoltaica cresceu rapidamente nos últimos anos no Brasil. O crescimento se deu pelas ações regulatórias implementadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), com a publicação da Resolução 482/2012, a qual definiu um sistema de compensação de energia para micro e minigeração a sistemas conectados à rede elétrica de distribuição [1]. Com o aumento gradual da implementação de novos sistemas fotovoltaicos, os ensaios de comissionamentos, além de serem etapas obrigatórias a serem realizadas em uma planta fotovoltaica, deixa a geração ainda mais confiável.

Os ensaios de comissionamento são análises realizadas no sistema fotovoltaico para verificar se a planta está adequada para entrar em funcionamento. A NBR 16274:2014 é a principal norma regulamentadora que trata dos requisitos mínimos necessários para garantir o bom funcionamento da planta fotovoltaica. Estudo como o de [1], retrata a aplicação de *software* de gerenciamento para comissionamento de sistemas fotovoltaicos. Já autores como [2] e [3], abordam os procedimentos para uma usina solar fotovoltaica de grande porte executarem, trazendo aspectos em geral da NBR 16274:2014 como documentação, ensaios de comissionamento e avaliação de desempenho. David, em [4] aborda a realização do ensaio de comissionamento em uma usina fotovoltaica de minigeração, destacando a importância dessa etapa para a verificação da conformidade do sistema com os parâmetros projetados.

Diante deste contexto, este trabalho realiza os ensaios de comissionamento para que o sistema fotovoltaico conectado à rede atenda aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 16274:2014. Diferente dos trabalhos anteriores realizados nesta área de estudo, este trabalho demonstra a aplicação dos métodos de ensaio de comissionamento de Categoria 1 para um sistema de geração residencial de pequeno porte. O objetivo do ensaio é demonstrar a aplicação e a eficiência dos métodos em sistemas fotovoltaicos de menor porte a fim de identificar falhas no projeto antes da entrada em operação.

A estrutura deste trabalho foi realizada de forma sequencial, conforme as práticas realizadas, garantindo assim, maior clareza no estudo. Na Seção 2 são abordados os procedimentos de comissionamento, como os diferentes tipos de ensaio e as normas que retratam a aplicação dos métodos. A Seção 3 é destinada a detalhar os métodos de ensaio conforme a NBR 16274:2014, trazendo a metodologia de Ensaios de Categoria 1 e Inspeção Visual a um sistema de microgeração fotovoltaica localizado na cidade de Mossoró/RN. Já na Seção 4, é abordado uma análise detalhada dos resultados obtidos durante o processo de inspeção visual e ensaios de

comissionamento de Categoria 1. Por fim, a Seção 5 traz as considerações finais sobre os métodos abordados, além de sugerir melhorias para o ensaio realizado.

2. PROCESSOS DE COMISSIONAMENTO

O processo de comissionamento é um meio de avaliar se um sistema fotovoltaico está adequado para entrar em funcionamento, e os ensaios devem ser realizados sempre que houver a finalização ou adequação de um novo sistema. Segundo [4], o objetivo é assegurar que o sistema ofereça segurança, eficiência e viabilidade operacional, seguindo normas técnicas, legislações e boas práticas de engenharia. De acordo com [1], garantir que um sistema fotovoltaico opere adequadamente, além de ser uma prática exigida para todos os sistemas que entraram em operação, é uma forma de transferir a responsabilidade de operação para o proprietário.

Para garantir o pleno funcionamento, a ABNT NBR 16274:2014 é a principal norma que traz os requisitos mínimos que um sistema fotovoltaico deve atender. Ela é distribuída em três focos principais, sendo eles: os requisitos de documentação, que detalham quais são as informações que devem estar presentes na documentação após a instalação do sistema; a verificação, que aborda os requisitos mínimos para os ensaios de comissionamento aplicado na verificação inicial ou periódica de sistema fotovoltaico; e, por fim, a avaliação de desempenho, que visa avaliar o desempenho do sistema após a entrada em operação.

2.1. Ensaios de categoria

Conforme descrito em [5] na subseção 5.3, existem três tipos de categorias de ensaios de comissionamento para Sistema Fotovoltaicos Diretamente conectados à rede (SFCR), sendo eles:

- Regime de ensaio Categoria 1: Este regime trata sobre a sequência mínima de ensaios que deve ser aplicada a todos os sistemas, independentemente da escala, do tipo, da localização ou da complexidade;
- Regime de ensaio Categoria 2: Essa categoria é indicada para sistemas fotovoltaicos de maior porte ou complexidade. Conforme menciona da subseção 5.3.2.2 da NBR 16274:2014, não é especificado a potência instalada que se caracteriza como maior porte ou complexidade. Mas, antes de sua aplicação é necessário que todos os ensaios do regime de Categoria 1 tenham sido concluídos;
- Ensaios Adicionais: Os ensaios adicionais podem ser solicitados por exigência do cliente ou utilizados como recurso para identificação de falhas, especialmente quando anomalias operacionais ou resultados de ensaios anteriores indicarem a possível existência de problemas não detectados pelos procedimentos padrão.

A NBR 16274:2014 é responsável por trazer a metodologia a ser aplicada nos ensaios. Na Subseção 5.3.2.1 desta mesma norma é possível obter a sequência mínima, por categoria, dos ensaios à qual o sistema fotovoltaico estará sujeito à realização. Os procedimentos de ensaio estão presentes na Figura 1.

