

ESTUDO DE ATERRAMENTO DA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA

Alysson Max Costa de Oliveira¹, Ednardo Pereira da Rocha²

Resumo: O trabalho proposto consiste em verificar as condições dos aterramentos, bem como os valores de resistência de terra de um sistema fotovoltaico conectado à rede, localizada na UFERSA. O sistema é composto por 580 módulos fotovoltaicos, distribuído em 5 strings possuindo 116 módulos cada, e contendo aterramento individual. Foram realizadas inspeções visuais acerca das condições dos aterramentos, e com o auxílio de um terrômetro, utilizando o método de Wenner, foram realizadas as medições de resistência de terra, obtendo valores medidos acima de 20 Ω . Valores estes diferentes daqueles descritos em normas. Portanto, foi possível concluir que os valores de resistência de terra estão elevados, se comparados a norma vigente no Brasil, bem como as normas internacionais, e que alguns aspectos construtivos do aterramento, encontra-se em desacordo com o que está descrito em norma, e no projeto da usina solar.

Palavras-chave: Usina Solar ; Ufersa; Aterramento.

Abstract: The proposed work consists in verifying the ground conditions, as well as the ground resistance values of a grid-connected photovoltaic system located in UFERSA. The system consists of 580 photovoltaic modules, distributed in 5 strings having 116 modules each, and containing individual grounding. Visual inspection of ground conditions was carried out, and with the help of a terrometer using the Wenner method, ground resistance measurements were performed, obtaining values measured above 20 Ω . These values differ from those described in standards. Therefore, it was possible to conclude that the values of earth resistance are high, if compared to the current norm in Brazil, as well as international standards, and that some constructive aspects of grounding are in disagreement with what is described in standard, and in the solar power plant project.

Keywords: Solar Power Plant; Ufersa; Grounding.

1. INTRODUÇÃO

Devido o iminente crescimento do consumo de energia elétrica no mundo atual, e a necessidade de uma geração de energia que tenha o mínimo de impacto ambiental, as chamadas fontes de energia limpa vem ganhando cada vez mais espaço nos grandes centros consumidores, diversificando assim, o sistema elétrico dos principais países do mundo, incluindo o Brasil.

Desta forma, a geração solar fotovoltaica vem sendo uma alternativa para geração de energia elétrica em pequenas e grandes escalas, por isso tem se consolidado nos últimos tempos, devido a alguns fatores, como por exemplo a redução do preço dos módulos fotovoltaicos no mercado, o interesse da indústria em nacionalizar a produção de equipamentos, e o estímulo do governo em criar regulamentações para o setor. Porém, tais sistemas podem vir a produzir tensões e correntes nocivas ao longo da sua utilização, e por isso assuntos relacionados ao aterramento são de extrema importância, já que equipamentos utilizados na geração fotovoltaica são de custo elevado, sendo então necessário protegê-los contra descargas atmosféricas entre outros fenômenos transitórios, bem como também seus usuários e operadores.

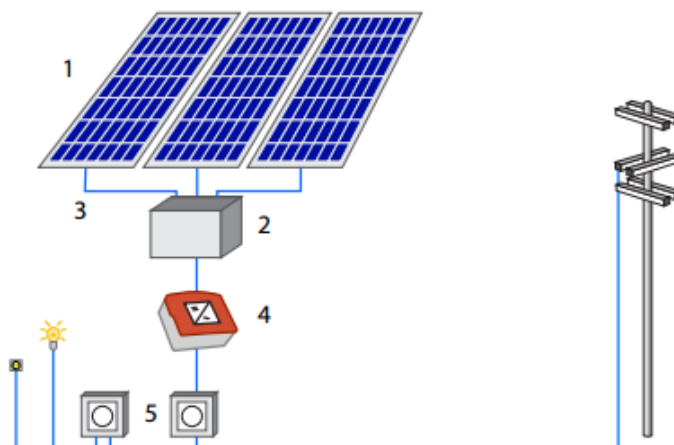
Assim, os sistemas fotovoltaicos, como qualquer outro sistema elétrico, estão sujeitos a condições de defeito, deterioração das conexões elétricas e das instalações devidos a exposição contínua aos efeitos do meio ambiente, correntes de fuga, entre outros problemas que podem ser minimizados e evitados através de um aterramento bem dimensionado, diminuindo consideravelmente riscos de choques e incêndios.

2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Em ambos os casos, podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou combinados com uma ou mais fontes de energia, quando são chamados de híbridos (CRESESB, 2014).

