

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ATERRAMENTO EM UMA USINA SOLAR

Edson Alexandre Arévalo Osorio – edson.osorio@outlook.com

Aline Cristiane Pan - aline.pan@puccrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Física

Curso de especialização em Energias Renováveis

Resumo. *Dentre as fontes alternativas de energia que apresentam crescimento no Brasil e no mercado atual surge a energia solar fotovoltaica. Através de leilões de energia no setor e incentivos do governo, a implantação de usinas solares fotovoltaicas está tornando-se uma realidade. Entretanto existem poucos estudos nacionais referentes aos sistemas de aterramento destas usinas. Assim, o presente trabalho aborda o dimensionamento de um sistema de aterramento com base em pesquisas internacionais, demonstrando os passos que devem ser cuidados para garantir à segurança e eficácia do sistema. Constatou-se neste trabalho que o sistema de aterramento projetado para uma usina solar fictícia com capacidade instalada de produção de 5MW para a localidade do município de Severiano de Almeida no estado do Rio Grande do Sul, atinge as expectativas, com uma boa performance, garantindo a segurança e sua eficácia quanto à correta dispersão de corrente no solo. O presente estudo demonstra fatores que influenciam diretamente no desempenho de um bom sistema de aterramento, como do tipo de solo, arranjo da usina e níveis de curto circuito do sistema. São apresentados cuidados que devem ser realizados e não devem ser negligenciados na confecção de aterramentos para usinas solares deste porte.*

Palavras-chave: *Sistema de Aterramento, Usinas Solares Fotovoltaicas, Dimensionamento.*

1. INTRODUÇÃO

A expansão da energia solar no Brasil, já é uma realidade, estima-se que a capacidade instalada de produção solar chegue a 8300 MW em 2024, sendo destes, 7000 MW de geração centralizada e os outros 1300 MW de geração distribuída (EPE, 2015). Estes números ainda são tímidos em comparação com outras fontes de energias renováveis como eólicas e biomassas. O Brasil detém na sua matriz energética ainda a hídrica como predominante, porém este fato vem mudando com o passar dos anos, onde outras fontes estão ganhando espaço no contexto energético nacional, seja por incentivos do governo, como também para diversificar melhor a matriz energética brasileira (EPE, 2016).

Estamos em fase inicial de implementação destas fontes de energias e com a energia solar fotovoltaica não é diferente, quando mencionamos este tipo de energia associa-se muito a mesma à instalação de módulos fotovoltaicos em residências, de fato nos últimos anos surgiram diversas empresas no Brasil focadas na microgeração de energia com projetos e instalações de painéis para consumidores de pequeno porte. Com o governo realizando incentivos e leilões para estas novas fontes de energia, a solar está tornando-se uma realidade e está atraindo o interesse de investidores e consumidores de médio e grande porte que enxergam uma oportunidade para economizar energia e lucrar.

Quando tratamos do tema minigeração ao invés de microgeração, onde a capacidade de produção de energia passa a ser maior (ANEEL, 2016), começamos então a ter a confecção de usinas solares propriamente ditas, a literatura nacional não aborda este tema como um todo, sendo necessário recorrer a informações em literaturas internacionais. Dentre os vários aspectos que compõem uma usina solar, um dos mais importantes é com relação ao sistema de aterramento, este é responsável por garantir a segurança das pessoas, animais e dos equipamentos que compõem o sistema. Garantindo assim o correto funcionamento no caso de uma falha (curto-circuito) ou até mesmo uma descarga atmosférica (raio) que possa ocorrer no local. Existem poucas referências ou quiçá, poucos estudos nacionais acerca do dimensionamento correto de um sistema de aterramento em usinas solares fotovoltaicas e este trabalho demonstra os passos necessários para o seu correto dimensionamento.

A viabilidade de um sistema de aterramento para uma usina fotovoltaica possui diversos desafios, entre eles, está o fato de que uma usina pode ocupar uma área extensa de terra para uma determinada potência instalada, acarretando em um desafio pelo fato da eficiência de um aterramento estar diretamente ligado às características do solo e do seu grau de umidade, que pode variar entre períodos secos e úmidos ao longo do ano. Vale ressaltar que em outros países onde a temperatura pode ser negativa por longos períodos, a eficiência do aterramento tende a ser ainda mais crítica, gerando um estudo ainda mais aprofundado (Enrique *etal.*, 2014).

A localização do sistema de aterramento também é importante e depende da posição estratégica ocupada pelos equipamentos elétricos do sistema em questão. Deve-se levar em consideração os seguintes aspectos ao se realizar um aterramento (Kindermann, 2011):

- a. Centro geométrico de cargas;
- b. Terreno acessível economicamente;

- c. Local seguro às inundações;
- d. Não comprometer a segurança humana.

Havendo algum problema que possa comprometer o adequado perfil esperado do sistema de aterramento, deve-se então, optar por escolher outro local.

No geral podemos simplificar dizendo que o desenho de um sistema de aterramento seguro, consiste nas seguintes etapas (Datsios e Mikropoulos, 2012):

- a. Análise da medida da resistividade do solo;
- b. Cálculo dos limites permitidos de tensão de toque e passo;
- c. Estudo da corrente de curto-circuito máxima do sistema;
- d. Projeto do aterramento;
- e. Verificação da performance do sistema de aterramento e segurança.