Ensaios Categoria 1	Ensaios Categoria 2
Ensaio do(s) circuito(s) C.A. (IEC 60364-6)	Inspeção com câmera infravermelha
Equipotencialização com malha de aterramento	Ensaio de curva IxV
Ensaio de polaridade	
Ensaio da(s) caixa(s) de junção	
Ensaio de corrente (curto-circuito ou operacional)	
Ensaio de tensão (circuito aberto)	
Ensaios funcionais	
Ensaio de resistência de isolamento (circuitos C.C.)	
	Ensaios Adicionais
	Tensão ao solo (sistema com aterramento resistivo)
	Ensaio de diodo de bloqueio
	Ensaio de resistência de isolamento úmido
	Avaliação de sombreamento

Figura 1. Etapas de verificação dos ensaios. (Fonte: Adaptado de [7]).

Para a realização dos procedimentos de ensaios nas etapas de comissionamento da usina fotovoltaica residencial, apenas os ensaios de Categoria 1 foram realizados. Pois, os mesmos eram suficientes para verificar o bom funcionamento da planta fotovoltaica.

2.1.1. Continuidade da ligação à terra e dos condutores

O ensaio de equipotencialização é um método utilizado para analisar se as partes condutoras da instalação seguem igualadas ao mesmo potencial elétrico, com exceção dos condutores vivos não aterrados. Estão incluídas no processo de equipotencialização todas as molduras dos módulos fotovoltaicos, as estruturas e carcaça do inversor [1]. Os testes são realizados em todos os condutores da instalação da parte CC do sistema, a verificação deve ser efetuada com equipamentos de medição adequados e devidamente calibrados. A continuidade da ligação ao terminal de terra principal também deverá ser verificada [5]. A Figura 2 demonstra a estrutura de aterramento equipotencializada.

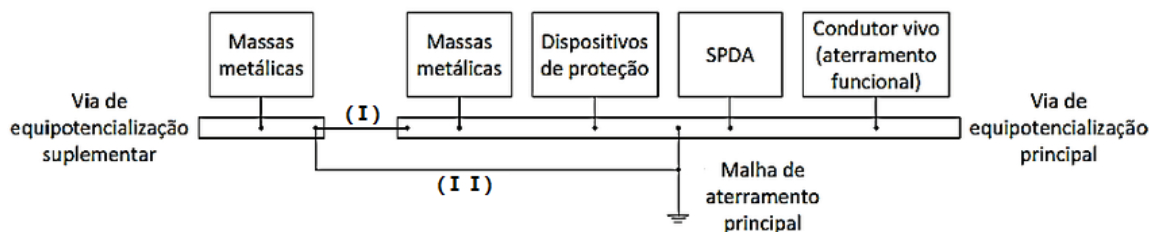


Figura 2. Estrutura de aterramento. (Fonte: Adaptado de [10]).

2.1.2. Ensaios de polaridade

O ensaio de polaridade é um meio de detectar possíveis inversões de polaridade de um conjunto de módulos fotovoltaicos. A polaridade correta é fundamental para o funcionamento adequado do sistema em desempenho e em quesitos de segurança [6]. Além do ensaio de polaridade, durante a inspeção, é importante verificar se os cabos contêm identificação e seguem conectados aos dispositivos, como chave ou inversores. Por questões de segurança, os ensaios de polaridade devem ser realizados antes da energização do sistema. Caso seja identificada inversão de polaridade após a energização do sistema, os diodos de *by-pass* e módulos precisam ser analisados, para identificar se há possíveis danos [5].

2.1.3. Ensaio da caixa de junção

O ensaio da caixa de junção é uma forma de garantir que todas as séries fotovoltaicas interligadas a uma caixa de junção não foram conectadas de forma incorreta. O ensaio deve ser realizado antes da inserção dos fusíveis positivos. Com os fusíveis negativos inseridos e um barramento negativo comum, mede-se a tensão entre os terminais positivos das *strings*. Para *strings* corretamente conectadas, a tensão entre positivos deve ser próxima de zero. Caso uma das *strings* esteja com a polaridade invertida, a tensão medida será, aproximadamente, o dobro da tensão de uma *string*, evidenciando o erro de conexão [5].

2.1.4. Ensaio de tensão de circuito aberto (V_{oc})

Conforme descrito por [6], o ensaio de tensão de circuito aberto consiste na verificação da tensão de cada *string* ou módulo fotovoltaico. Este ensaio é fundamental para detectar níveis de tensão diferentes do esperado e pode ser realizado junto com os ensaios de polaridade. A aplicação do método consiste em utilizar equipamento de medição adequado, que realiza a medição em corrente contínua, conectando os polos positivo e negativo do equipamento aos polos positivo e negativo da *string*. Os valores medidos não podem ultrapassar os limites estabelecidos de 5%.

2.1.5. Ensaio de medição de corrente das séries fotovoltaicas

O ensaio operacional é o parâmetro utilizado para analisar a corrente das *strings* e verificar seu funcionamento sob condições reais de operação. O propósito deste ensaio é identificar se a corrente gerada está conforme o projetado e detectar possíveis falhas durante sua geração. Um alicate amperímetro, configurado para medir corrente contínua, pode ser utilizado para realizar o ensaio, os valores esperados devem estar dentro do limite de 5% estabelecido em norma, considerando condições de irradiância estáveis. Os valores encontrados não devem ser utilizados como medida de desempenho do módulo [5].

