

ATERRAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZANDO CONCRETO E SERRAGEM COMO ISOLANTE ELÉTRICO

Bruno Henrique de Sousa Tabosa Lopes¹

Marcos Vinicius Nunes Gonçalves²

Orientador: Dr. Vailton Alves de Faria³

Coorientador: Ms. Caio César Costa Martins⁴

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de um sistema de aterramento experimental utilizando hastes envolvidas em concreto e serragem, onde constituirá na mensuração e comparação da resistência elétrica com um aterramento convencional. Foi abordado o estudo acerca de resistência da terra, tipos de aterramento e características que influenciam a resistência do solo. Vislumbra-se com esse trabalho uma redução de valores da resistência para o mesmo aterramento convencional.

Palavras-chaves: Aterramento, concreto, serragem, isolante elétrico.

ABSTRACT

This work presents the construction of an experimental grounding system using stems wrapped in concrete and sawdust, where it will be the measurement and comparison of electrical resistance with a conventional ground. In this work the study about soil resistance, types of grounding, and characteristics that influence soil resistance were discussed. This work shows a reduction of resistance values for the same conventional ground.

Keywords: Grounding, concrete, sawdust, electrical insulation.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica – Faculdade Católica do Tocantins. E-mail: brunotabosa1@gmail.com

² Graduando em Engenharia Elétrica – Faculdade Católica do Tocantins. E-mail: marcosvng101@gmail.com

³ Doutor em Ciências do Ambiente, Professor orientador – Faculdade Católica do Tocantins. E-mail: vailton@catolica-to.edu.br

⁴ Mestre em Engenharia de Eletricidade, Coorientador. E-mail: caio.martins.eng@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O sistema de aterramento é substancial para o desempenho das instalações elétricas e responsável pela segurança de quem faz uso dessa determinada instalação. Assim, para compreender sobre o estudo de aterramento é essencial assimilar o conceito de resistência do solo que consta na norma NBR 5410/2004, que apresenta alguns critérios específicos sobre segurança residencial. Dentre estes critérios pode-se citar:

- Prover um “acesso” elétrico para o defluência de correntes normais e anormais para a terra;
- Assegurar que pessoas que estejam nas proximidades de uma instalação energizada não corram, em circunstância alguma, risco sobre a vida devido a choques elétricos inesperados.

Os Estados Unidos, durante a segunda guerra mundial, necessitavam de um aterramento confiável em seus depósitos para evitar a detonação de explosivos durante a ocorrência de descargas atmosféricas. A técnica de envolver a haste de aterramento em concreto foi criada pelo engenheiro Hebert Ufer, em 1941 (FAGAN; LEE, 1970). Este tipo de aterramento é conhecido na literatura como aterramento UFER. Os resultados de Ufer consideram que o metal encapsulado com concreto atua como eletrodo de aterramento eficaz. Esse projeto foi realizado em três etapas: construção, medição e comparação de um novo aterramento. A haste de aterramento padrão de acordo com a norma NBR 5410 possui comprimento 2,4 metros os de comprimento e 5/8” de diâmetro será concretada com uma mistura especial, tendo como agregado serragem da madeira pinus tropical. Com isso, reaproveita-se a madeira em forma de serragem como agregado miúdo em nosso sistema de aterramento. A questão oportuna: será que usando agregado de serragem com o concreto no sistema de aterramentos pode-se assegurar a integridade da instalação, das pessoas e entre outros, após uma descarga e ou contatos indiretos.

Para que um Sistema de Energia Elétrica opere corretamente, com uma adequada continuidade de serviço, com um desempenho seguro do sistema de proteção e, mais ainda, para garantir os limites (dos níveis) de segurança pessoal, é fundamental que o quesito Aterramento mereça um cuidado especial. Esse cuidado deve ser traduzido na elaboração de projetos específicos, nos quais, com base em dados disponíveis e parâmetros pré-fixados, sejam consideradas todas as possíveis condições a que o sistema possa ser submetido.

Os objetivos principais do aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível, para correntes de falta a terra;
- Fazer que equipamentos de proteção sejam sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra;
- Proporcionar um caminho de escoamento para a terra de descargas atmosféricas;
- Escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

Segundo Bezerra (2011) o objetivo do aterramento elétrico é proporcionar uma superfície equipotencial no solo dentro dos valores aceitáveis, ou seja, os valores de gradientes de tensão que aparecem na superfície do solo deverão estar dentro dos limites suportáveis por animais e seres humanos conforma a NBR 14039, 2005.