O parâmetro de maior interesse para o dimensionamento de um aterramento, é denominado de resistividade do solo, cuja medição não é simples. Em um país de dimensões continentais como o Brasil, temos uma grande variedade de solos, e quando não se faz a medida de resistividade do solo é impossível aferir-se a qualidade de um sistema de aterramento (CRESESB, 2014).

Sendo assim, o propósito deste trabalho é dimensionar corretamente o sistema de aterramento em uma usina solar fotovoltaica, garantindo à eficácia da mesma e proporcionando um caminho preferencial às correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, de forma a garantir à segurança dos equipamentos do sistema e das pessoas que transitem no local.

O método a ser utilizado para medição do solo será o Método de Wenner, que será brevemente explicado adiante. Para análise dos resultados do solo e demais dimensionamentos, será utilizado o programa (CYMGRD, 2016) que oferece uma solução prática e econômica para o dimensionamento de aterramentos.

2 MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

A resistividade do solo varia significativamente com a elevação da umidade e temperatura, onde uma quantidade maior de água faz com que os sais presentes no solo, se dissolvam, formando um meio eletrolítico favorável à passagem de corrente. Assim, pode-se afirmar que os aterramentos melhoram suas características nos períodos de chuva e pioram nos períodos de seca. É necessário efetuar o levantamento da resistividade do solo no pior caso possível para obtenção das informações necessárias à elaboração do projeto, isto é, nos períodos de seca. Estes levantamentos são realizados em campo, utilizando-se métodos de prospecção geoeletricos, dentre os quais, o mais conhecido e utilizado mundialmente é o Método de Wenner (Kindermann, 2011).

2.1 Método de Wenner

A medição pelo Método de Wenner utiliza o equipamento conhecido como Megger, instrumento de medida de resistência (Kindermann, 2011). A medição, consiste na inserção de quatro eletrodos no solo, colineares, a uma profundidade “b”, separados de uma distância “a”, conforme Fig. 1. O aparelho, através de uma fonte interna, faz circular uma corrente elétrica no solo através dos eletrodos das extremidades C1 e C2, e a diferença de potencial no solo é medida entre os eletrodos centrais P1 e P2. Desta maneira, o equipamento exibe a medição da resistência elétrica do solo para aquela dada separação de eletrodos.

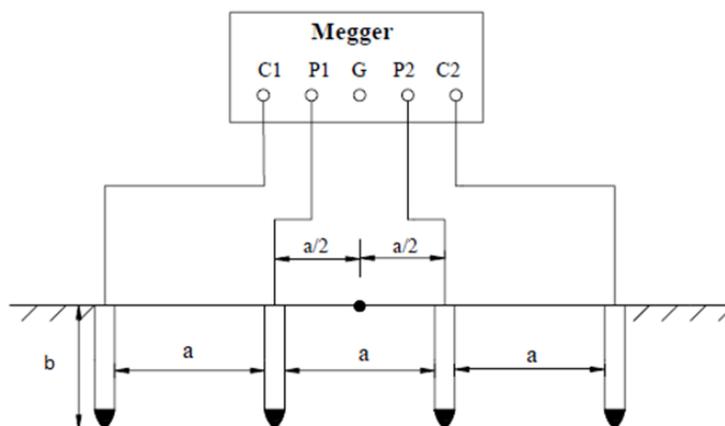


Figura 1 – Disposição dos eletrodos no solo. (Adaptado de Kindermann, 2011).

O método considera que praticamente 58% da distribuição de corrente que passa entre as hastas externas ocorre a uma profundidade igual ao espaçamento entre as hastas, conforme Fig. 2.

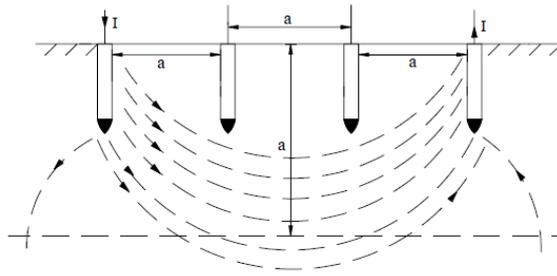


Figura 2 – Penetração no solo na profundidade “a”. (Kindermann, 2011).

A corrente atinge uma profundidade maior, com uma correspondente área grande de dispersão, tendo em consequência, um efeito que pode ser desconsiderado. Portanto, para efeito do Método de Wenner, considera-se que o valor da resistência elétrica lida no aparelho é relativo a uma profundidade “a” do solo. A resistência medida deve ser aplicada à Eq. (1), para obtenção da resistividade do solo para aquela dada separação de eletrodos (Kindermann, 2011):

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b}}\right) - \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)} [\Omega/m] \quad (1)$$

onde,

ρ = Resistividade do solo [Ω/m];

a = Espaçamento das hastas cravadas no solo [m];

b = Profundidade da estaca cravada no solo [m];

R = Leitura da Resistência em ohms [Ω] no aparelho (Megger) para uma profundidade “a”.

Quando, $a > 20b$, podemos utilizar a fórmula simplificada, ficando conforme Eq. (2):

$$\rho_a = 2\pi a R [\Omega.m] \quad (2)$$

onde,

ρ_a = Resistividade do solo [Ω/m];

a = Espaçamento das hastas cravadas no solo [m];

R = Leitura da Resistência em ohms [Ω] no aparelho (Megger) para uma profundidade “a”.

São realizadas desta forma diversas medidas em diferentes direções do terreno (ABNT, 2009), principalmente nos locais onde já se conhece a localização de futuros equipamentos do sistema, como: transformadores e inversores.

