

ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE MALHAS DE ATERRAMENTO NUM SOLO COM ALTA RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Kaiison Teodoro de Souza, Msc; Ricardo Frangiosi de Moura, Msc; Gabriel Cintra

Escola Técnica Federal de Palmas – ETFTO , AE 310 SUL, Avenida NS 10 esquina com Avenida LO 5, Centro CEP 77.021-090, Palmas – TO, Fone: (63) 3225-1205, Fax: (63) 3225-1309

E-mail: kaiison@etfto.gov.br, ricardo@etfto.gov.br, alkatraz@bol.com.br

RESUMO

O aterramento elétrico desempenha vários papéis dentro do sistema elétrico, tais como, proporcionar segurança às pessoas, escoar a corrente de descarga atmosférica para o solo; tornar o solo um condutor de retorno de corrente elétrica, dentre outros. Porém, em todos os casos o valor da resistência de aterramento possui um grau de importância, que irá depender da aplicação do sistema de aterramento. Este trabalho propõe uma análise do comportamento da resistência de aterramento para uma determinada configuração de malha, utilizando na sua confecção hastes verticais interligadas por cabos horizontais, construídas utilizando três diferentes tipos de tratamento. Dentre os tratamentos utilizados destacam-se o uso de concreto envolvendo as hastes verticais e o tratamento químico do solo. Os resultados obtidos através das medições práticas, ao longo de um período, foram analisados e comparados entre si, visando à obtenção de baixos valores de resistência de aterramento em um solo com alta resistividade elétrica e a otimização do uso de recursos disponíveis, como ferragens das fundações prediais, bases concretadas de postes, torres de linhas de distribuição e de transmissão de energia elétrica.

Palavras-chave: Aterramento elétrico, resistividade do solo, resistência de aterramento.

1. INTRODUÇÃO

O aterramento elétrico está presente em praticamente todo do sistema elétrico que vai desde a produção até o consumo da energia elétrica, desempenhando diversas funções ao longo deste processo. Independente do seu papel, ou seja, sendo o aterramento elétrico parte ativa do sistema ou um elemento do sistema que atua apenas em condições preestabelecidas, este deverá desempenhar a sua função satisfatoriamente quando solicitado. Para isso, um bom projeto é indispensável.

Com relação ao solo existem diversos fatores envolvidos que interferem direta ou indiretamente em um sistema de aterramento elétrico. Na resistividade do solo: o tipo de solo, mistura de diversos tipos de solo, solos constituídos por camadas estratificadas com profundidades e materiais diferentes, composição química dos sais dissolvidos na água. Na influência da umidade: o solo sofre alterações com a umidade, uma porcentagem de umidade maior faz com que os sais dissolvam formando um meio eletrolítico favorável à passagem da corrente elétrica. Conclui-se, portanto, que o valor da resistividade do solo acompanha os períodos de seca e de chuva de uma região. Na influência da temperatura: com o seu decréscimo e a conseqüente aglutinação da água, é produzida uma dispersão nas ligações iônicas entre os grânulos que formam concentração eletrolítica. Na influência da estratificação: os solos na sua grande maioria não são homogêneos, mas formados por diversas camadas de resistividade e profundidade diferentes.

Para ambos os distúrbios, de baixa e alta frequência, a resistividade elétrica do solo tem um papel significativo na elaboração de um projeto de aterramento, pois a resistividade elétrica do solo está ligada diretamente com a dificuldade que o mesmo apresenta para escoar as correntes elétricas indesejadas. Devido às características climáticas e da composição do solo, observa-se que na região metropolitana de Palmas-TO o solo apresenta uma resistividade elétrica relativamente alta. O que leva a elaboração de um sistema de aterramento mais detalhado, observando o grau de importância de cada grandeza elétrica envolvida no projeto de aterramento. As literaturas ABNT – NBR 5419/200, Clausen et al. (2005), Kinderman (1992), Souza (2003), Sunde (1968) e Visacro (2002) apresentam de forma detalhada a função de cada grandeza envolvida no sistema de aterramento, bem com técnicas de elaboração e construção de uma malha de terra.

