

ANÁLISE DA NORMATIZAÇÃO INTERNACIONAL DO ATERRAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Pablo Preston Q. L. Batista¹, Herick Talles Queiroz Lemos²

Resumo: Apesar da tecnologia solar fotovoltaica apresentar grande ascensão mundial, as normatizações acerca do tema não têm acompanhado de forma efetiva esse desenvolvimento no Brasil, principalmente no que se diz respeito ao aterramento desses sistemas. Diante disso, buscou-se detalhar as orientações presentes no *National Electrical Code*, principal documento adotado nos Estados Unidos e em diversos países, que trata de padronizações e normatizações acerca de assuntos relacionados à eletricidade em geral, inclusive os sistemas fotovoltaicos e seu aterramento. A aplicabilidade dessas normas foi analisada em uma Usina Solar Fotovoltaica no Brasil, onde se observou a concordância com uma instalação de localidade distinta de sua origem e sem suas próprias normatizações.

Palavras-chave: Energia Solar, Usina Fotovoltaica, Aterramento, Normatização.

1. INTRODUÇÃO

Uma das tecnologias que tem ganhado cada vez mais espaço no cenário energético mundial é a solar fotovoltaica, que proporciona a geração de energia elétrica a partir da incidência de irradiação solar em painéis fotovoltaicos. Segundo dados de [1] no período de 2004 a 2014, a capacidade instalada mundial dessa fonte teve um crescimento médio de 49% por ano. O país que mais tem se destacado nos investimentos nessa tecnologia é a China, que adicionou nesse período 11 GW à sua matriz, sendo esse valor maior que o total instalado em todo o continente europeu no mesmo período.

No caso do Brasil, entre os anos de 2015 e 2016, a energia solar foi a segunda fonte alternativa de energia que mais cresceu (44,7% entre esses dois anos), ficando atrás apenas da energia eólica (crescimento de 54,9% no mesmo período) [2].

A tecnologia solar fotovoltaica, entretanto, não é imune a defeitos presentes nos sistemas elétricos, como correntes de fuga, danificação de conexões e instalações elétricas, e dispositivos de proteção inadequados [3]. Parte dos problemas e riscos apresentados por esses sistemas podem ser minimizados através de um correto aterramento do sistema. Apesar disso, no Brasil ainda não há nenhuma regulamentação sobre o tema, fato que dificulta a padronização dos procedimentos de instalação e manutenção desses sistemas.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são compostos basicamente por dois equipamentos principais: módulos fotovoltaicos e inversores, além dos dispositivos de proteção. Nos sistemas isolados, há ainda a presença de dispositivos como os acumuladores e os controladores de carga. Alguns destes equipamentos podem apresentar partes metálicas (por exemplo, os módulos fotovoltaicos são comumente encontrados com molduras de alumínio que facilitam seu arranjo e fixação nas estruturas de suporte) que, devido à energização dos equipamentos, apresentam risco de choque elétrico às pessoas que eventualmente possam vir a entrar em contato com o sistema. Além disso, os equipamentos que compõem os sistemas fotovoltaicos são caros, logo sua danificação gera não só prejuízo ao funcionamento do sistema, mas também despesas significativas.

Uma forma de evitar esses e outros problemas é através da instalação correta do sistema de aterramento, sendo este, portanto, um fator fundamental para a segurança dos equipamentos e das pessoas.

Devido à falta de regulamentação no âmbito nacional, é comum que os profissionais da área recorram às normas internacionais, como o NEC (*National Electrical Code*) dos Estados Unidos, que também é utilizado em diversos outros países para nortear os procedimentos a serem realizados nesses sistemas.

Diante do exposto, este estudo tem como finalidade analisar as principais orientações presentes nas normas internacionais, com enfoque no NEC, sobre a instalação do aterramento de sistemas fotovoltaicos e sua aplicação em um estudo de análise de conformidade da instalação do aterramento da usina fotovoltaica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) com os padrões estabelecidos nessas normas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentadas as normatizações vigentes no Brasil acerca das instalações de sistemas fotovoltaicos, assim como a principal normatização internacional referente ao assunto, o NEC.

¹ Discente do curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA).

² Orientador e docente do curso de Engenharia Elétrica, Graduado em Engenharia de Energia pela UFERSA.

2.1. Normatização nacional

Apesar da energia solar fotovoltaica ser um dos principais destaques entre as fontes alternativas de energia que entraram em ascensão recentemente no Brasil, sua regulamentação, por parte dos órgãos nacionais, não tem se desenvolvido tão paralelamente. Inevitavelmente, isso tem implicações diretas nos processos que envolvem a implantação dos sistemas fotovoltaicos, como instalações incorretas ou indevidas que podem apresentar riscos e prejuízos aos sistemas e às pessoas.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o principal órgão brasileiro no que se refere a normatizações e padronizações. São dela as principais normas em vigência no Brasil sobre os sistemas fotovoltaicos, sendo elas:

- **ABNT NBR 10899:2013 (Energia solar fotovoltaica - Terminologia)**
Apresenta definições básicas, como os componentes mais comuns dos sistemas fotovoltaicos e definições mais técnicas, como os parâmetros envolvidos no dimensionamento de um sistema;
- **ABNT NBR 11704:2008 (Sistemas fotovoltaicos – Classificação)**
Classifica os sistemas fotovoltaicos quanto à sua interligação com a rede de distribuição de energia elétrica e quanto à sua configuração (sistemas puros ou híbridos);
- **ABNT NBR 16149:2013 (Sistemas fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição)**
Estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos;
- **ABNT NBR 16150:2013 (Sistemas fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade)**
Especifica os procedimentos de ensaio de conformidade para os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição com relação aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 16149;
- **ABNT NBR 16274:2014 (Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho)**
Estabelece as informações e a documentação mínimas que devem ser compiladas após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Também descreve a documentação, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção necessários para avaliar a segurança da instalação e a correta operação do sistema;
- **ABNT NBR IEC 62116:2012 (Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica)**
Fornece um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas anti-ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Dentre estas, apenas a ABNT NBR 16274:2014 faz menção ao aterramento dos sistemas fotovoltaicos, no entanto ainda é limitada aos procedimentos de verificação que devem ser executados após a instalação do sistema como ensaios de continuidade dos condutores de aterramento e de ligações equipotenciais. Devido a isto, os profissionais que buscam orientações sobre a correta instalação do aterramento nesses sistemas, encontram esse déficit nas normas nacionais, tendo que recorrer às normas utilizadas em outros países durante a fase de instalação, sendo o NEC o documento mais utilizado.

2.2. National Electrical Code (NEC)

Publicado pela *National Fire Protection Association* (NFPA), o NEC consiste em um conjunto de instruções e padronizações de diversos tipos de projetos elétricos. Seu conteúdo inclui assuntos tais como os aterramentos e cabeamentos de sistemas elétricos, incluindo sistemas fotovoltaicos. Esse documento é atualizado a cada três anos, e sua versão mais recente foi publicada em 2017, sendo o documento mais utilizado como referência pelos profissionais que enfrentam as dificuldades supracitadas, não só no Brasil, mas em diversos países do mundo como México, Colômbia e Costa Rica.

O artigo 250 do NEC contempla grande parte dos requisitos de aterramento e suas conexões para qualquer sistema elétrico. No entanto, o artigo 690 trata especificamente de detalhes do aterramento de sistemas fotovoltaicos, complementando pontualmente o artigo 250 neste assunto.

2.2. Definições

Esta seção trata de algumas conceituações que são importantes para facilitar o entendimento de alguns requisitos do NEC.

2.2.1 Falta à terra

A falta à terra se dá quando ocorre um curto-circuito acidentalmente entre um ou mais condutores carregados e a terra.

2.2.2 Dispositivos de proteção de falta à terra

Dispositivo capaz de detectar e impedir a circulação de correntes de falta excedentes. Nos sistemas fotovoltaicos, geralmente se utiliza um dispositivo de proteção contra sobrecorrente no condutor de corrente contínua (CC) aterrado ou um sensor de corrente que compara os níveis de corrente entre os condutores CC [3].

2.2.3 Dispositivos de proteção contra sobrecorrente

Dispositivos que devem detectar quando o valor da corrente circulando em um circuito ultrapassar seu limite especificado e atuar seccionando aquele circuito. Os dispositivos mais comuns são os fusíveis e disjuntores.

2.2.4 Solidamente aterrado

Tipo de aterramento no qual a conexão à terra é feita sem o uso de nenhum resistor ou dispositivo de impedância.

2.2.5 Jumper de conexão do sistema

Em sistemas com aterramento funcional, o *jumper* de conexão do sistema realiza a conexão entre o sistema de aterramento dos equipamentos e o condutor aterrado do sistema.

2.2.6 Eletrodo de aterramento

Condutor ou conjunto de condutores interligados, metálicos, que estão em contato direto com a terra [3].

2.3. Tipos de aterramento

Há dois tipos de aterramento que são mais frequentemente utilizados nos sistemas elétricos atualmente: aterramento dos equipamentos ou de segurança, e aterramento do sistema ou funcional [3]. No aterramento dos equipamentos, todas as partes metálicas expostas do sistema elétrico que não são energizadas são conectadas entre si e à terra. Havendo a conexão correta entre as partes metálicas expostas e a terra durante as condições de falta, a diferença de potencial entre essas partes e a terra deve ser reduzida a aproximadamente zero, o que reduz significativamente os riscos de choque elétrico. Algumas dessas partes podem ser as estruturas de fixação dos módulos, estruturas de suporte para o cabeamento (conduítes), inversores e controladores de carga, por exemplo. Um esquema de aterramento dos equipamentos em um sistema CC está representado na Figura 1.