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede são sistemas de geração de energia elétrica, no qual toda a potência produzida pelos módulos fotovoltaicos é injetada diretamente na rede de energia elétrica. De acordo com Cresesb (2014), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFRCR) foram incluídos na regulamentação disposta

pela Aneel, em abril de 2012, através da Resolução 482, no qual estabeleceu-se primeiramente as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. A figura 1, demonstra o esquema de montagem do sistema.



- 1 – Pannel fotovoltaico;
- 2 – Caixa de Junção do pannel fotovoltaico;
- 3 – Cabeamento;
- 4 – Inversor *Grid-Tie*;
- 5 – Medidor(es) de energia;

Figura 1- Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede (Cresesb)

De acordo com Aneel (2017), no Brasil existem cerca de mais de 15 mil usinas fotovoltaicas em operação, com uma potência total de 120.555,23 kW. A tabela 1, detalha o crescimento das instalações das usinas no período de 2012 até hoje, bem como o total de potência instalada.

Tabela 1 - Dados de geração distribuída (Adaptado de Aneel)

Geração distribuída fotovoltaica		
Ano	Total de Usinas	Potência Total (kW)
2012	1	403,00
2013	52	1.383,71
2014	282	2.391,89
2015	1419	9.302,92
2016	6012	48.138,49
2017	7215	58.885,72
Total	15.031	120.555,23

Desse total de usinas mostradas na tabela 1, 243 se encontram no estado do Rio Grande do Norte, totalizando uma potência de 3.121,01 kW.

2.1. Aterramento do Sistema Fotovoltaico

Toda instalação elétrica de média e baixa tensão para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais devem possuir um sistema de aterramento dimensionado de modo adequado para as condições de cada projeto.

Um sistema fotovoltaico é definido como um sistema aterrado quando um dos condutores do circuito de corrente contínua (CC), positivo ou negativo, está ligado ao sistema de aterramento, que por sua vez está conectado à terra (ASSAIFE, 2013).

O sistema de aterramento envolve as partes condutoras expostas, ou seja, as armações de metal dos painéis, e o sistema de geração de potência, que são as partes vivas do sistema (células). O aterramento é realizado de forma que evite que o sistema atinja tensões elevadas em caso de falhas. O sistema de isolamento é seguro para pessoas que tocam partes vivas de pequenas plantas, pois a resistência de isolamento da terra para estas não é infinita e uma pessoa pode servir como uma resistência para a passagem de corrente até esta retornar a terra. Porém o mesmo não pode ser dito para plantas maiores, pois uma corrente pode causar a eletrocução de uma pessoa podendo leva-la à morte. A resistência de isolamento diminui com o aumento da corrente, com o tamanho do sistema, com o passar do tempo e com a umidade também.

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, é necessário fazer o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora à terra) e o aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico ao terra, através do condutor neutro, do lado CA). O aterramento do lado CC, depende da tecnologia do módulo ou do inversor utilizados. As tecnologias de filme fino devem ter uma das polaridades aterradas, já as de silício cristalino, em geral, fica em flutuação; normalmente inversores sem transformadores não podem ser aterrados (CRESESB, 2014).

De acordo com Almeida (2014), os esquemas de aterramento utilizados no lado de corrente contínua podem ser classificados com TN-S (condutor vivo aterrado, polo positivo ou negativo, e massas aterradas), ou IT (condutores vivos não aterrados, e massas aterradas). Assim, por segurança a caixa e os suportes dos módulos, têm que estar devidamente conectados à terra, assim como todo metal exposto que possa ser tocado. O aterramento deve ser realizado afim de permitir a equipotencialização de todos os corpos que possam conduzir corrente na instalação. Desta forma, sistemas isolados possuem uma certa diferença em relação aos sistemas conectados à rede, visto que neste tipo, o aterramento de cada unidade é individual, e interconectado com os aterramentos das outras unidades consumidoras, havendo um aumento na eficiência da malha de terra.

3. MATERIAIS E METODOS

No dimensionamento de um sistema de aterramento encontra-se alguns desafios, pois sua eficiência depende das características do solo e do seu grau de umidade, que pode variar entre os períodos úmidos e secos ao longo do ano.

O presente estudo de aterramento de um sistema fotovoltaico conectado à rede, ocorreu na usina solar da Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA, situada no campus leste da universidade localizada no bairro Costa e Silva, na cidade de Mossoró-RN. A usina é composta por 580 painéis com células de silício policristalino, com uma potência total instalada de 150,8 kWp, 10 inversores com potência de 15 kW, totalizando 150 kW, e um transformador de 150 KVA. A usina está distribuída em 5 *strings*, cada uma contendo 116 módulos, e aterramento individual. A figura 2, mostra parte da usina utilizada no estudo.