A interpretação das medidas realizadas referente a resistividade do solo e, a representação aproximada do modelo do solo são tarefas difíceis de serem realizadas devido da complexidade de um terreno, estes modelos são categorizados de três formas: solos uniformes, solo estratificado em duas camadas e estratificação do solo em várias camadas conforme a NBR 7171 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2012).

Considerando as características que normalmente apresentam os solos, em virtude da sua própria formação geológica ao longo dos anos, a modelagem do solo em camadas estratificadas, isto é, em camadas horizontais, tem produzido excelentes resultados na prática (Kindermann, 2011), com auxílio da ferramenta computacional a modelagem de duas camadas será empregada neste trabalho por apresentar resultados próximos à realidade.

3. TENSÕES DE TOQUE E PASSO

Através dos dados obtidos pelas medições da resistividade do solo é possível estimar a máxima tensão de passo e toque permitidas do sistema, afim de garantir a segurança de pessoas que transitem no local.

Estes limites são derivados das máximas correntes que o corpo humano pode tolerar sem causar fibrilação ventricular e dependem das características do solo e da duração do choque ao qual uma pessoa pode ficar exposta. As tensões de passo ocorrem quando entre os membros de apoio (pés), aparecem diferenças de potenciais, isto ocorre pelo fato dos pés estarem posicionados sobre linhas equipotenciais diferentes, estas linhas se formam na superfície do solo quando ocorre o escoamento da corrente de falta ou surto. Já para o caso da tensão de toque a mesma ocorre quando a mão de uma pessoa está em contato com alguma estrutura do aterramento e outra parte em contato com a superfície do solo, gerando assim uma diferença de potencial entre os pés e mãos (IEEE, 2013).

Os limites para tensões de toque (E_{TOQUE}) e tensões de passo (E_{PASSO}) são dados pelas Eq. (3) e Eq. (4) (Datsios e Mikropoulos, 2012):

$$E_{TOQUE} = (1000 + 1.5C_S \cdot \rho_S)(K/\sqrt{Ts}) \quad (3)$$

$$E_{PASSO} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s)(K/\sqrt{Ts}) \quad (4)$$

onde,

T_s (s) é a duração de choque e K é uma constante igual a 0,116 ou 0,157 para pessoas com peso de 50 kg e 70 kg;

C_s é dado pela Eq. (5), é um fator corretivo para computar o efeito da resistência na presença de uma camada fina de material de superfície, como por exemplo brita, para aumentar a resistência de contato entre o solo e os pés das pessoas que transitam;

ρ_s (Ωm)- é a resistividade referente do material de superfície do solo.

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad (5)$$

Na Eq. (5), ρ (Ωm) e ρ_s (Ωm) são as resistividades de superfície material do solo, e h_s espessura da camada do material de superfície em metros. Caso não seja aplicada uma camada de superfície, então " ρ_s " passa a ser igual a " ρ " e C_s passa a ser igual a 1. É importante ressaltar que caso seja utilizada uma camada superficial a resistividade da mesma deve ser considerada em condições de alta umidade (Datsios e Mikropoulos, 2012).

4. ESTUDO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para este trabalho, será estudada a implantação de uma usina solar fotovoltaica fictícia com 5 MW de potência em uma zona agrícola na localidade do município de Severiano de Almeida, estado do Rio Grande do Sul. O arranjo realizado para instalação da usina em uma área de 88856 m², pode ser visto de acordo com a Fig. 3. Para aumento de confiabilidade do sistema, optou-se em dividir a usina em dez grupos, onde, cada grupo é responsável por produzir 500 kW de energia. Ao lado de cada grupo estará a casa de transformação (mini subestações), que por sua vez contarão com transformadores elevadores de 0,38/23 kV.

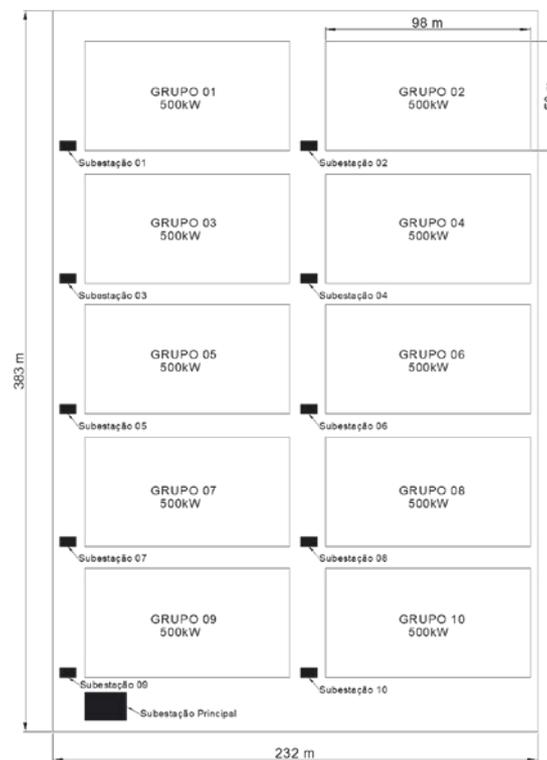


Figura 3 – Arranjo da usina solar fotovoltaica em estudo.