2.1.6. Ensaios funcionais

No que diz respeito aos ensaios funcionais, no item 6.6 da NBR 16274:2014, são abordados dois pontos que precisam ser ensaiados e analisados: os dispositivos de seccionamento e outros aparelhos de controle, que precisam estar devidamente montados e conectados. Por fim, os inversores devem seguir os procedimentos de ensaio descritos pelo fabricante [5].

2.1.7. Ensaios de resistência de isolamento dos circuitos CC

Ensaio de resistência de isolamento dos circuitos CC é o último ensaio a ser realizado e pode ser feito utilizando um megômetro. O teste é importante para avaliar a integridade do isolamento dos circuitos elétricos. O método consiste em analisar a corrente de fuga que flui através do isolamento aplicando uma tensão elétrica nos polos positivos e negativos da *string* entre o circuito e o aterramento. Os valores encontrados indicam a resistência de isolamento do circuito que pode ser utilizado para identificar falhas [3]. Os valores encontrados podem ser comparados com valores definidos na Tabela 1, que retrata os valores mínimos exigidos de resistência de isolamento para um sistema de acordo com um valor de tensão aplicado.

Tabela 1. Valores mínimos de resistência de isolamento. (Fonte: Adaptado de [5]).

Tensão do sistema ($V_{OC,STC} \times 1,25$)	Tensão de ensaio (V)	Resistência de isolamento mínima (Ω)
< 120 V	250 V	0,5 M Ω
120 - 500 V	500 V	1,0 M Ω
> 500 V	1000 V	1,0 M Ω

2.2. Procedimentos de inspeção

A inspeção é uma série de procedimentos a serem visualizados no sistema antes dos ensaios de comissionamento. O objetivo da inspeção é garantir que o sistema foi montado conforme as normas internacionais, que se refere a instalação elétrica em baixa tensão, e que trata sobre os requisitos para instalação de sistemas fotovoltaicos [1].

Grande parte das inconformidades são encontradas nessa etapa de inspeção visual. Deste modo, a equipe responsável por fazer a instalação, ou que realiza ajustes no projeto, deve acompanhar os procedimentos de inspeção. Isso ajuda a assegurar que possíveis inconformidades encontradas sejam reparadas durante o momento de inspeção [3].

Com base em [5], existe uma série de procedimentos de inspeção que devem ser aplicados antes da realização dos ensaios. Sendo eles, inspeção do lado CC do sistema fotovoltaico, inspeção nos itens de proteção contra sobretensão/choque elétrico, inspeção do lado CA do sistema fotovoltaico, inspeção de etiquetagem, inspeção de identificação e inspeção na instalação mecânica.

2.3. Normas aplicadas à Sistemas Fotovoltaicos

Durante as etapas de ensaios de comissionamento e inspeção, as seguintes normas foram utilizadas, visando garantir a segurança e os requisitos mínimos estabelecidos para um comissionamento de um sistema solar fotovoltaico diretamente conectado à rede.

- NBR 16274:2014: Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- NBR 16690:2019: Instalações elétricas de sistemas fotovoltaicos (FV) – Requisitos de projeto e instalação
- NBR 5410:2004 Instalações elétricas de baixa tensão;
- NBR 5419:2017: É a norma que estabelece critérios e procedimentos para a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.
- NR 10:2004: Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- NBR 15749:2009 Trata da medição da resistência de aterramento e potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.
- IEC 60364-6:2016 Trata da verificação inicial e periódica de instalações elétricas, com foco em segurança, continuidade elétrica e conformidade com normas técnicas;
- IEC 61557:2019 Abrange os requisitos para equipamentos de medição usados para verificar a eficácia de dispositivos de proteção e aterramento em sistemas elétricos;
- IEC 61010:2010 Define os requisitos de segurança aplicáveis a instrumentos de medição e controle utilizados nos ensaios e comissionamento elétrico.

3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

Para aplicação dos métodos descritos nas subseções acima, foi realizado o comissionamento de uma usina residencial localizada na cidade de Mossoró/RN. Foi adotado os procedimentos indicados no Ensaio de Categoria 1. O sistema de geração é composto por 24 módulos fotovoltaicos, modelo CanadianSolar CS6W-535MB-AG, com potência nominal de 535 Wp por módulo, totalizando uma potência instalada de 12,84 kWp. A divisão do circuito ficou configurada por 2 *strings* com quantidade de módulos fotovoltaicos diferentes devido às limitações do telhado, ficando disposta de 14 módulos em uma *string* e 10 módulos em outra. O inversor escolhido é um modelo Solplanet ASW25K-LT-G2 PRO, com uma potência máxima de entrada de 37,5 kWp. A Figura 3 demonstra um diagrama unifilar simplificado do local.