Figura 2 - Usina solar fotovoltaica da UFERSA (Autoria própria).

O presente trabalho consiste em verificar as condições de aterramento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, que no caso é a usina solar da UFERSA, bem como a resistência de terra, entre outros fatores. O estudo será através de inspeções visuais sobre as condições de aterramento, além de com um auxílio de um terrômetro, verificar e analisar se a resistência de terra está de acordo com as normas vigentes.

No Brasil não existe em vigor nenhuma norma específica sobre aterramento em sistemas fotovoltaicos. Em contrapartida nos Estados Unidos, a NEC 690 de 2011 estabelece alguns requisitos de aterramento, enquanto que na Europa estes requisitos são abordados pela IEC 60364-7-712. Como referência nacional será utilizada neste trabalho a NBR 5410, que é a norma vigente que trata sobre aterramentos em baixa tensão.

A NBR 5410 (2009), diz que deve-se conseguir uma resistência de terra de no máximo 10 Ω , porém mais importante que a própria resistência, é uma perfeita equipotencialização de todos os aterramentos locais. Sendo assim, não é aconselhável concentrar muitos eletrodos em uma área reduzida. Já em sistemas de distribuição com neutro contínuo e multiterrado, os valores de resistência de terra não preocupam, podendo ser entre 20 e 50 Ω .

Para efeitos de comparação a resistência de aterramento recomendada pela NBR 5410 foi comparada com as normas internacionais, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Valores normativos de resistência de aterramento

Norma	NBR 5410 (Brasil)	NEC 690 (EUA)	IEC 60364-7-712(EUR)
Resistência de Aterramento(Ω)	$R \leq 10$	$R \leq 25$	$R \leq 10$

É importante observar que como nos Estados Unidos a incidência de descargas atmosféricas é bem superior ao Brasil e a Europa, a resistência de terra normatizada é um pouco mais elevada. A partir desses valores de referência à resistência de aterramento é possível, então, realizar medições da resistência de terra da usina solar e comparar com os valores citados na tabela 2.

A coleta de dados, ou seja, a medição da resistência de terra foi realizada na tarde do dia 18 de setembro de 2017, utilizando um terrômetro da marca Minipa, modelo MTR-1520D. A figura 3, apresenta o equipamento utilizado.



Figura 3 - Terrômetro (Autoria Própria)

3.1. Método de medição

O método utilizado para realizar a medição da resistência de terra, foi o Método de Wenner, que de acordo com Mamede (2011), consiste em colocar os eletrodos de teste em linha separados por uma distância A, e enterrados no solo, sendo necessário atentar para alguns pontos principais como:

- Os eletrodos devem ser cravados aproximadamente, a 20 cm no solo, ou até que apresentem resistência mecânica de cravação consistente, definindo uma resistência de contato aceitável;
- Os eletrodos devem estar sempre alinhados;
- A distância entre os eletrodos deve ser sempre igual.

A figura 4, exemplifica o método de Wenner, e as respectivas conexões para a utilização correta do terrômetro.