A escolha de se dividir a usina em unidades com capacidade de produção menor do total, é uma vantagem devido à possibilidade de se encontrar um defeito isolado de forma mais rápida, também aumenta a confiabilidade uma vez que no caso de uma falha apenas uma pequena porção deixa de produzir enquanto o restante permanece funcionando de forma normal, não ocorrendo blackout do sistema como um todo. Como desvantagem de se utilizar este tipo de arranjo temos o aumento de custo e tempo de execução que será estendido no empreendimento, cabe desta forma ao projetista e investidor determinar qual atenderá o melhor custo benefício.

De maneira resumida a proposta da usina em estudo será de concentrar a ligação de todas as dez subestações menores em um único barramento de 23 kV que neste caso será chamado de subestação principal e fará a ligação com a concessionária de energia local.

4.1 Resistividade do solo medida

As principais áreas de um sistema de aterramento para uma usina solar são as subestações de energia, casas de inversores e o próprio arranjo de painéis solares do sistema (Ma e Dawalibi, 2010).

Medições do solo em locais como subestações e casas de inversores são mais simples, uma vez que ocupam uma área pequena de terra, em contrapartida os arranjos de painéis solares fotovoltaicos de uma usina ocupam uma extensa área, o que dificulta as medições. Assim podem existir diferentes tipos de solos com propriedades elétricas diferentes as quais devem ser levadas em conta. Para modelagem do solo utilizou-se medidas já conhecidas realizadas na localidade de Severiano de Almeida no estado do Rio Grande do Sul, as medições do terreno foram obtidas no pior caso possível, isto é, no período de seca da região, onde foi extrapolada uma média das resistividades medidas para o terreno da usina em questão. Os resultados podem ser vistos conforme Tab. 1.

Tabela 1 – Resistividades médias calculadas no terreno.

Resistividades Calculadas					
Profundidade (m)	1	2	4	8	16
Resistividade (Ω .m)	224	140	62	35	46

Os dados da Tab. 1 foram inseridos como entrada no módulo de análise de solo do programa (CYMGRD, 2016). O software desenvolvido primeiramente para análises de aterramento em subestações de energia permite que seja modelado e analisado o comportamento de um aterramento novo ou existente. Desta forma permite e garante aos engenheiros que os requisitos técnicos sejam alcançados, realizando assim arranjos econômicos, e evitando desperdícios. Com base nos dados inseridos, o programa traçou a curva de resistividade do solo considerando o modelo de estratificação em duas camadas. A Fig. 4, demonstra os resultados.

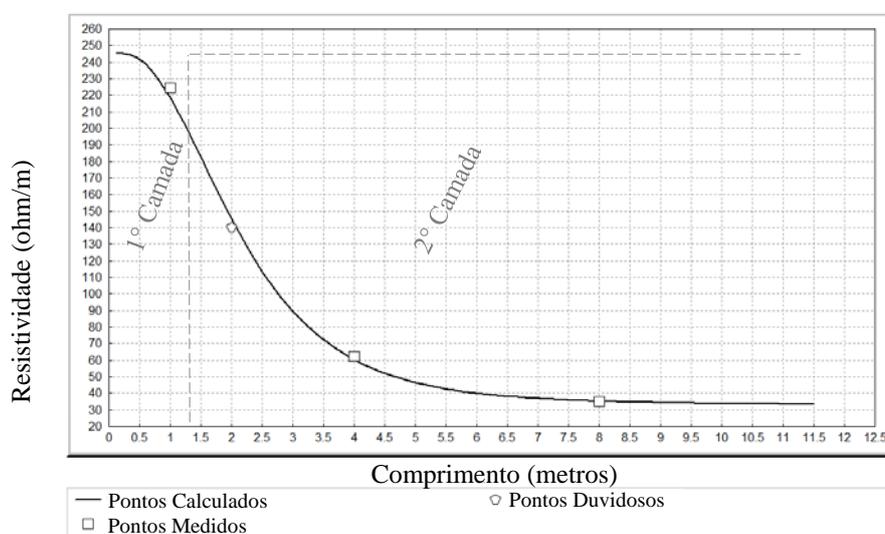


Figura 4 – Curva de resistividade gerada.

Observa-se que o solo modelado demonstra uma primeira camada com uma resistividade mais elevada devido à presença do solo possuir pedras ou rochas em diversos pontos do terreno e posteriormente uma camada mais profunda com resistividade mais baixa com indicação de presença de argila ou elevada salinidade.

Os dados calculados pelo software conforme medições realizadas, são:

- Espessura da primeira camada: 1,48 m;
- Resistividade da Primeira Camada: 245,91 Ω .m
- Resistividade da Segunda Camada: 32,44 Ω .m

4.2 Análise dos limites permitidos de toque e passo

Por questões de viabilidade econômica não será acrescido na superfície do terreno da usina fotovoltaica nenhum tipo de material, como por exemplo brita. Por ser uma zona rural agrícola de acesso restrito e não existir animais na volta

não será realizada a colocação de cerca em volta do perímetro da usina, desta forma será considerado para fins de cálculo como pior caso, um adulto ou criança pesando no mínimo 50 kg transitando no local. Será considerado também uma duração de choque de no máximo 0,5 s. Assim, através dos dados obtidos anteriormente e as equações matemáticas Eq. (3) e Eq. (4), podemos verificar os máximos limites de tensões de toque e passo, obtendo os valores de máximo limite de toque 224,56 V e máximo de passo de 406,1 V.

4.3 Nível de curto-circuito do sistema

Um curto-circuito pode ser definido como uma conexão intencional ou acidental, em geral de baixa impedância, entre dois ou mais pontos que normalmente estão em diferentes potenciais elétricos. Como consequência, resulta em uma corrente elétrica que pode atingir valores muito elevados, dependendo do tipo de curto-circuito. A esta corrente dá-se o nome de corrente de curto-circuito ou corrente de falta.