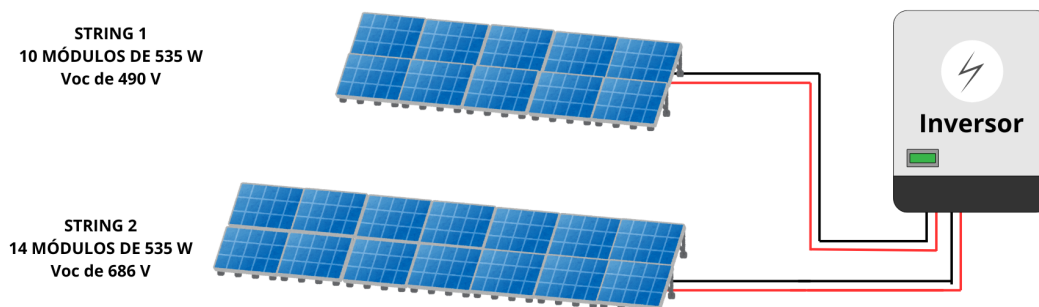


Figura 3. Diagrama unifilar simplificado. (Fonte: Autor).

3.1. Procedimentos de inspeção visual

Inicialmente, antes da realização dos Ensaios de Categoria 1, foi realizada a inspeção visual conforme os itens especificados na seção 5.2 da NBR 16274:2014. A verificação é realizada de acordo com a sequência estabelecida pela norma, dando início na inspeção do sistema CC, seguindo para inspeção nas proteções contra sobretensão/choque elétrico, inspeção do sistema CA, etiquetagem e identificação, e por fim, a instalação mecânica.

As Tabelas de 2 a 6, tratam os itens verificados. Quando os critérios forem atendidos de acordo com o especificado na norma, significando que está AP. Já para critérios fora dos estabelecidos, ficarão RP, e sugere-se a correção. Por fim, itens da instalação que não compõem aspectos da planta fotovoltaica serão classificados como NA.

Tabela 2. Inspeção do Sistema CC (Fonte: Adaptado de [11]).

DESCRIÇÃO DO ITEM	AP	RP	NA
Se os componentes estão apropriados para operarem sob máxima tensão e máxima corrente.	X		
Se foi adotado uma proteção de isolamento classe II ou equivalente.	X		
Se os cabos da série fotovoltaicas/arranjos e o cabo CC principal foram selecionados e montados para minimizar riscos como falta à terra e curto-circuito.	X		
Se os cabos foram selecionados e montados para resistir às influências externas.	X		
Em sistemas sem proteção contra sobrecorrente nas séries fotovoltaicas, o módulo deve suportar correntes reversas maiores que as possíveis.	X		
Se os dispositivos de proteção contra sobrecorrente das séries fotovoltaicas foram posicionados de maneira correta.	X		
Se os meios de desconexão foram instalados nas séries fotovoltaicas.	X		
Se há uma chave está instalada no lado CC do inversor.	X		
Um dos condutores CC está aterrado, há separação mínima entre os lados CA e CC, e as conexões de terra são protegidas contra corrosão.	X		

Seus plugues e soquetes são do mesmo fabricante.	X		
Se um aterramento funcional foi conectado a um dispositivo de interrupção.			X

Tabela 3. Proteção Contra Sobretensão/Choque Elétrico (Fonte: Adaptado de [2]).

DESCRIÇÃO DO ITEM	AP	RP	NA
Observar se o dispositivo supervisor de isolamento e um sistema de alarme estão instalados.	X		
Verificar se um dispositivo de detecção de corrente residual ou terra foi instalado juntamente com um sistema de alarme.	X		
Conferir se um dispositivo de detecção de corrente residual foi instalado no lado CA, alimentando o inversor.	X		
Checar se a área de todos os laços foi mantida sendo o menor possível.	X		
Observar se os condutores de aterramento do arranjo fotovoltaico foram corretamente instalados e ligados ao terra.	X		
Examinar se os condutores de aterramento de proteção da ligação de equipotencialização foram instalados e estão paralelos aos cabos CC.	X		

Tabela 4. Inspeção do Sistema CA. (Fonte: Adaptado de [11]).

DESCRIÇÃO DO ITEM	AP	RP	NA
Se há uma chave seccionadora no lado CA do inversor de frequência.	X		
Se os dispositivos de seccionamento e isolamento foram instalados adequadamente, a instalação fotovoltaica do lado da carga e a rede elétrica do lado da fonte.	X		
Se os parâmetros operacionais do inversor foram estabelecidos segundo as regulamentações locais ou NBR 16149.	X		

Tabela 5. Etiquetagem e Identificação. (Fonte: Adaptado de [11]).

DESCRIÇÃO DO ITEM	AP	RP	NA
Verificar se todos os circuitos, dispositivos, chaves e terminais estão etiquetados e identificados.		X	
Conferir se a caixa de junção CC possui etiqueta de aviso.			X
Inspecionar se etiquetas de aviso foram inseridas no local de interconexão com a rede.		X	
Checar se o diagrama unifilar está presente no local.		X	
Examinar se as configurações de proteção do inversor e informações do instalador estão sendo exibidas no local.		X	
Constatar se as identificações estão bem fixadas e são duráveis.		X	

Tabela 6. Instalação Mecânica. (Fonte: Adaptado de [11]).