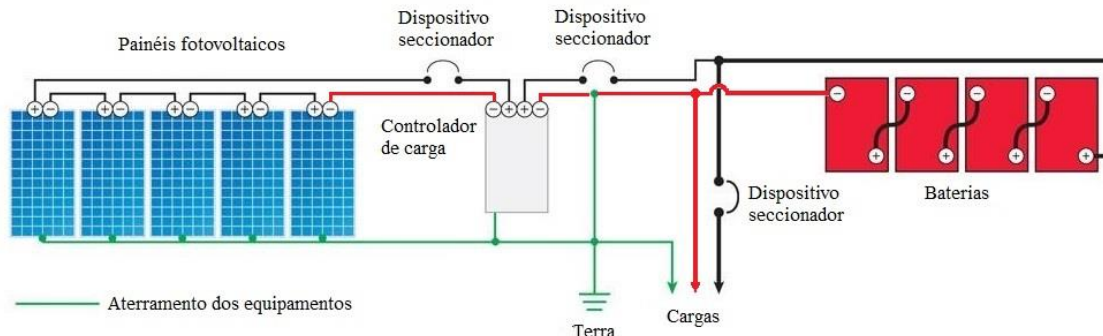


Figura 1. Aterramento dos Equipamentos em um sistema CC [4].

A Figura 2 representa um esquema de aterramento dos equipamentos em um sistema com correntes contínuas e alternadas, onde o condutor de aterramento dos equipamentos do lado CC é conectado ao aterramento do lado de corrente alternada (CA).

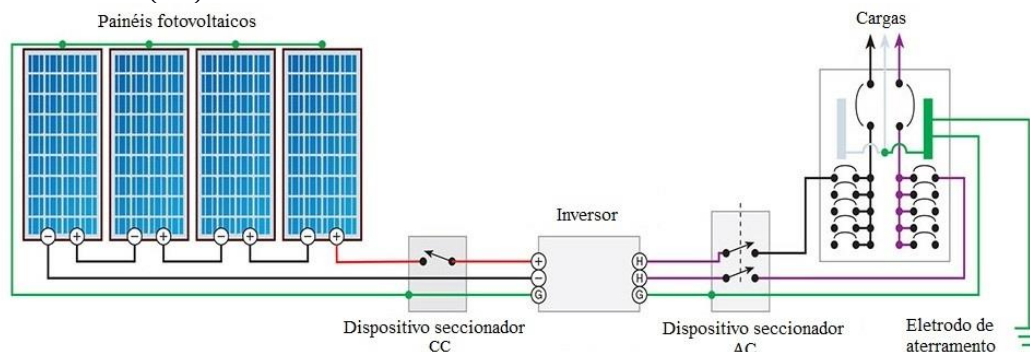


Figura 2. Aterramento dos equipamentos em um sistema misto [4].

No aterramento funcional, um dos condutores do circuito deve ser conectado à terra e ao sistema de aterramento dos equipamentos, sendo este, chamado de condutor aterrado. A conexão entre o condutor aterrado e o sistema de aterramento dos equipamentos deve ser feita através do *jumper* de conexão do sistema, não sendo permitida a utilização de mais de um deste em cada sistema elétrico. Essa conexão é o que faz com que as correntes de falta um retornem para as suas fontes, ocasionalmente gerando o acionamento de dispositivos de proteção contra essas falhas. O esquema de aterramento funcional está representado na Figura 3.

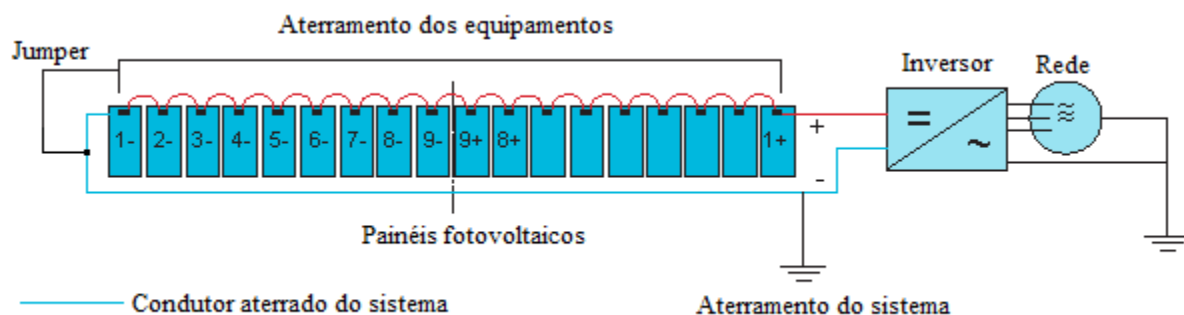


Figura 3. Esquema de aterramento funcional ou do sistema [5].

2.4. Aterramento do Sistema

Antes da edição de 2005, o NEC determinava que todos os sistemas fotovoltaicos com tensão máxima acima de 50 volts deveriam possuir um sistema de aterramento funcional, no entanto, na edição de 2011, foi adicionada a seção 690.35, que proporcionava a não obrigatoriedade do aterramento aos sistemas que atendessem aos seguintes critérios [6]:

- Dispositivos de desconexão em todos os condutores dos circuitos do sistema fotovoltaico;
- Proteção contra sobrecorrente em todos os condutores dos circuitos do sistema fotovoltaico;
- Sistema de proteção de falta à terra em todos os condutores dos circuitos do sistema fotovoltaico;
- Os condutores dos circuitos dos sistemas fotovoltaicos devem ter isolamento não metálica, devem ser instalados em condutos, e estarem listados e identificados como condutores fotovoltaicos;
- Os circuitos CC do sistema fotovoltaico devem ser passíveis de utilização com sistemas não aterrados de baterias;
- Devem haver identificações ao longo do sistema fotovoltaico que indiquem que o sistema não é aterrado e que seus condutores podem estar energizados;
- Os inversores e controladores de carga utilizados nos sistemas não aterrados devem ser apropriados para este tipo de uso.