O curto-circuito mais comum dentre todos é o monofásico sendo o trifásico mais difícil de ocorrer: 80 % das faltas são monofásicas, 15 % bifásicas e apenas 5 % são trifásicas (Noblat, 2005).

As principais causas dessas faltas são (Noblat, 2005):

- Defeito mecânico (quebra de condutores, contato entre duas fases causado acidentalmente como, por exemplo, algum tipo de ferramenta ou animal);
- Danos nos equipamentos devido à umidade e corrosão;
- Posição (dentro ou fora de uma máquina ou de um painel de comando elétrico).

Em sistemas elétricos é sempre necessário realizar um estudo aprofundado destas correntes e atualizar o mesmo quando ocorrerem alterações, decorrentes de mudanças topológicas, expansão, interligação com outros sistemas elétricos e instalação de novos equipamentos, sobretudo geradores, transformadores e motores de corrente alternada.

Em uma usina fotovoltaica os níveis de curto-circuito geralmente são maiores nas regiões onde estão localizados os transformadores elevadores de força e inversores, porém podem haver exceções (Ma e Dawalibi, 2010). Desta forma, se sugere que o estudo seja realizado por uma empresa ou profissional com especialização no assunto.

Para o sistema em estudo, a máxima corrente de curto monofásica calculada foi de 2 kA, na subestação principal que faz conexão com a concessionária de energia local.

4.4 Projeto do sistema de aterramento

O principal objetivo ao projetar um sistema de aterramento em uma usina solar fotovoltaica deste porte é de manter um equilíbrio entre o custo da instalação e a eficiência do sistema ao longo do tempo. Consequentemente um parâmetro importante para o projetista levar em conta, é a seleção correta do material que será utilizado para estrutura do arranjo de painéis, uma vez que, o tipo de fundação pode variar de um fabricante para outro consideravelmente. Esta seleção serve também para evitar a corrosão galvânica entre materiais distintos conforme NBR 16254-1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2014), desta forma, os materiais utilizados no aterramento como hastes, conexões e cabos devem ser homogêneos (Charalambous *et al.*, 2014). A Fig. 5, demonstra os tipos mais usuais e comuns de fundações de estruturas para arranjos de painéis fotovoltaicos.

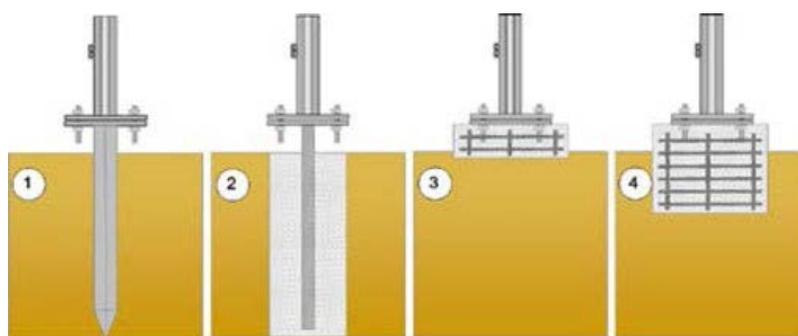


Figura 5 – Tipos de fundações para aterramento em sistemas fotovoltaicos. Fonte: (Charalambous *et al.*, 2014).

Existem diferentes formas de fundações como pode ser visto na Fig. 5, e o mais importante é de que cada uma das fundações independente do formato ou tamanho acaba por contribuir para a dispersão de corrente no caso de uma falta, fuga ou surto. Mais de 80% da corrente no caso de uma falta flui para terra através destas fundações (Enrique *et al.*, 2014). Neste projeto, o tipo de estrutura escolhida para o arranjo de painéis, proporcionará mais de 3000 mil fundações do tipo “1”, que serão utilizadas como hastes de eletrodo auxiliar em todo sistema a uma profundidade mínima de 1 m.

Para o setor da subestação e inversores, as ligações são feitas através de uma malha de aterramento, com utilização de cabo de cobre nu e interligados ao arranjo de painéis a uma profundidade de 0,5 m para equipotencializar o sistema. Assim o desenho do aterramento desta usina fica conforme está ilustrado na Fig. 6.

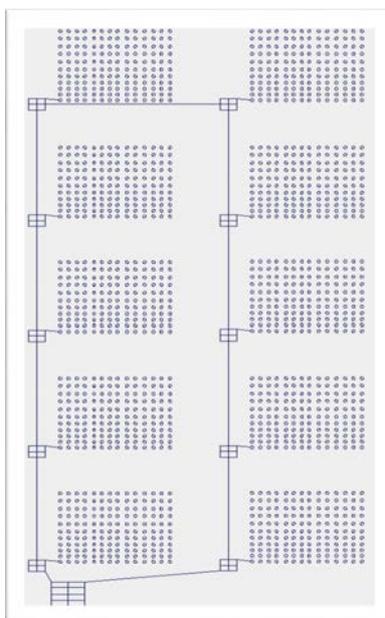


Figura 6 – Desenho do sistema de aterramento para usina.