DESCRIÇÃO DO ITEM	AP	RP	NA
Se existe ventilação por trás do arranjo fotovoltaico para evitar superaquecimento.	X		

Se a armação e os materiais do arranjo fotovoltaico são à prova de corrosão.	X		
Se a armação está bem fixada e as fixações no telhado são à prova de intempéries.	X		
Se as entradas dos cabos são à prova de intempéries.	X		

3.3. Procedimentos de ensaios

Após a realização dos procedimentos de inspeção visual, são realizados os ensaios. Para início dos Ensaios de Categoria 1, o primeiro ensaio a ser realizado foi o ensaio de equipotencialização, com o auxílio de um multímetro Minipa modelo ET-3200, os testes foram realizados entre os módulos fotovoltaicos e os trilhos de fixação. Conectado uma ponta de prova no trilho e outra no módulo fotovoltaico. Além disso, é necessário realizar o ensaio no inversor, conectado à ponta de prova negativa no aterramento do quadro de corrente alternada e a outra no inversor.

O ensaio seguinte a ser realizado foi o ensaio de tensão de circuito aberto (V_{oc}) das *strings*. O ensaio foi realizado duas vezes, totalizando a quantidade de *strings*, para a realização do ensaio foi utilizado um multímetro modelo ET-3200, o ensaio foi realizado conforme ilustrado na Figura 4. Este ensaio pode ser realizado em conjunto com o ensaio de polaridade. Para este caso, o sistema não conta com uma *string box* própria na parte CC e é composto por apenas duas *strings*. Portanto, a polaridade foi confirmada por meio da medição da tensão de circuito aberto.

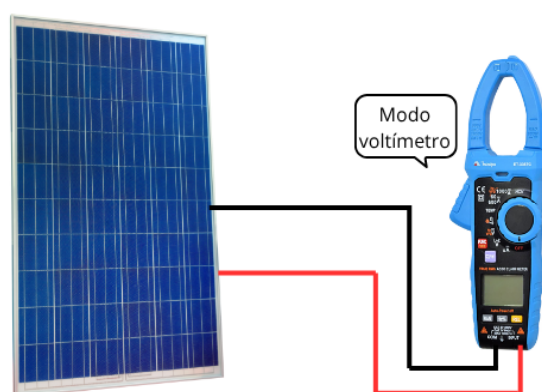


Figura 4. Ensaio de tensão de circuito aberto. (Fonte: Adaptado de [3]).

Após a realização do ensaio de medição de tensão, com o circuito já conectado aos rastreadores de ponto de máxima potência (MPPTs) do inversor, foi realizado o ensaio de corrente com o inversor ligado, conforme ilustrado na Figura 5. O ensaio foi realizado utilizando o alicate amperímetro configurado para medir corrente contínua, o multímetro utilizado durante o ensaio é um modelo ET-3367C. A medição foi realizada duas vezes, totalizando a quantidade de *strings*.

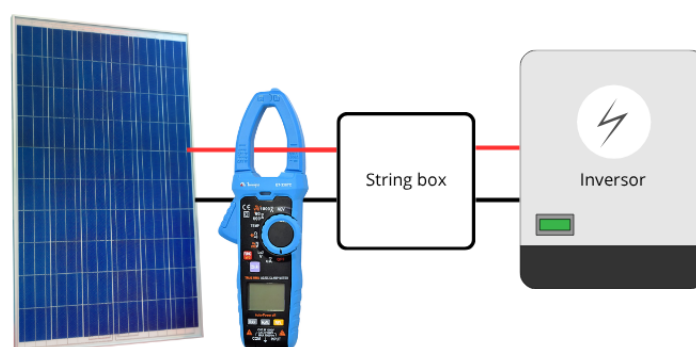


Figura 5. Ensaio de corrente operacional. (Fonte: Autor).

Por fim, foi realizado o ensaio de resistência de isolamento dos cabos do sistema fotovoltaico. A tensão de ensaio foi definida com base na Tabela 1, que estabelece que a tensão do sistema deve ser multiplicada por 1,25 para determinar a faixa de tensão. Para a *string* A, a tensão foi de 612,5 V, já para a *string* B, a tensão foi de 686

V. Como ambas apresentavam valores superiores a 500 V, foi aplicada uma tensão de 1000 V utilizando o megômetro. Essa tensão foi aplicada durante um minuto. Este ensaio foi repetido para os cabos que saem do inversor no lado de corrente alternada, só que para este caso, foi aplicada uma tensão de 500 V. A Figura 6 demonstra como é realizado o ensaio em um módulo fotovoltaico ou *string*.

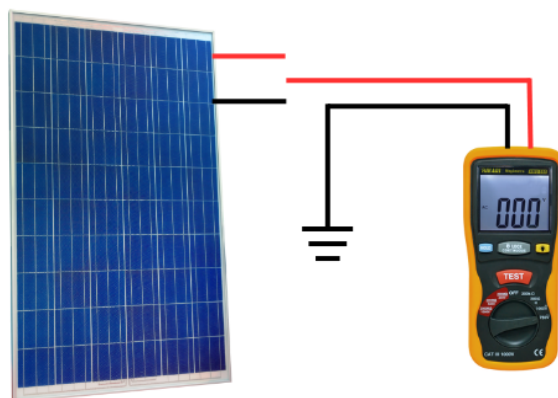


Figura 6. Resistência de isolamento. (Fonte: Adaptado de [8]).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A inspeção visual demonstrou aspectos importantes a respeito da estrutura de montagem do sistema fotovoltaico. Os itens verificados durante o processo de inspeção do sistema CC, proteção contra sobretensão/choque elétrico, inspeção do sistema CA e instalação mecânica estavam conforme as especificações na NBR 16274:2014.