Quanto ao papel do aterramento em um sistema elétrico existem outras grandezas que devem ser observadas, separadamente ou atuando em conjunto. O grau de importância de cada grandeza vai depender para qual finalidade o aterramento foi projetado. Na maioria dos projetos, o aterramento elétrico é dimensionado para atender solicitações lentas, como as correntes de curto-circuito, cuja frequência representativa desse tipo de distúrbio aproxima-se da frequência fundamental do sistema de alimentação. Como o aterramento constituído pode também estar sujeito a ocorrências associadas a fenômenos rápidos, é prática usual promover algumas correções localizadas no aterramento projetado para condições de baixas frequências, afim de ajustar a sua configuração, complementando-a para também atender às solicitações rápidas.

Este trabalho pretende analisar e comparar, através de resultados práticos, o comportamento da resistência de aterramento de uma configuração de malha composta por hastes e cabos, em um solo que apresenta uma resistividade elétrica relativamente alta. Portanto, serão utilizadas três técnicas diferentes de tratamento, buscando assim, alternativas simples e práticas para minimizar os efeitos das altas resistividades do solo, e com isto reduzir os valores da resistência de aterramento.

2. CONSTRUÇÕES DAS MALHAS DE ATERRAMENTO

Para este projeto foram construídas três malhas de aterramento, com as mesmas configurações, a partir de hastes verticais e cabos horizontais. Para cada aterramento foram utilizadas três hastes verticais, do tipo Copperweld, com diâmetro de 12,7 mm, comprimento de 2,0 m e cuja extremidade superior está a 0,15 m da superfície do solo. Cada haste foi distanciada uma da outra de 2,0 m e interligadas por cabos horizontais de cobre nu, com seção circular de 50 mm², a uma profundidade de 0,20 m da superfície do solo, como mostra a figura 1. As conexões entre as hastes verticais e o cabo horizontal foram feitas através de conectores de aperto.

As malhas foram construídas em uma mesma área, porém distantes entre si de maneira que não houvesse superposição de suas áreas de atuação, o que diferencia as três malhas de aterramento e a maneira com que cada uma foi tratada.

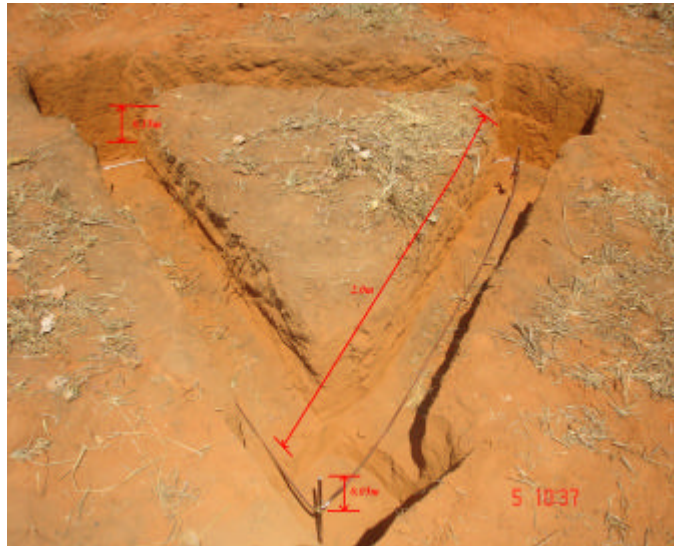


Figura 1 – Características Construtivas das três malhas de aterramento.

- **Malha de Aterramento Tradicional:** Essa malha foi construída utilizando apenas hastes verticais interligadas por cabos horizontais, sendo que nesta malha não foi realizado nenhum tipo de tratamento, tanto do solo como das hastes e cabos, conforme mostra a figura 2. Dentre as principais características deste tipo de malha destaca-se a simplicidade de sua construção, porém para solos que possui um alto valor de resistividade elétrica, o custo com material pode aumentar à medida que se deseja reduzir a resistência do aterramento.