A maioria dos inversores utilizados atualmente possuem transformadores internos com isolamento galvânica, e um dos motivos da difusão dessa tecnologia é a segurança e preservação da rede elétrica, pois essa isolamento evita a injeção de corrente contínua na rede e a circulação de corrente de fuga [7]. No entanto, o transformador apresenta grandes perdas, além de aumentar significativamente o peso e volume dos inversores [8]. O circuito equivalente de um inversor com transformador está representado na Figura 4, na qual o SPMP se trata de um Seguidor de Ponto de Máxima Potência e a isolamento galvânica está representada no transformador.

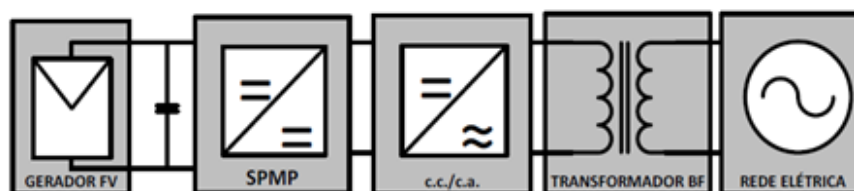


Figura 4. Inversor com transformador com isolamento galvânica. [8]

Com a mudança que retirou a obrigatoriedade do aterramento do sistema, passou a ser permitido o uso de inversores sem transformadores e, conseqüentemente sem isolamento galvânica entre os circuitos de entrada e saída, o que ocasiona um barateamento do equipamento e aumento em sua eficiência devido à eliminação das perdas no transformador. A Figura 5 representa um esquema do circuito equivalente de um inversor sem transformador.

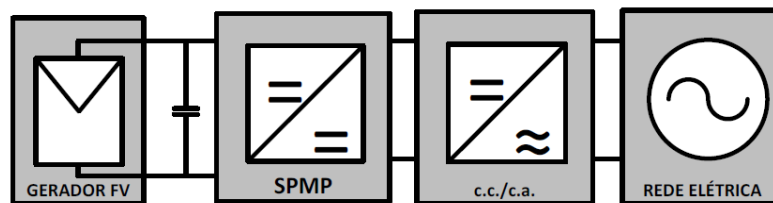


Figura 5. Inversor sem transformador. [8]

Em alguns países, como Itália e Reino Unido, não é permitida a instalação de inversores sem isolamento [9] devido aos problemas já expostos, logo essa configuração não é universal, cabendo aos instaladores seguirem às normas vigentes em suas localidades. No Brasil, a instalação é permitida através NBR 16149, que, todavia, estabelece um limite de injeção de corrente contínua na rede elétrica de 0,5% da corrente nominal do inversor.

Na versão de 2017, a seção 690.35 foi removida, no entanto os principais critérios para a instalação de sistemas fotovoltaicos não aterrados previstos na NEC 2011 ainda estão presentes, porém difundidos em outras seções. A seção 690.13 prevê o uso de dispositivos de desconexão em todos os condutores dos circuitos dos sistemas fotovoltaicos. A seção que trata da proteção contra sobrecorrente (690.9) agora determina a utilização desses equipamentos tanto nos circuitos CC do sistema fotovoltaico quanto nos condutores de saída dos inversores. A proteção contra falta à terra (seção 690.41 B) deve ser empregada em todos os sistemas fotovoltaicos, com meios para detecção de falta e isolamento dos circuitos.

A seção 690.41 define as opções de configuração dos aterramentos permitidas, dentre as quais, pelo menos uma deve ser empregada. São elas:

- Sistemas fotovoltaicos de dois cabos, sendo um deles aterrado (Aterramento do sistema ou funcional);
- Sistemas fotovoltaicos bipolares com uma referência na terra (Figura 6);

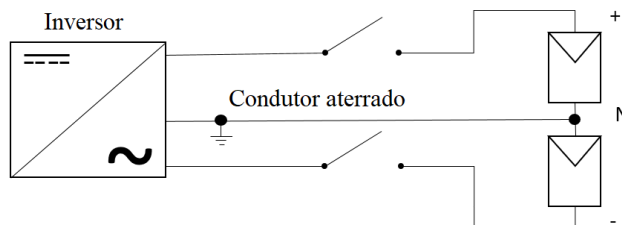


Figura 6. Sistema fotovoltaico bipolar com uma referência central à terra. (Autoria própria, 2019)

- Sistemas fotovoltaicos sem isolamento do circuito aterrado de saída (CA) do inversor (Figura 7);

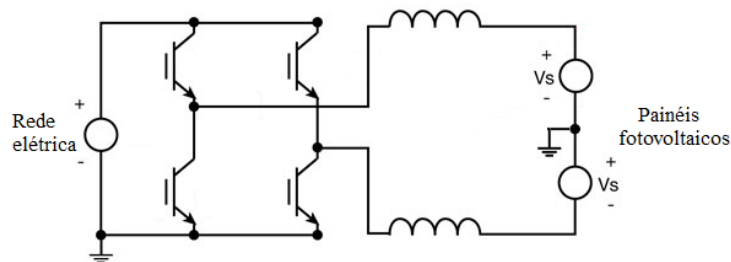


Figura 7. Sistema fotovoltaico sem isolamento da saída aterrada do inversor [10].