Durante a inspeção visual, foi identificado a falta de etiquetas de identificação na planta fotovoltaica. A não conformidade com os requisitos de identificação compromete a segurança da operação e manutenção do sistema, podendo gerar riscos em situações de emergência ou falha. A Figura 7 demonstra a divisão da instalação juntamente com a ausência de identificação nos circuitos, etiquetas de avisos e diagrama unifilar do local.

Além disso, foi possível notar a separação do lado CC para o lado CA. Embora não exista uma *string box* própria para o lado CC, o inversor contava com os conjuntos de proteções na parte interna, recursos essenciais para garantir a proteção do equipamento.

A ausência de *string box* CC, não é uma violação do processo de instalação de sistemas fotovoltaicos, visto que a *string box* tem a função de concentrar os cabos e abrigar dispositivos de proteção como fusíveis, disjuntores e DPS (Dispositivos de Proteção contra Surtos). Segundo a NBR 16690:2019, na seção 6.3.5, em algumas UCP (Unidades de Condicionamento de Potência — como inversores) é possível utilizar apenas os DPS embutidos no inversor.



Figura 7. Divisão da instalação e ausência de Identificação. (Fonte: Autor).

Cabe ressaltar que durante a inspeção visual, foram identificados problemas de sombreamento parcial durante um intervalo de tempo considerado alto, levando em consideração o tempo de exposição do painel ao sol ao longo do dia. Este sombreamento é ocasionado por um poste que projeta uma sombra que atinge até 5 painéis fotovoltaicos. A Figura 8 apresenta o sombreamento nos painéis fotovoltaicos.

O sombreamento é um dos principais problemas enfrentados nos projetos residenciais de sistemas fotovoltaicos. Isso acontece porque em sistemas residenciais, o ambiente do telhado não foi projetado para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Além disso, outros fatores, como a limitação do telhado, árvores próximas, construções vizinhas, antenas e caixas d'água no telhado, podem influenciar na distribuição dos módulos fotovoltaicos.

Segundo [12], uma única célula de um módulo fotovoltaico sombreada pode reduzir o desempenho de uma *string* em até 30%. Além disso, um dos principais problemas do sombreamento parcial é que as células podem operar em regime reverso, funcionando como carga, em vez de atuarem como geradoras. Neste caso, quando a função reversa superar a função de ruptura da célula sombreada, toda a célula poderá ser prejudicada.



Figura 8. Sombreamento presente nos módulos fotovoltaicos. (Fonte: Autor).

Para melhor compreensão dos resultados obtidos durante o processo de inspeção visual, a Tabela 2 demonstra os aspectos fundamentais para a avaliação e conformidade técnicas e segurança do sistema.

Tabela 7. Visão geral da Inspeção Visual. (Fonte: Autor).

Aspecto Verificado	Observações	Conclusão
Fixação e Espaçamento dos Módulos	Os módulos estão bem posicionados e fixados nas estruturas do telhado, respeitando espaçamento adequado.	O bom espaçamento contribui para a ventilação e evita acúmulo de calor, fundamental para o desempenho e longevidade dos equipamentos.
Proteção Contra Sobretensão/Choque Elétrico	Os dispositivos de proteção estavam presentes no local, tanto no lado CC quanto no lado CA.	A proteção contra sobretensão e choque elétrico depende da correta instalação e supervisão dos dispositivos de segurança. Além disso, é essencial que os condutores de aterramento estejam devidamente instalados.
Instalação do Inversor	O inversor foi instalado em um local com boa ventilação e protegido contra condições climáticas extremas.	A instalação do inversor em local ventilado e protegido contra intempéries garante maior eficiência térmica e proteção contra falhas ambientais.
Fiação e Conexões	As conexões estão visivelmente bem realizadas, com cabos organizados e protegidos. Mas, nota-se a ausência de identificação.	A ausência de identificação nos circuitos CC e CA representa um risco à segurança operacional e dificulta intervenções futuras.
Sombreamento	Foi constatado que os módulos sofriam de sombreamento parcial nos períodos entre 06h00min e 10h25min indica um impacto direto na geração, especialmente em sistemas residenciais onde o espaço é limitado.	A ausência de medidas de mitigação, como uso de otimizadores ou rearranjo dos módulos, pode comprometer a eficiência do sistema em médio e longo prazo.

6.2. Resultados e discussões dos ensaios de comissionamento

Já na parte de comissionamento, sobre o ensaio de equipotencialização, foi constatado que toda a estrutura de fixação e módulos estavam equipotencializadas. Os testes também apontaram que as partes metálicas do inversor estavam aterradas. Conforme mencionado em [3], garantir que os testes sejam realizados em todas as mesas, módulos e partes metálicas são ações essenciais que garantem a integridade e eficiência da proteção elétrica da instalação. A Figura 9, demonstra a verificação sendo realizada nos módulos fotovoltaicos e no inversor.



Figura 9. Ensaio de equipotencialização nos módulos fotovoltaicos e inversor. (Fonte: Autor).