Figura 2 – Malha de Aterramento Tradicional.

- **Malha de Aterramento com Tratamento Químico do Solo:** Nesta malha além do uso de hastes verticais interligadas por cabos horizontais, também foi feito o tratamento químico do solo através de gel despolarizante, como mostra a figura 3. O tratamento químico do solo foi feito seguindo as recomendações da Copel (1990). A vantagem do tratamento químico do solo está relacionada com a redução e estabilidade do valor da resistência de aterramento, pois neste caso utiliza-se o gel despolarizante, material que apresenta um alto grau de higroscopia. Dentre as desvantagens da utilização do tratamento químico, pode ser citada a necessidade de uma reposição periódica deste material no solo.



Figura 3 – Malha de Aterramento com Tratamento Químico do Solo.

- **Malha de Aterramento com Hastes Concretadas:** Essa malha foi confeccionada utilizando hastes verticais concretadas, cujas dimensões são (0,15 x 0,15) m, interligadas por cabos horizontais, conforme mostra a figura 4. As hastes verticais foram concretadas com a mesma mistura de concreto utilizada para confecção de postes de redes de distribuição de energia elétrica. Este tipo de aterramento simula a viabilidade do uso das ferragens das fundações de edificações, dos postes de concretos de redes de distribuição e transmissão como parte da malha de um aterramento elétrico. Porém as ferragens destas estruturas deverão ser preparadas para realizar tal função, por exemplo, as amarrações entre as ferragens deverão ser reforçadas e um terminal externo deverá ser disponibilizado para acessar as ferragens internas dessas estruturas.



Figura 4 – Malha de Aterramento com Hastes Concretadas.

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS E SEUS RESULTADOS

Após a construção das três malhas teve início às medições das resistências de aterramento, e para isto foi utilizado um terrômetro digital de quatro pontas, de acordo com o método apresentado pelo autor Kinderman (1992). Os valores das resistências de aterramento foram obtidos durante dois períodos distintos, chuvoso e seco.

Os valores da resistência de aterramento do período chuvoso foram obtidos ao longo dos meses de outubro a dezembro do ano de 2006, e são apresentados na tabela 1. No caso dos resultados correspondentes ao período seco, às medições iniciaram-se no mês de agosto de 2007, e os valores das resistências de aterramento são mostrados na tabela 2. É importante ressaltar que para ambos os períodos analisados, foram utilizadas as mesmas malhas de aterramento, as quais não sofreram nenhuma modificação a não ser da ação do tempo.

Tabela I – Valores da Resistência de Aterramento das Três Malhas, Período Chuvoso.

Medições	R [W] (Aterr. Tradicional)	R [W] (Haste Concretada)	R [W] (Trat. Químico do Solo)
02/10/2006	465	304	511
09/10/2006	461	289	588
20/10/2006	417	272	512
26/10/2006	382	252	438
03/11/2006	410	252	507
10/11/2006	361	243	411
16/11/2006	378	248	416
22/11/2006	385	261	417
08/12/2006	371	256	437
17/12/2006	380	251	412

Tabela 2 – Valores da Resistência de Aterramento das Três Malhas, período seco.

Medições	R [W] (Aterr. Tradicional)	R [W] (Haste Concretada)	R [W] (Trat. Químico do Solo)
03/08/2007	988	338	452
10/08/2007	1000	390	467
18/08/2007	1130	343	446
29/08/2007	757	360	500
05/09/2007	750	343	480

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Através dos valores das resistências de aterramento obtidos no período chuvoso e seco, mostrados nas tabelas 1 e 2 respectivamente, a partir das medições feitas nas três malhas, pode-se fazer uma análise dos resultados obtidos. Na figura 5 estão representados os valores das resistências de aterramento, das três

malhas, obtidos no período chuvoso e a figura 6 mostra o comportamento da resistência de aterramento no período seco.