- Sistemas fotovoltaicos não aterrados;
- Sistemas fotovoltaicos solidamente aterrados, desde que haja dispositivos de proteção de falta à terra;
- Sistemas fotovoltaicos que utilizam outros métodos de proteção que estão de acordo os estabelecidos na norma, com equipamentos apropriados e certificados para o uso.

A inserção dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente em todo o sistema fotovoltaico fez com que os sistemas solidamente aterrados se tornassem inutilizados, pois a inserção dispositivos de impedância nos sistemas com o intuito de limitar correntes vai contra a definição de um sistema solidamente aterrado, com isso, basicamente se tem duas configurações principais de aterramento nos sistemas fotovoltaicos atuais: funcionalmente aterrados ou desaterrados. Com a padronização do sistema de proteção contra sobrecorrente, dentre outras coisas, o projeto e a inspeção dos sistemas fotovoltaicos serão simplificados. Já a utilização de dispositivos de desconexão nos condutores do sistema tende a facilitar os serviços de manutenção nesses sistemas [10].

Apesar de permitir a instalação de sistemas fotovoltaicos desaterrados, a seção 690.43 ainda determina que todos os sistemas fotovoltaicos que contenham partes metálicas expostas não carregadas que possam vir a ser

energizadas, como os suportes dos painéis, equipamentos elétricos e até determinadas proteções dos condutores, devem ter um sistema de aterramento dos equipamentos independentemente de suas tensões.

2.5 Sistemas de eletrodo de aterramento

Um dos tópicos sobre sistemas fotovoltaicos que mais sofreu alteração da versão de 2011 para a de 2017 do NEC foi a seção 690.47, que trata dos sistemas de eletrodo de aterramento. Antes, tratava-se do assunto abordando os sistemas com apenas corrente alternada, apenas corrente contínua e os sistemas com correntes diretas e alternadas. Nos dois primeiros casos, determinava-se a instalação de eletrodo de aterramento em sistemas unicamente CA ou CC. Para os sistemas fotovoltaicos com circuitos CC e CA, nos casos em que o condutor aterrado do lado CC não fosse conectado ao condutor aterrado do lado CA, determinava-se a instalação de um sistema de aterramento no lado CC. Esse sistema deve ser conectado ao sistema de aterramento do lado CA por um dos seguintes métodos:

- (1) Instalação de um eletrodo de aterramento no lado CC conectado diretamente ao eletrodo de aterramento do lado CA (Figura 8);

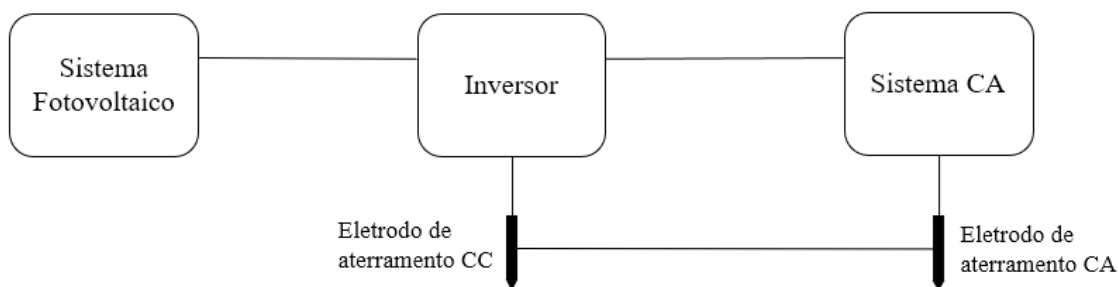


Figura 8. Método 1 de instalação de eletrodos. (Autoria Própria, 2019)

- (2) Eletrodo de aterramento comum aos lados CA e CC, no qual deve haver a conexão de um condutor de aterramento do lado CC, através do inversor, ao eletrodo de aterramento do lado CA. Quando o eletrodo de aterramento do lado CA não for acessível, pode-se conectar o condutor de aterramento CC ao condutor do eletrodo de aterramento do lado CA (Figura 9);