Dando continuidade à sequência de comissionamento, os valores medidos durante o ensaio de circuito aberto (V_{oc}) foram comparados com os valores de tensão do conjunto de módulos em série. Na *string* A com 10 módulos, a tensão é de 490 V, sendo medido um valor de 463 V; já a *string* B com 14 módulos possui uma tensão em série de 686 V, sendo encontrado um valor de 646 V. Ambas as *strings* apresentam valores fora da variação de 5% conforme a NBR 16274:2014. Sendo encontrado uma variação de 5,5% para a *string* A, e 5,8% para a *string* B. A Figura 10, demonstra os valores encontrados durante a realização do ensaio.

Conforme especificado [5], o objetivo do ensaio de circuito aberto (V_{oc}), é verificar se as séries de módulos fotovoltaicos estão corretamente conectados e, se o número de módulos fotovoltaicos está dentro do esperado. Como foi identificada uma tensão significativamente menor, essa leitura pode estar associada a mau isolamento, com subsequentes danos ou acúmulo de água em eletrodutos ou nas caixas de junção.

Para resolver o problema de tensão abaixo do nível esperado, seria necessário verificar as conexões dos módulos fotovoltaicos, para identificar possível conexão mau isolada. Visto que, o ensaio de resistência de isolamento do arranjo fotovoltaico não identificou nenhum problema de isolamento.

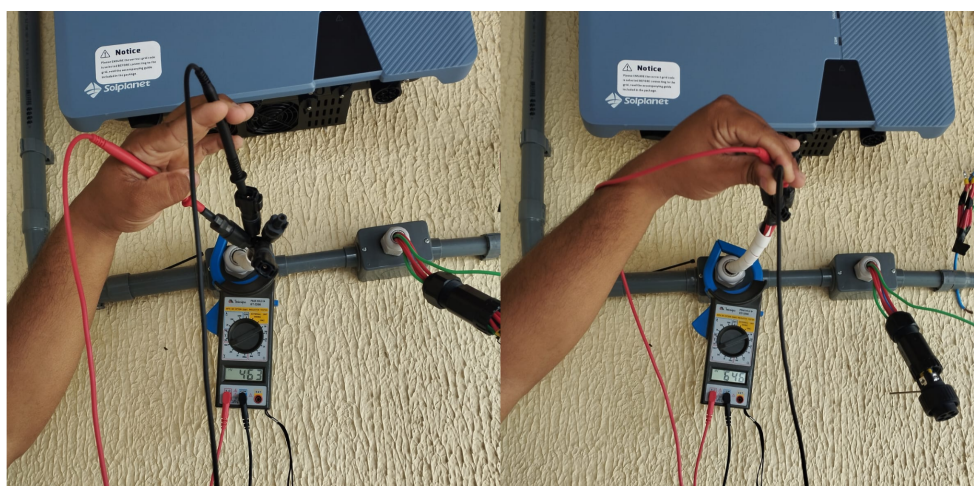


Figura 10. Ensaio de tensão de circuito aberto. (Fonte: Autor).

Para o ensaio de corrente, os valores medidos durante o período em que não havia sombreamento foram considerados aceitáveis para os níveis irradiância incidente sobre o módulo. Já nos períodos do dia em que havia sombreamento, os valores medidos foram considerados baixos, pois, em um arranjo em série, o módulo com menor corrente limita os demais.

A hipótese de que o sombreamento pode afetar diretamente uma *string*, conforme mencionado em [12], é confirmada pela comparação dos valores medidos sem sombreamento (8,9 A e 11 A) e com sombreamento (1,8 A e 4,11 A – Figura 11), visto que valores baixos de corrente durante determinados períodos do dia podem estar relacionados ao sombreamento.



Figura 11. Ensaio de corrente durante períodos de sombreamento. (Fonte: Autor).

Por fim, o ensaio de resistência de isolamento do arranjo fotovoltaico e a resistência de isolamento do lado de corrente alternada apresentaram valores acima de 1 TΩ, valores que se enquadram nos limites aceitáveis, conforme é descrito na NBR 16274. Pois, conforme mencionado em [1], caso fossem encontrados valores abaixo dos limites mínimos aceitáveis, significa que o cabo está com a isolação danificada e deve ser inspecionado.

A Tabela 8, traz comentários relacionados aos valores encontrados durante os ensaios realizados, abordando pontos de melhorias e irregularidades encontradas.

Tabela 8. Visão geral dos ensaios de comissionamento. (Fonte: Autor).

Aspecto Verificado	Conclusão dos Resultados
Equipotencialização e Aterramento	Os testes confirmam a correta equipotencialização das estruturas metálicas, o que contribui para a integridade elétrica do sistema.
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	Os valores medidos nas <i>strings</i> (463 V e 646 V) apresentam variações inferiores a 5% em relação ao projetado (490 V e 686 V), demonstrando conformidade com o dimensionamento elétrico dos módulos e ausência de erros críticos de conexão. É necessário que seja realizada uma análise detalhada das conexões.
Polaridade das <i>Strings</i>	Durante o ensaio de tensão de circuito aberto (Voc), foi possível notar o valor positivo da tensão, demonstrando que não havia inversão de polaridade.
Corrente das <i>Strings</i>	A corrente medida variou significativamente entre períodos com e sem sombreamento. A menor corrente (1,83 A e 4,11 A) durante o sombreamento reforça a influência direta da sombra sobre o desempenho das <i>strings</i> . Os valores máximos alcançados (8,9 A e 11 A) demonstram que, em condições ideais, o sistema opera dentro do esperado.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objetivo verificar aspectos de segurança de um sistema fotovoltaico, através da metodologia presente na NBR 16274:2014. Para isso, foram adotados os ensaios presentes na seção 6, que trata da utilização de métodos de verificação de equipotencialização, polaridade, caixa de junção, tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente das *strings* em operação, ensaios funcionais e resistência de isolamento de um sistema fotovoltaico de pequeno porte, localizado na cidade de Mossoró/RN.