Apesar das três malhas de aterramento possuir dimensões e configurações semelhantes, bem como, as condições do solo ser praticamente a mesma, os valores das resistências de aterramento das malhas tiveram comportamentos bem distintos no período chuvoso.

Observa-se pela figura 5, que a malha que utiliza hastes concretadas foi a que apresentou menores valores de resistência de aterramento e pequenas oscilações dos resultados ao longo do período analisado. Este comportamento provavelmente se deve a capacidade do concreto de reter água e de aumentar a área de contato entre a malha e o solo.

Em contrapartida, a malha que recebeu o tratamento químico do solo (ver figura 5) foi a que apresentou maiores valores de resistência de aterramento e maiores oscilações dos resultados no mesmo período. Estes resultados estão relacionados com o caráter construtivo da malha, ou seja, com a má compactação do solo.

No caso da malha de aterramento tradicional (vide figura 5) os valores relativamente altos da resistência de aterramento, bem como as oscilações destes valores neste período, já eram esperados, pois neste caso o valor da resistência de aterramento é extremamente dependente das condições do solo e de fatores climáticos da região metropolitana de Palmas-TO.

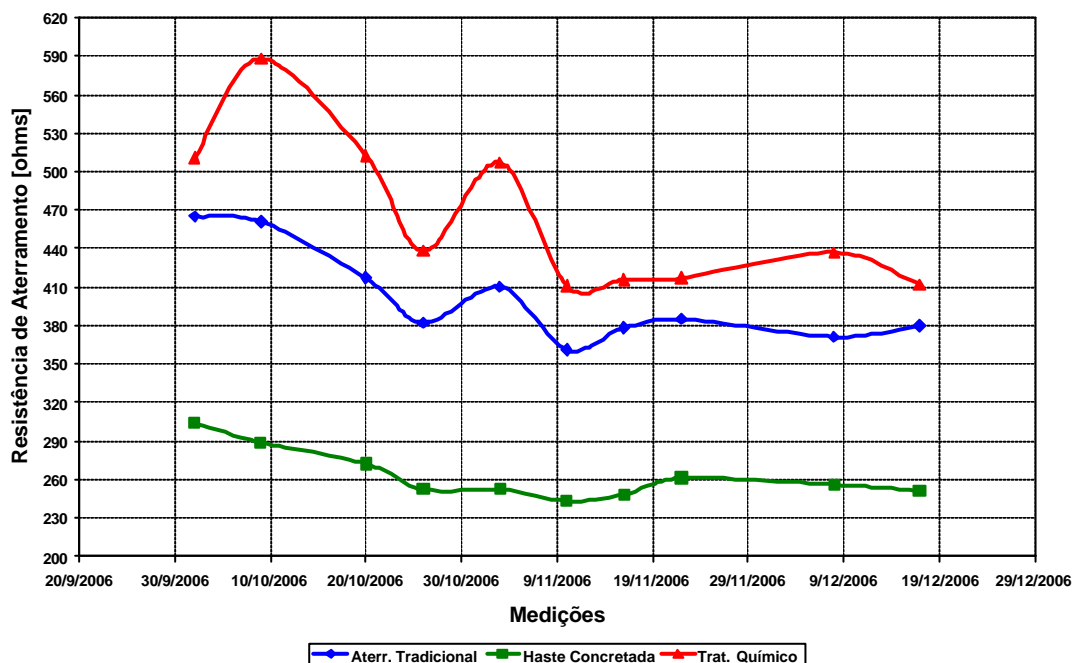


Figura 5 – Comportamento da Resistência de Aterramento no Período Chuvoso.

No período seco também observar-se um comportamento distinto dos valores da resistência de aterramento para as três malhas, apesar de possuírem as mesmas características, diferenciando apenas o tratamento.