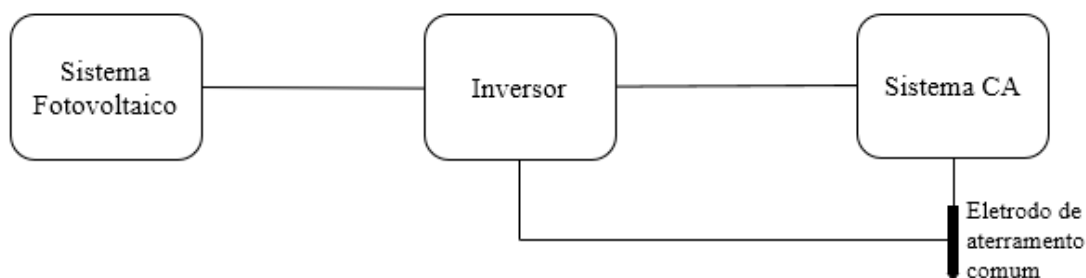


Figura 9. Método 2 de instalação de eletrodos. (Autoria Própria, 2019)

- (3) Eletrodo de aterramento comum aos lados CA e CC, no qual o condutor do eletrodo de aterramento do lado CC deve ser combinado ao condutor do eletrodo de aterramento dos equipamentos do lado CA, via inversor, e conectado ao eletrodo de aterramento do lado CA (Figura 10).

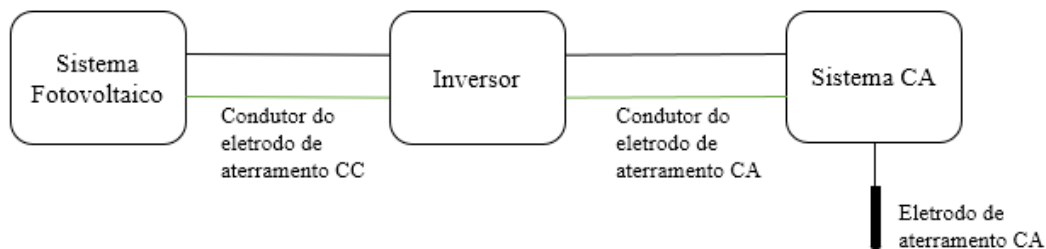


Figura 10. Método 3 de instalação de eletrodos. (Autoria Própria, 2019)

No entanto, esse conjunto de definições de tipos de sistemas era confuso, e seguindo a filosofia de mudanças para flexibilização da instalação de sistemas de aterramento, a seção foi reformulada, tornando-se mais simples e objetiva. Agora, determina-se que as construções ou estruturas de suporte dos sistemas fotovoltaicos devem ter um eletrodo de aterramento instalado e o sistema de aterramento dos equipamentos do sistema fotovoltaico deve ser conectado a esse eletrodo. Ainda é permitida a instalação de eletrodos auxiliares para o aterramento do sistema, podendo estes serem conectados diretamente à estrutura do sistema. Além disso, nos sistemas montados no chão, a

própria estrutura de suporte do sistema pode ser considerada um eletrodo de aterramento, a depender do seu modo de instalação.

Diante do exposto, foi realizado um estudo de caso com a Usina Solar Fotovoltaica da UFERSA, onde foram analisados os tipos de aterramento utilizados na instalação a fim de se verificar sua conformidade com as configurações de aterramento previamente expostas.

3. METODOLOGIA

A Usina Solar Fotovoltaica da UFERSA está instalada no campus central da universidade, localizado no município de Mossoró. O sistema fotovoltaico analisado é composto por 580 módulos com potência de 260W cada, resultando em uma potência instalada total de 150,8kWp. São utilizados 10 inversores de 15kW cada. Os 580 módulos foram distribuídos igualmente entre 5 arranjos, com cada um, portanto, contendo 116 módulos. O esquema geral de montagem está representado na Figura 12.

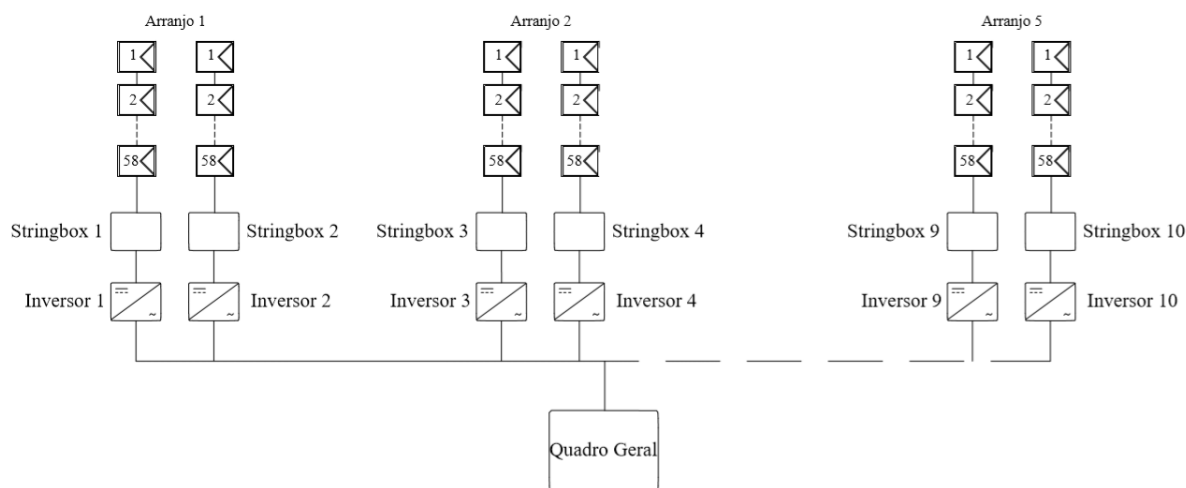


Figura 12. Esquema geral da instalação. (Autoria Própria, 2019)