5. ANÁLISE DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

A análise do aterramento da usina foi modelada no software (CYMGRD, 2016), considerando as hastes auxiliares através das estacas de fundação das estruturas cravadas a 1 m do solo no mínimo e 1,3 km de cabos de aterramento enterrados a 0,5 m do solo. A Fig. 7, demonstra o layout do sistema modelado:

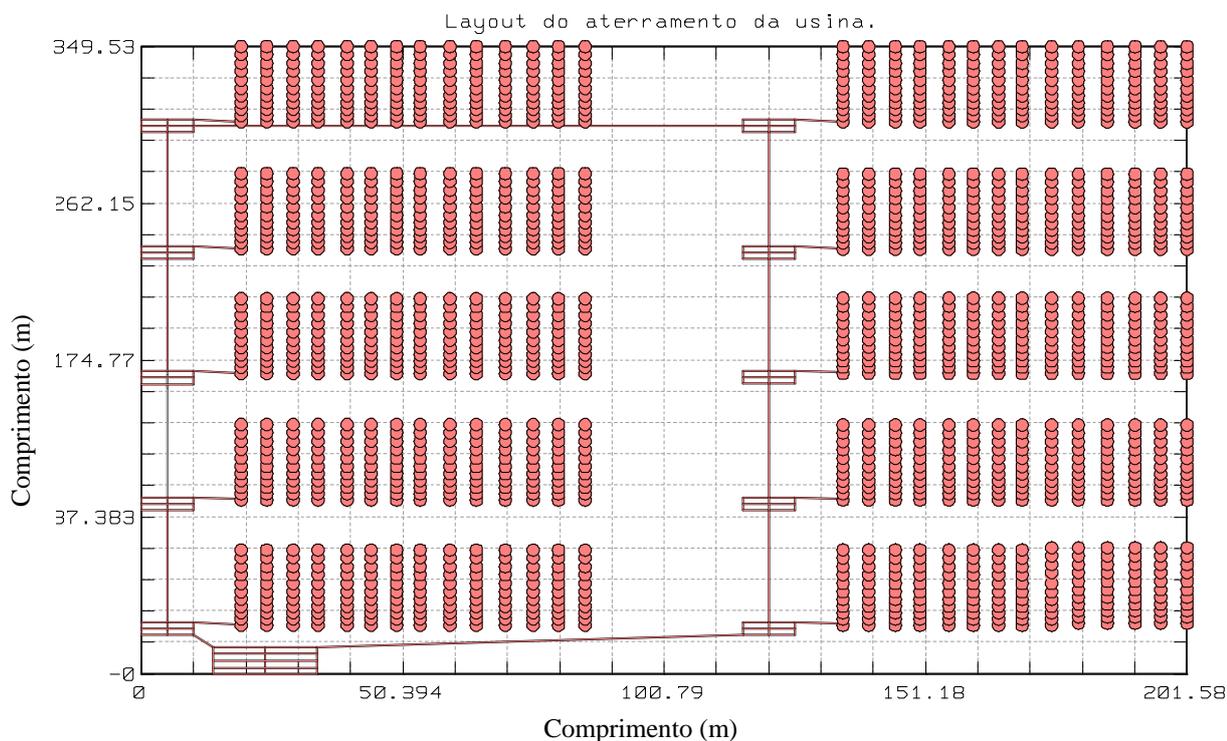


Figura 7 – Sistema de aterramento modelado no software (CYMGRD, 2016).

Para avaliação do sistema de aterramento foram utilizadas as seguintes informações:

- Espessura da camada de brita: 0 (zero);
- Peso de um ser humano: 50 kg;
- Tempo total de duração de falta: 0,5 s;
- Bitola mínima do condutor de malha de terra: 25 mm²;

e. Maior corrente de curto-circuito monofásico: 2000 A (2 kA) simétricos.

O software realizou a simulação do sistema de aterramento considerando os potenciais de toque e passo já calculados anteriormente. O gradiente de potencial mostrado a seguir, refere-se à tensão de toque esperada ao longo da superfície da área da usina solar fotovoltaica, para interpretação, é necessário referir-se à escala da Fig. 8, que os traz em cores equivalentes aos percentuais do máximo potencial de toque (224,56 V):

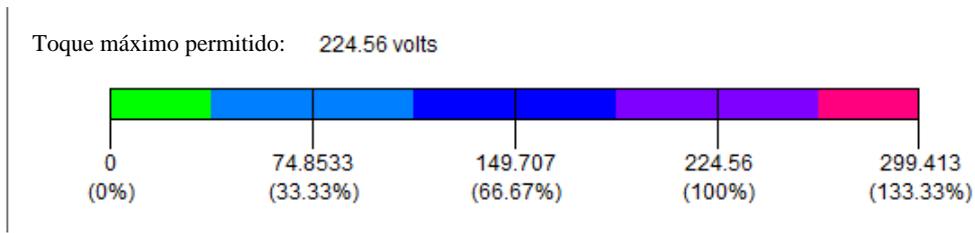


Figura 8 – Escala dos máximos potenciais de toque permitidos.

A Fig. 9 demonstra os potenciais de toque ao longo da área do sistema. Como é possível perceber, não há violações do potencial de toque em nenhuma área da usina onde o toque é possível.