Na figura 6, observa-se que a malha de aterramento que utiliza hastes concretadas continua apresentando os menores valores de resistência de aterramento, e menores oscilações dos resultados obtidos. Um dos principais motivos para estes valores baixos de resistência de aterramento, é que a camada de concreto que envolve a haste proporciona uma maior área de contato entre a malha e o solo.

Para este mesmo período (vide figura 6) a malha de aterramento tradicional foi a que apresentou maiores valores de resistência de aterramento e uma oscilação maior entre os resultados. Estes valores já eram esperados, pois neste caso a resistência de aterramento sofre influência direta da resistividade elétrica do solo e das condições climáticas da região.

A malha de aterramento que utiliza o tratamento químico do solo (ver figura 6) apresentou valores e oscilações da resistência de aterramento, bem menores quando comparados com a malha de aterramento tradicional. Apesar da ausência de chuvas neste período, o tratamento químico utilizando gel despolarizante, conseguiu manter um determinado nível de umidade nas proximidades da malha, provocando assim a redução e estabilidade dos valores da resistência de aterramento.

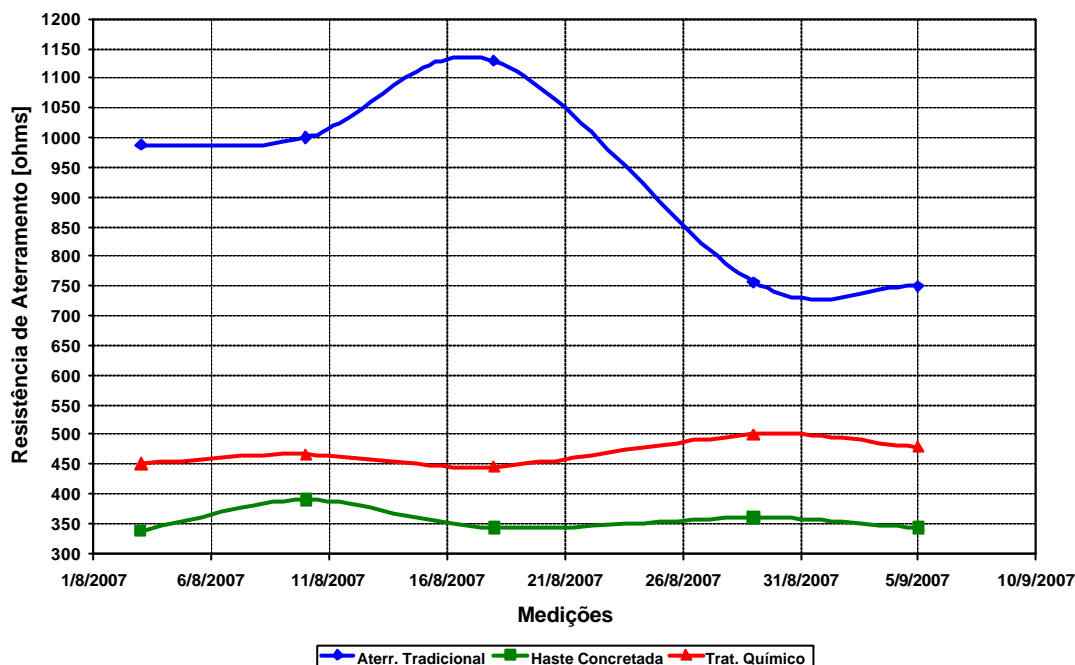


Figura 6 – Comportamento da Resistência de Aterramento no Período Seco.