3.1 Aterramento do lado CC

Inicialmente, foram analisados os módulos individualmente, e pôde ser verificado que, em sua estrutura, haviam partes metálicas que poderiam vir a ser energizadas. As estruturas dos módulos adjacentes são conectadas eletricamente através de uma peça metálica do mesmo material de sua estrutura, como se pode observar na Figura 13.



Figura 13. Conexão metálica entre as estruturas dos módulos. (Autoria Própria, 2019)

Na parte inferior dos módulos, observou-se a presença de um aterramento de segurança, sendo este realizado através de uma conexão da estrutura do módulo com um condutor de aterramento de cor verde (Figura 14). Entretanto, foi constatado que nem todos os módulos contam com um aterramento de segurança individual, sendo os condutores de aterramento conectados a um entre cada três módulos em sequência. Mas graças à presença da conexão metálica entre as estruturas dos módulos há o devido aterramento das estruturas de todos os painéis.



Figura 14. Conexão da estrutura do módulo com o condutor de aterramento. (Autoria Própria, 2019)

Em seguida, foi feita uma inspeção na área em torno dos painéis a fim de se localizar a presença dos eletrodos de aterramento. A partir disso, foi constatada a presença de um eletrodo de aterramento para cada um dos cinco arranjos. A caixa de aterramento do eletrodo também funciona como caixa de passagem (Figura 15), ficando perceptível que não havia aterramento de nenhum dos condutores (positivo ou negativo) do circuito CC do sistema fotovoltaico, descartando assim a possibilidade de aterramento funcional, ou do sistema.



Figura 15. Caixa de aterramento e passagem. (Autoria Própria, 2019)

3.1 Aterramento do lado CA

Na instalação há a presença de uma cabine de abrigo para os inversores, dispositivos de proteção e o quadro geral. Nota-se que os circuitos de entrada dos inversores consistem apenas nos condutores positivo e negativo do circuito CC do sistema fotovoltaico, entretanto nos circuitos de saída, além dos três condutores de fase (vermelhos) e um neutro (azul), há a presença de um condutor de aterramento, identificado pela cor verde. Os circuitos de entrada e saída dos inversores são idênticos e um deles está exposto na Figura 16.



Figura 16. Circuitos de entrada e saída dos inversores. (Autoria Própria, 2019)

O condutor de aterramento verde se trata de um novo aterramento de segurança, mas este destinado aos equipamentos do lado CA e conectado ao barramento de terra do quadro geral. O quadro geral, por sua vez,

também conta com um aterramento de segurança de sua estrutura conectado ao seu barramento de terra. A caixa de aterramento do quadro geral encontra-se logo abaixo deste, sob o piso da instalação, portanto é inacessível.

Do lado de fora da instalação de abrigo do sistema, há mais uma caixa de passagem, contendo nesta os cabos que conectam o circuito do quadro geral ao transformador da instalação. Nota-se nessa caixa a ausência de condutores de aterramento provenientes do quadro. Além disso, o condutor de aterramento do transformador é conectado a um eletrodo de aterramento próximo ao poste de suporte do mesmo e não há, neste eletrodo, outros condutores de aterramento.

Diante do exposto, foi elaborado um esquema geral do aterramento da instalação com base no que foi constatado, no qual há eletrodos de aterramento individuais para cada um dos cinco arranjos, para o quadro geral e inversores e para o transformador da instalação, a Figura 17 representa esse esquema geral.