Uma instalação elétrica residencial de baixa tensão, por exemplo, deve estar protegida a fim de garantir o funcionamento adequado dos sistemas de proteção contra choques elétricos, sobre tensões, descargas atmosféricas, descargas eletrostáticas e também dos equipamentos de tecnologia de informação.

Este trabalho vislumbra-se comparar o uso do concreto e serragem de madeira como isolante elétrico no aterramento elétrico, por meio de estudo quanto as propriedades de isolamento de aterramento na terra, estudo da relação entre impedância e o funcionamento do aterramento e por fim realizar aferições de resistividade do solo e resistência do aterramento.

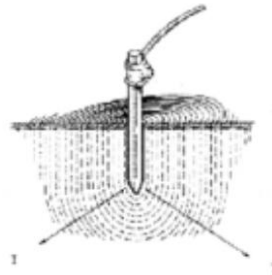
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sistema elétrico de potência tem função precípua de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada.

O aterramento é constituído basicamente por:

- Conexões elétricas que ligam ponto do sistema aos eletrodos;
- Eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);
- Solo que envolve os eletrodos.

Figura 1: Constituição de um aterramento.



Fonte: FILHO (2002).

Nesse contexto, conforme o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – IEEE (Std 134-2007, p.12) define um sistema aterrado no qual pelo menos um condutor é intencionalmente aterrado, frequentemente o condutor neutro dos enrolamentos do transformador, seja solidamente ou através de uma impedância.

Tal “Impedância de Aterramento” pode ser conceituada como a oposição oferecida pelo solo a injeção de uma corrente elétrica no mesmo, através dos eletrodos, e expresso quantitativamente por meio da relação entre a tensão aplicada ao aterramento e a corrente resultante.

O valor da resistência de aterramento pode ser quantificado pela relação entre a tensão aplicada a um aterramento e a corrente resultante, como mostrado na equação 1 abaixo (FILHO, 2002).

$$Rt = \frac{V}{I} \quad \text{Eq.1}$$

A vantagem da utilização das armaduras do concreto que fica sob o nível do solo, mantendo sempre certo grau de umidade, assim seu valor de resistividade é baixo, comumente muito menor do que o valor do próprio solo onde está sendo construído o sistema de aterramento. Portanto, contribui para a redução da resistência de terra, com conseqüente diminuição das diferenças de potencial de toque e de passo.

O concreto é um material composto de cimento, areia, pedras britadas e água, além de outros materiais eventuais, tais como aditivos. O concreto é higroscópico, ou seja, absorve umidade rapidamente e perde lentamente. Para uma haste nua de cobreada, o valor da resistência do solo pode ser alcançado pela equação 2:

$$Rat = \frac{\rho a}{2\pi \times L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad \text{Eq.2}$$

Em que:

Rat = Resistência da terra (Ω)

ρa = Resistividade aparente do solo ($\Omega.m$)

L = Comprimento da haste (m)

d = Diâmetro da haste (m)

O solo possui propriedades elétricas que são determinantes para o dimensionamento dos condutores, pois é o meio no qual ficarão imersos as hastes ou eletrodos de aterramento. A resistividade do solo é definida como a resistência elétrica medida entre as faces de um cubo de solo homogêneo, com arestas iguais a 1 metro, sua unidade é $\Omega.m$ (FILHO, 2002).

O solo em seu estado natural é um mau condutor de eletricidade, com resistividade na faixa de 100 a 1.000 $\Omega.m$, enquanto que a resistividade do cobre é de $1,67 \times 10^{-8} \Omega.m$, ou seja, da ordem de um bilhão de vezes menor. Vale citar que a faixa de resistividade mencionada se constitui apenas em uma referência, pois, em

locais específicos, os valores de resistividade podem afastar-se muito das médias regionais (LEITE; FILHO, 1996) e (FILHO, 2002).

Na tabela 1 são mostrados alguns valores típicos de resistividade do solo em algumas regiões do Brasil.

Tabela 1: Resistividade do solo de algumas regiões do Brasil

Região	Valores típicos de resistividade do solo ($\Omega.m$)
Minas Gerais	2.450
São Paulo	700
Paraná	200 – 1.000
Mato Grosso	500 – 2.000
Pernambuco	100 – 2.000

Fonte: FILHO (2002).

Segundo (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1992), os tipos de solo não são claramente definidos, então, não é possível atribuir-lhe um valor de resistividade. Entretanto, é possível caracterizar faixas de valores característicos para os diversos tipos de solo, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de resistividade de alguns tipos de solos

Tipos de solo	Resistividade ($\Omega.m$)
Solos aráveis	50 a 500
Argila	300 a 5.000
Areia	1.000 a 8.000
Calcário	500 a 5.000
Granito e Arenito	100 a 10.000

Fonte: Kinderman, 1998.