Quando se compara o comportamento dos valores da resistência de aterramento das três malhas com relação ao período chuvoso e o seco, observa-se que no caso da malha de aterramento tradicional houve uma variação média de $\Delta R_{Trad} = 604,5\Omega$ entre os dois períodos, ou seja, o valor da resistência de aterramento no período seco teve um aumento médio de 158 % em relação ao período chuvoso. Para a malha de aterramento com hastes concretadas a variação média foi de $\Delta R_{Conc} = 89\Omega$, ou seja, o valor da resistência de aterramento neste caso teve um aumento médio de 35% em relação ao período chuvoso. Já a malha de aterramento utilizando tratamento químico do solo foi a que apresentou a menor variação média do valor da resistência de aterramento, cerca de $\Delta R_{Quin} = 29,5\Omega$, entre os períodos analisados, o aumento foi de 6,7 % em relação ao período chuvoso.

Uma outra observação interessante está relacionada com comportamento da resistência de aterramento da malha com o tratamento químico do solo nos períodos chuvoso e seco. Apesar de apresentar menor média de variação no valor da resistência de aterramento entre os dois períodos, no período chuvoso este tipo de tratamento foi o que apresentou os maiores valores de resistência. Um dos fatores que podem ter contribuído para a elevação dos valores da resistência de aterramento neste período, se deve a uma má compactação do solo nas proximidades da malha, tenha visto, que o aterramento foi construído no mesmo período. Porém este fator não interfere no resultado quando se compara os valores da resistência de aterramento da malha com haste concretada como os da malha com tratamento químico do solo, pois os valores obtidos são discrepantes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo as três malhas de aterramento as mesmas dimensões e configurações, e situadas em um mesmo tipo de solo, variando apenas a sua forma de tratamento e o período da realização das medições, foram obtidos valores de resistência de aterramento bem distintos. Dentre as três malhas a que apresentou menor valor de resistência de aterramento e oscilação dos resultados nos dois períodos analisados foi a que utilizou concreto

envolvendo as hastes verticais. Pode-se concluir que este fato está relacionado com a facilidade de o concreto absorver e reter água, provocando assim uma redução da resistividade elétrica do solo nas proximidades da malha. Está relacionado também com o contato entre a malha e o solo, pois o uso do concreto proporciona um aumento significativo da área de contato das hastes e o solo, reduzindo assim a chamada resistência de contato.

Apesar de o estudo estar sendo realizado com apenas uma configuração de malha de aterramento, este projeto oferece argumentos suficientes para um estudo mais aprofundado a respeito do aproveitamento de fundações prediais, das estruturas de postes de concreto das redes de distribuição, como parte integrante da malha de aterramento construída em solos com alta resistividade elétrica.

Para a região metropolitana de Palmas-TO, cujo solo apresenta altos valores de resistividade elétrica e um longo período do ano sem chuva o uso das ferragens das fundações prediais e das estruturas metálicas dos postes de concreto como parte da malha de aterramento, irá reduzir significativamente os custos com material e mão de obra.

REFERÊNCIAS

ABNT – NBR 5419/2000. **Proteção de Edificações Contra Descargas Atmosféricas**.

CLAUSEN, W.; FACCIONI, M.; RAIZER, A L.; COELHO, V. **Nova Técnica de Aterramento para Sistemas de Distribuição de Energia**. Revista Eletricidade Moderna, nº 381, pp 110/125. Dezembro/2005.

COPEL. **Manual de Aterramento. Departamento de Linhas de Transmissão**. Curitiba, 1990.

KINDERMAN, G. **Aterramento Elétrico**. 4º ed., Editora Sagra – DC Luzzatto, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, K. T. **Resistência e Potenciais Elétricos para um Aterramento Situado na Primeira Camada Considerando o Solo com Qualquer Número de Camadas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Fevereiro 2003.

SUNDE, E. D. **Earth Conduction Effects in Transmission Systems**. Donver Publications, inc., New York, 1968.

VISACRO, S. F. **Aterramentos Elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofia de aterramento**. São Paulo, Artlizer Editora, 2002.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Ensino e Pesquisa da Escola Técnica Federal de Palmas – ETFTO pelo apoio e incentivo à pesquisa em nossa instituição.