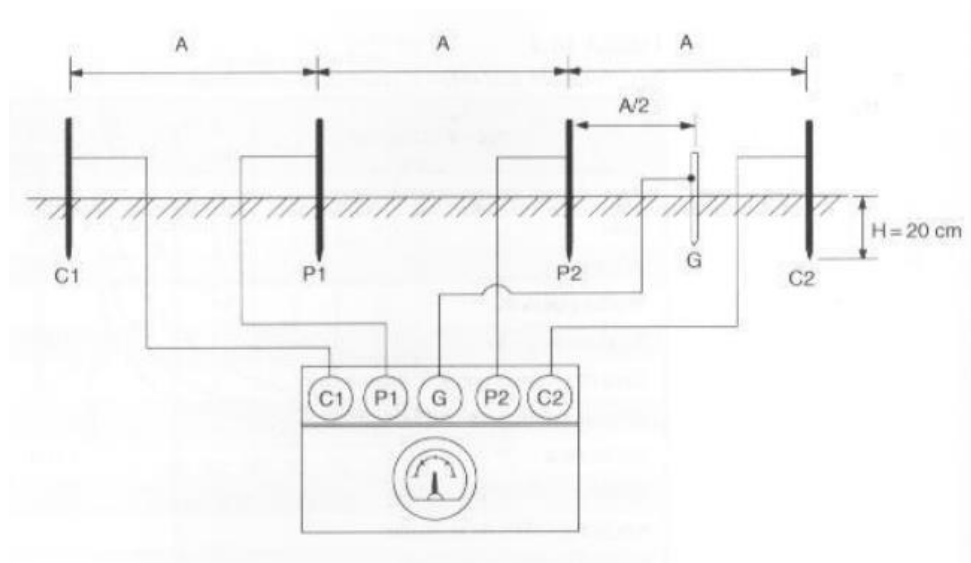


Figura 4 - Método de medição Wenner (Mamede)

De acordo com a figura 4, pode-se perceber as conexões a necessárias para realizar a correta medição da resistência de terra. Primeiro o cabo verde deve ser conectado na haste de terra que vai ser utilizada como referência, o cabo amarelo conectado no eletrodo de potencial (P1), e em seguida o cabo vermelho no eletrodo de corrente (C1), a uma distância de 5 e 10 metros entre eles, que no caso do presente estudo foi determinado a distância mínima de 5 metros entre os eletrodos E, P1 e C1.

De posse dessas informações iniciou-se a medição da resistência de terra nos diversos pontos da usina solar. Inicialmente foi feito a medição utilizando como referência o aterramento da casa dos inversores, e em seguida a medição de cada string de módulos fotovoltaicos, totalizando assim seis medições. A figura 5, apresenta a execução da medição da resistência de terra da usina solar.



Figura 5 – Execução da medição da resistência de terra (Autoria Própria)

Ao concluir o procedimento de medição, é possível realizar a análise dos dados, sendo possível assim, verificar se os aterramentos estão em concordância com a norma.

Em paralelo as medições, foi observado também as condições de integridade física dos elementos de aterramento, ou seja, cabos, hastes e conectores, como também se o sistema de aterramento estava de acordo com o que foi especificado no projeto. O detalhe do projeto referente ao aterramento, pode ser visto na figura 6.

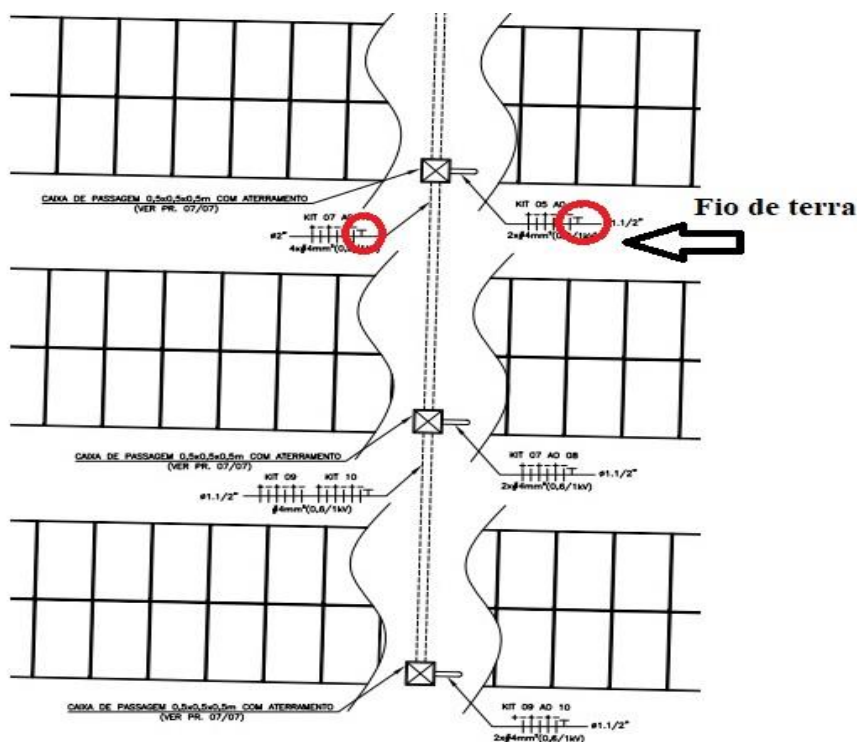


Figura 6 - Detalhe do projeto da usina solar (Ufersa)

Enquanto o detalhe da conexão dos módulos fotovoltaicos ao aterramento, pode ser acompanhado na figura 7.



Figura 7- Detalhe da conexão do aterramento dos módulos fotovoltaicos (Autoria própria).