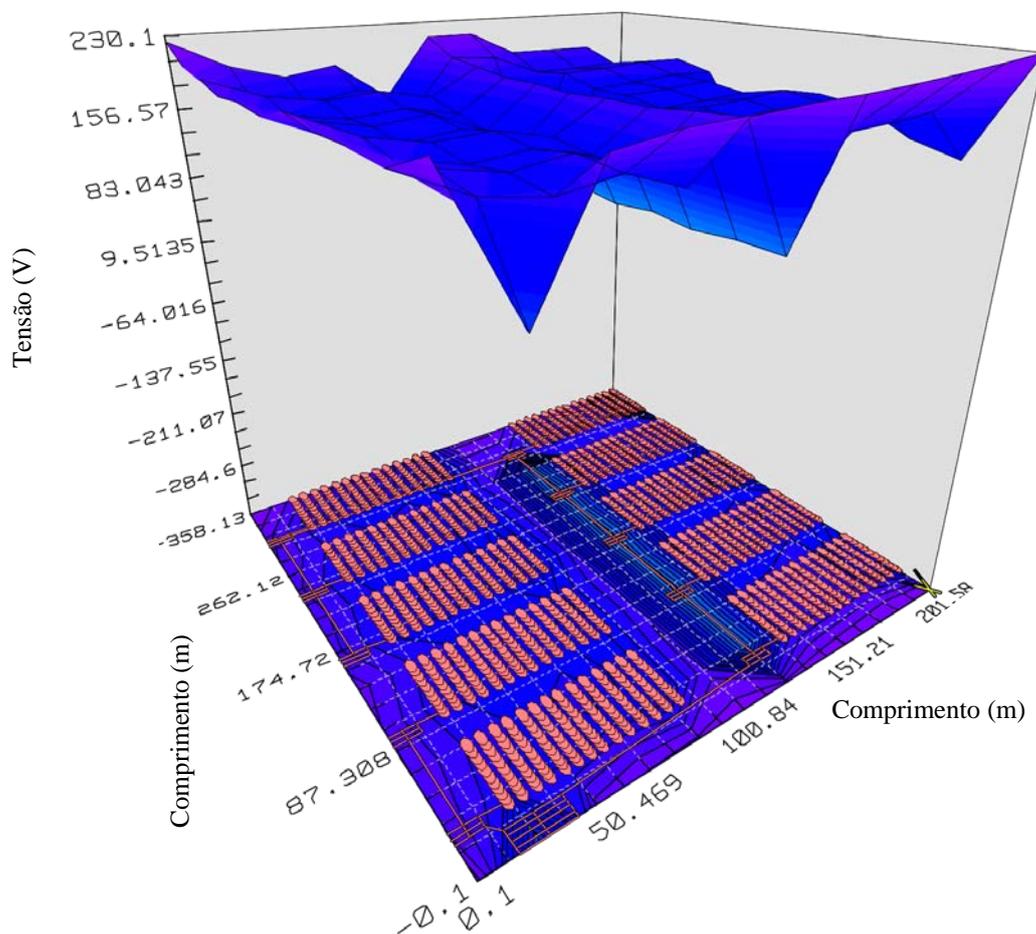


Figura 9 – Gradiente dos potenciais de toque ao longo da usina. Desenho não está em escala.

Na maioria dos casos, a tensão de toque é mais crítica que a tensão de passo. De fato, referindo-se a Fig. 10, é possível perceber que a tensão de passo máxima permissível é quase duas vezes superior à de toque em toda região do sistema. Percebe-se, desta forma, que não há nenhuma violação dos potenciais de passo e toque no sistema modelado.

5.1 Considerações sobre o sistema

O aterramento da usina, para o tipo de solo estudado, apresentou uma boa performance, garantindo à segurança dos equipamentos e pessoas. Caso não fosse possível utilizar as fundações das estruturas como hastes auxiliares condutoras, o sistema se tornaria inviável, uma vez que seria necessário acrescentar material na superfície do terreno com resistividade elevada para atingir os limites aceitáveis de toque e passo, como exemplo, brita. Porém ainda assim não seria garantida à

eficácia e segurança do sistema, sendo necessário o emprego de mais cabos e hastes de aterramento para facilitar o escoamento da corrente no terreno, aumentando assim consideravelmente o custo do empreendimento.

De maneira geral este trabalho apresentou uma performance muito semelhante aos estudos realizados por (Datsios e Mikropoulos, 2012), porém, durante as simulações foi constatado que os setores mais críticos do sistema foram suas extremidades, o que não ocorreu para o caso do estudo realizado por eles. Isto ocorre pelo fato de que é necessário o conhecimento das características do local de instalação de cada usina, onde o terreno, clima e tipo de instalação ditará a performance do aterramento. Nas simulações realizadas, infelizmente as extremidades mostraram-se um ponto fraco do sistema. Colocação de hastes neste setor e acréscimo de brita nestas áreas são uma alternativa para correção deste problema, fica claro também que caso houvesse cerca em volta do perímetro, outro estudo deveria ser realizado para garantir que as influências de potencial perigosos das extremidades da usina não seriam levados a estes pontos como cercas ou portões.