A partir dos ensaios realizados, foi possível concluir que o sistema possui alguns pontos críticos sujeitos a melhorias. Durante a inspeção visual, foi confirmada a ausência de etiquetas de identificação no lado CC e CA, assim como a identificação das *strings*. Para melhoria, seria necessário que fossem adicionadas as etiquetas de

identificação aos circuitos, dispositivos de proteção, chaves e terminais.

Ficou constatado que o sistema sofre de sombreamento parcial. O sombreamento é o principal problema encontrado em instalações residenciais. A presença de sombreamento recorrente limita severamente a produção de energia energética das *strings* afetadas, podendo levar à degradação de células e diminuição da vida útil dos módulos fotovoltaicos. Estratégias como realocação de módulos ou uso de microinversores poderiam mitigar esse problema.

A tensão medida nas *strings* apresentou abaixo dos aceitáveis, estando fora dos limites de variação de 5% que devem ser medidos. É necessário que seja feita uma análise nas conexões dos cabos dos arranjos fotovoltaicos para identificar possíveis conexões incorretas.

O ensaio operacional evidenciou uma queda nos valores de corrente em determinados horários do dia. Os valores encontrados fora dos limites estabelecidos são ocasionados por sombreamento parcial nos módulos. O comportamento das *strings* ao longo do dia indica que um sistema pode ter desempenho consideravelmente oscilante. Isso abre margem para explorar soluções como monitoramento inteligente ou otimização de layout.

Os resultados revelam claramente o impacto das condições ambientais, reforçando a necessidade de considerar fatores como orientação, obstruções e microclimas em projetos fotovoltaicos. O ensaio de tensão de circuito aberto e corrente operacional, demonstraram ser eficazes em identificar falhas não perceptíveis visualmente. Sem esses ensaios, deficiências na instalação poderiam comprometer a segurança ou eficiência a longo prazo. A metodologia aplicada mostra que a simples etapa visual pode ser insuficiente, sendo os ensaios um complemento importante, principalmente em instalações que não seguem padrões industriais.

Apesar dos problemas encontrados, como sombreamento, falta de etiquetas de identificação, tensão de circuito aberto e corrente operacional estarem fora dos padrões estabelecidos pela NBR 16274:2014, a norma não proíbe que a planta fotovoltaica entre em operação, servindo apenas como medida preventiva para que objetivos como segurança, desempenho e eficiência sejam atendidos, visto que a não conformidade pode prejudicar a vida útil da planta a médio ou longo prazo.

Por fim, o trabalho demonstra que, mesmo em instalações residenciais, a norma técnica é viável e importante de ser utilizada. Isso reforça a necessidade de sua adoção sistemática, combatendo o costume de ignorar comissionamentos em sistemas menores. A aplicação prática em ambiente real e a análise detalhada dos ensaios evidenciam a lacuna entre a normatização e a prática no mercado residencial. O estudo pode servir como referência para instaladores, engenheiros e até órgãos reguladores.

8. REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, R. M. D. Sistema de Gestão de Comissionamento de Instalações Fotovoltaicas: levantamento de requisitos e caracterização de ensaio, Brasília - DF, 18 Maio 2021.
- [2] NEVES, D. F. Comissionamento de sistemas fotovoltaicos diretamente conectados à rede, São Carlos - SP, 22 Novembro 2019.
- [3] TEIXEIRA, W. M. Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW, Uberlândia - MG, 06 Fevereiro 2023.
- [4] DAVID, W. S. Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas: procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e Lagoa da Prata-MG, Uberlândia - MG, 17 Maio 2023.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274:2014 – comissionamento de instalações elétricas: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [6] DUMA, V. Comissionamento de sistema fotovoltaico de 4,7 MWp, Florianópolis - SC, 14 Março 2025. 138 p
- [7] OLIVEIRA, A. D. Abordagem de aspectos normativos da ABNT NBR 16274: 2014 para contribuição na melhoria de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica durante as etapas de projeto e execução. Fortaleza, 2018.
- [8] CANAL SOLAR. Ensaio de resistência de isolamento em sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/ensaio-de-resistencia-de-isolamento-em-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [10] NASCIMENTO, D. A.; LOSCHI, H. J.; IANO, Y.; CARVALHO, S. R. M. de. Instalações de sistemas de geração solar fotovoltaica: um estudo sobre sistemas de aterramento, proteção contra surto e descargas atmosféricas. Campinas: UNICAMP, 2016.
- [11] RODRIGUES, T, B. COMISSIONAMENTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS, Varginha - MG, 5 Dezembro 2017.
- [12] ZOMER, C, D. Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações, Florianópolis, 2014.