Vale salientar que os aterramentos dos módulos fotovoltaicos são interconectados um ao outro, do módulo mais próximo até caixa de passagem, onde é feita a conexão mostrada na figura 7.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Ao final de todas as medições e obtenções dos valores de resistência de terra, é possível analisar os aterramentos existentes na usina solar em estudo. Como mencionado no capítulo 3, a NBR 5410 determina que a resistência de terra seja inferior a 10 Ω , caso contrário, deve-se buscar soluções e alternativas para que o aterramento possua o valor normatizado.

A tabela 3, apresenta os valores obtidos no terrômetro para os pontos referidos.

Tabela 3 - Valores das medições da resistência de terra (Autoria Própria)

Local	Valores de resistência de terra (Ω)
Casa dos inversores	30,2
String 1	23,0
String 2	23,5
String 3	40,5
String 4	42,2
String 5	17,8

De posse dos valores obtidos na tabela 3, observou-se valores bastante elevados, podendo concluir que em nenhum dos pontos de aterramento foi obtido o valor determinado por norma, no caso, valor de resistência de terra igual ou inferior a 10 Ω .

Foi observado também as condições dos elementos do aterramento nas caixas de passagens instaladas, como pode ser visto na figura 8.



Figure 8 - Conexões dos aterramentos (Autoria própria)

A figura 8, demonstra na imagem da esquerda, a caixa de passagem que está situada na saída do abrigo dos inversores, enquanto a imagem da direita demonstra a caixa de passagem de uma string da usina. As conexões estão em condições apropriadas, porém é possível observar que não existe a conexão do fio de terra passando através das caixas de passagem como descrito em projeto.

5. CONCLUSÃO

Diante das informações explanadas, é possível observar que foi alcançado o objetivo proposto neste estudo, apesar das dificuldades encontradas referente as normas brasileiras e padrões sobre aterramento de sistema solar conectado à rede. Desta forma, conclui-se que os valores obtidos de resistência de terra estão em desacordo com a norma vigente no Brasil, ou seja, a NBR 5410/2008, bem como as normas internacionais, NEC 690/2011 e IEC 60395-7-712/2005. Entretanto, existem técnicas para melhorar os valores de resistência de terra, tais como aumento do número de eletrodos em paralelo, aprofundamento dos eletrodos, tratamento químico do solo e tratamento físico do solo.

De acordo com Macarini (2012), essas técnicas atuam, basicamente, modificando a resistência de terra nas proximidades ao eletrodo, alterando as condições dos eletrodos de aterramento, ou ainda, fazendo a aplicação dessas duas possibilidades simultaneamente. Assim, as técnicas mais recomendadas seriam o aumento de número de eletrodos em paralelo, e o tratamento químico do solo.

Observou-se também que os aterramentos estão de forma individual, ou seja, sem nenhum tipo de interligação, o que contradiz o projeto, o qual mostra que entre as caixas de passagem deve haver a passagem do fio de terra havendo a interligação. Desta forma, o atual sistema de aterramento da usina solar da UFERSA se torna prejudicial aos equipamentos e as pessoas, visto que caso haja uma descarga atmosférica, a corrente fluirá pela terra e devido as hastes individualizadas haverá uma diferença de potencial (d.d.p), ocasionando choques elétricos.

Portanto, fica como sugestão para trabalhos futuros a interligação dos eletrodos, adequando assim o sistema de aterramento ao projeto, bem como o tratamento químico do solo nas caixas de passagem, levando em consideração que os elementos utilizados devem atender alguns requisitos como: não ser tóxico, ser quimicamente estável, possuir baixa resistividade elétrica, não causar corrosão nos elementos do aterramento, não ser consumido pela chuva, e ter a capacidade de reter umidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL. **Outorgas e registros de geração**, Distrito Federal, 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2. Acesso em: 15 Ago. 2017
- [2] ASSAIFE, BRUNO MONTEIRO. **Aterramento e Proteção de Sistemas Fotovoltaicos** / Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2013
- [3] ALMEIDA, MARCELO PINHO. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede** / Marcelo Almeida; orientador Roberto Zilles – São Paulo, 2012
- [4] CRESESB. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] MACARINI, Fabiano. **PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS UTILIZANDO PARA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO**. 2012. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- [6] MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [7] UFERSA. **Planta Baixa E Memorial Descritivo Da Usina Solar Fotovoltaica**. Mossoró, 2017. Disponível em: <https://reitoria.ufersa.edu.br/usina-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 20 Set. 2017