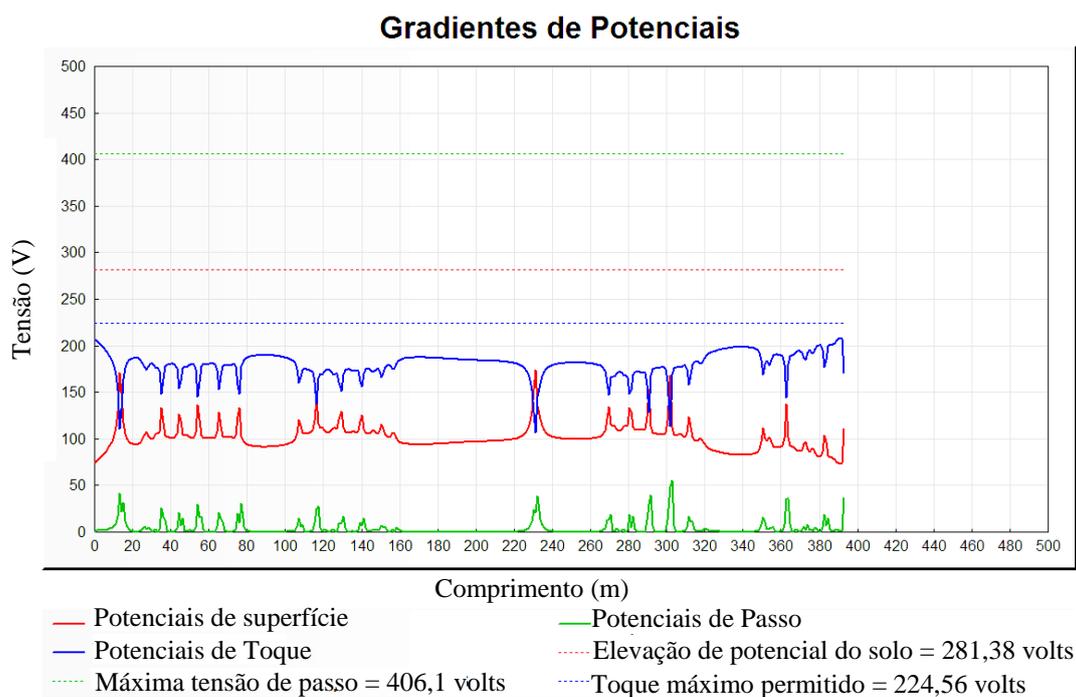


Figura 10 – Gradiente dos potenciais de toque e passo ao longo da usina.

6. CONCLUSÕES

Para o sistema estudado não houve risco de potenciais de toque e passo perigosos ao longo de toda região da usina, garantindo assim, o correto dimensionamento do aterramento e proporcionando a segurança dos equipamentos da instalação e das pessoas que nela se encontrarem.

O desenho de um sistema de aterramento em uma usina solar fotovoltaica apresenta desafios que são únicos, devido ao fato de existirem inúmeros fatores que afetam sua performance como: resistividade do solo, temperatura, umidade do local de instalação e por fim o tipo de estrutura utilizada para suporte do arranjo dos painéis, este por sua vez responsável por influenciar diretamente como um eletrodo auxiliar de aterramento ao sistema. Todos estes fatores não devem ser negligenciados ao se realizar um sistema de aterramento para uma usina solar.

Como sugestão para trabalhos futuros é indicado o desenvolvimento aprofundado das correntes de curto circuito envolvidas em um sistema deste porte e da verificação do sistema para outros modelos de solo. Ainda como sugestão é indicada a realização de uma nova simulação contendo cercas e portões ao longo do perímetro do terreno.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica, 2. ed – Brasília.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009. NBR 15749 - Medição de resistência de aterramento e potenciais na superfície do Solo.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. NBR 7171 - Medição de Resistividade e Estratificação do solo.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. NBR 16254-1 - Materiais para Sistemas de Aterramento.

- CRESESB - Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.
- Charalambous, C., Kokkinos, N., Christofides, N., 2014. External Lightning Protection and Grounding in Large-Scale Photovoltaic Applications, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Volume: 56, Issue: 2.
- CYMGRD, 2016. Programa para rápida análise e dimensionamento de malhas de aterramento. Disponível em: <<http://cyme.com/software/cymgrd/>>. Acesso em 20 de agosto de 2016.
- Datsios, Z., Mikropoulos, P., 2012. Safe grounding system design for a photovoltaic power station, MEDPOWER - 8th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024, (PDE 2024). Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores>>. Acesso em 20 de agosto de 2016.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Balanço Energético Nacional 2016, ano base 2015, (BEN 2016). Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores>>. Acesso em 20 de dezembro de 2016.
- Enrique, E., Shen, B., Hadzismajlovic, I., 2014. Considerations in the Design of Grounding System for Solar, Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE.
- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013 - Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std. 80.
- Kindermann, G, 2011. Aterramento Elétrico, LabPlan, 6ª Edição, p.03-34.
- Ma, J., Dawalibi, F., 2010. Grounding Analysis of a Solar Power Generation Facility, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific.
- Noblat, 2005. Calculation of Short-Circuit Currents. Collection Technique, Schneider Electric. No. 158.

DESIGN OF A GROUNDING SYSTEM IN A SOLAR POWER PLANT

Abstract. *Among the alternative growing sources of energy in Brazil and in the current market is the photovoltaic solar energy. Through auctions of energy in the sector and government incentives, the implementation of photovoltaic solar power plants is becoming a reality. However, there have been very few studies on the grounding system in these power plants in Brazil. Thus, the present work addresses the dimension of a grounding system based on international research, demonstrating the steps that must be taken to ensure the safety and efficacy of the system. It has been seen in this work that the grounding system designed for a fictitious solar power plant with an installed capacity production of 5MW for the municipality of Severiano de Almeida in the state of Rio Grande do Sul meets the expectations on a good performance, guaranteeing the safety, effectiveness as well as the correct dispersion of the current in the soil. The present study demonstrates parameters that directly influence the performance of a good grounding system, such as soil type, power plant arrangement and short circuit levels of the system. It has also been presented cares that should be taken and should not be neglected in the production of landfills for solar power plants of such size.*

Keywords: *Grounding System, Solar Power Plant, Dimension.*