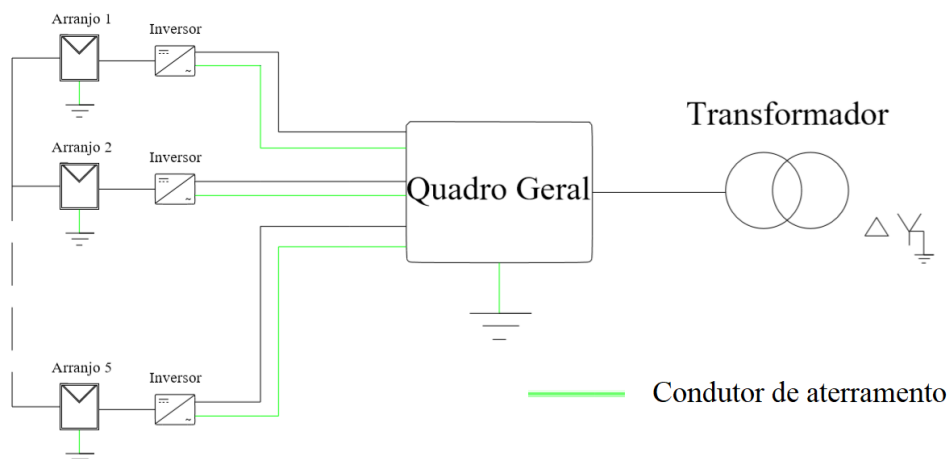


Figura 17. Esquema geral do aterramento da instalação. (Autoria Própria, 2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi averiguado que, dos principais tipos de aterramento utilizados atualmente: aterramento do sistema e aterramento dos equipamentos, a instalação da Usina Solar Fotovoltaica em estudo conta apenas com o aterramento dos equipamentos. No entanto, o inversor utilizado no sistema, da fabricante Ginlong Technologies não possui transformador interno, ou seja, não há isolamento galvânica entre os circuitos CA de entrada, e a saída aterrada do inversor, sendo esta, uma das configurações previstas na seção 690.41 do NEC, exposta na Figura 7.

Quanto aos eletrodos de aterramento, há a presença de eletrodos individuais para todas as estruturas dos cinco arranjos, mas sem conexão entre estes e os eletrodos do sistema CA, ainda assim estando de acordo com o que é determinado na seção 690.47. A utilização de inversores sem transformador interno, apesar de recente, também vai de encontro ao que é previsto no NEC e têm sido difundido hodiernamente, como foi discutido previamente.

5. CONCLUSÃO

A partir do estudo de caso realizado, foi possível verificar que as orientações presentes no *National Electrical Code* dos Estados Unidos sobre o aterramento de sistemas fotovoltaicos podem ser utilizadas para o norteamto dos instaladores em diversas localidades onde não há normatizações oficiais acerca do tema, pois, apesar de não ser uma lei, mesmo nos Estados Unidos, tratam-se de padronizações seguras e provenientes de testes, que são adotadas oficialmente por diversos estados americanos e seguidas em outras localidades. Acrescido a isso, o documento passa por atualizações a cada três anos, o que o torna hodierno com as constantes mudanças derivadas do recente desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica.

6. REFERÊNCIAS

- [1] AIE [Agência Internacional de Energia]. **Technology Roadmap Solar: Photovoltaic Energy**. França, 2014. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf. Acesso em: 6 mar. 2019
- [2] EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanco Energético Nacional (BEN) 2017: Ano base 2016, 2017**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 6 mar. 2019.
- [3] ASSAIFE, B. M. **Aterramento E Proteção De Sistemas Fotovoltaicos**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Elétrica) – Escola politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

-
- [4] **Earthing Solar Pv System.** PV System. Disponível em: <http://pvsystemsomahoso.blogspot.com/2017/05/earthing-solar-pv-system.html> Acesso em: 6 mar. 2019.
- [5] ROY, M. **What Is PID And How Can You Redeuce Solar Power Loss?.** PV System. Disponível em: <https://blog.hsb.com/2015/09/03/potential-induced-degradation/>. Acesso em: 6 mar. 2019.
- [6] WILES Jr., J. C. **Photovoltaic System Grounding.** Estados Unidos da América, 2012. Disponível em: <http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/systemgrounding/index.html>. Acesso em: 6 mar. 2019.
- [7] FIGUEREDO, R. S. **Corrente de fuga em inversores monofásicos sem transformador para conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição de energia elétrica: Análise e proposta de filtro passivo integrado de modo comum e diferencial.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- [8] NETO, A. F. C. P. **Qualificação E Etiquetagem De Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede.** Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- [9] RODRIGUES, M. C. B.; TEIXEIRA, E. C.; BRAGA, H. A. C. **Uma Visão Topológica Sobre Sistemas Fotovoltaicos Monofásicos Conectados À Rede De Energia Elétrica.** Disponível em: <http://seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/RNCSEP%20B-042.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2019.
- [10] FISHER, J.; BREARLEY D. **Ungrounded PV Power Systems in the NEC.** SolarPro, 2012. Disponível em: https://solarprofessional.com/articles/design-installation/ungrounded-pv-power-systems-in-the-nec?v=disable_pagination&nopaging=1#.XIBaTohKi03. Acesso em: 6 mar. 2019.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 15:01 horas do dia catorze de março de dois mil e dezenove, no Laboratório de Energia Renováveis – Lenerg do Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **Pablo Preston Queiroz Leite Batista**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2015010885**, com o título **“Análise da normatização internacional do aterramento de sistemas fotovoltaicos”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Me. Herick Talles Queiroz Lemos, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Eng. Cleydson Adler de Castro Nascimento e Eng. Matheus Emanuel Tavares Sousa como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10 ; 10 ; 10 . Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi APROVADO com média geral 10 . E para constar, eu, Herick Talles Queiroz Lemos, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 14 de março de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Herick Talles Queiroz Lemos

Prof. Me. Herick Talles Queiroz Lemos – UFERSA
Presidente e orientador

Cleydson Adler de Castro Nascimento

Eng. Cleydson Adler de Castro Nascimento
Primeiro Membro

Matheus Emanuel Tavares Sousa

Eng. Matheus Emanuel Tavares Sousa
Segundo Membro