Conforme visto na tabela 2, dependendo do tipo de solo que será empregue no aterramento, a resistividade elétrica do mesmo pode variar de 50 a 10.000 Ω .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal foco deste trabalho é a construção, medição, e comparação do aterramento com hastes concretadas e serragem como agregado, que reside duas

hastes de aterramento de 2,4 m, concretada com um concreto tendo agregado serragem de madeira

3.1 Haste cobreada Copperweld

As hastes empregue neste trabalho segue a norma ABNT NBR 13571 (1996):

- Número de haste: 2.
- Diâmetro: 5/8".
- Comprimento: 2,4 m.
- Conexão: 2 grampos para haste em aço estanhado cobreado.

Figura 2: Haste Copperweld.



Fonte: Sant' Anna, 2005.

3.2 Terrômetro

O terrômetro é um instrumento utilizado para medir a resistência de terra, que pode ser usado tanto para medição de resistência de aterramento como para medição das tensões espúrias geradas pelas correntes parasitas no solo. O terrômetro utilizado no trabalho experimental da marca Minipa modelo MTR-1530, conforme figura abaixo.

Figura 3: Terrômetro MTR-1530.



Fonte: Minipa, 2018.

O instrumento e composto por:

- 3 cabos de teste: 1 na cor verde conectado ao aterramento, 1 na cor amarelo e 1 na cor vermelha ambas deve ser conectada nas estacas no solo.
- 2 estacas auxiliares: 1 estaca deve ser conectada no cabo de teste de cor amarela e outra estaca conectada no cabo de teste de cor vermelho.

3.3 Concretagem

Nesta subseção serão determinados termos e requisitos para a preparação do concreto utilizado no trabalho.

3.3.1 Agregados

São materiais que, no início do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à pasta (cimento mais água), para dar-lhe consistência e volume, tornando-a mais econômica. Hoje eles representam cerca de 80% do peso do concreto e 20% do custo. Além de sua influência benéfica quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto.

3.3.2 Serragem de madeira

Para esse trabalho, foi adotado empregar a serragem da madeira pinus tropical, de fina espessura, doado de uma serralheria na cidade de Palmas – TO.

Segundo Moura & Santiago (1991) a densidade média do pinus tropical é de 0,342 g/m² de procedência estabelecidos em região do cerrado.

3.3.3 Traço do concreto

O traço é a proporção da mistura que compõe a argamassa ou concreto. O traço utilizado no trabalho:

- 13,5 litros ou 12,5% de cimento Tocantins Votorantim CP II-Z-32 de 1400 kg/m³;
- 13,5 litros ou 12,5% de areia fina;
- 60,75 litros ou 37,5% de pedra (brita n° 1);

- 40,5 litros ou 25% de serragem de pinus tropical;
- 13,5 ou 12,5% de água.

É possível constatar que o traço empregado apresenta quantidades de agregados pedra e serragem maior do que a argamassa. A mistura foi colocada numa betoneira no Laboratório de materiais da Católica do Tocantins e misturado por aproximadamente 10 minutos, onde a água foi sendo adicionado aos poucos até obter o ponto de consistência desejado sem encharque.

O concreto foi fabricado no Laboratório de materiais da Católica do Tocantins no dia 27 de outubro as 13 horas, como mostra as imagens a seguir.

Figura 4: Serragem de pinus tropical.



Figura 5: Pedra (brita nº 1).



Figura 6: Materiais sendo misturados na betoneira.



3.4 Enchimento dos buracos

Logo após a fabricação do concreto, foi despejado nos buracos conforme imagens abaixo.

Figura 7: Buraco preenchido com concreto fabricado e haste no centro.



Figura 8: Hastes linear preenchidas com concreto fabricado.



4. RESULTADOS

O solo escolhido para suceder com trabalho experimental foi próximo ao edifício da escola politécnica no campus 1 da Católica do Tocantins, adjacente ao estacionamento do subsolo do mesmo. Prosseguindo com trabalho experimental os requisitos para escolha do local foram os seguintes: sem interferência de eletrodutos próximos, longínquo da malha de aterramento do edifício.

4.1 Medidas da resistência da terra antes da concretagem

A tabela 3 refere as medições tomadas no dia 27 de outubro por volta de 10 horas, com temperatura de 26° C e com solo úmido devido no dia anterior ocorrido uma chuva na região.

Tabela 3: Medidas do solo antes da concretagem, em 27/10.

	L ₁ (m)	L ₂ (m)	R (Ω)
Medição 1	5	10	573
Medição 2	3	6	570
Medição 3	2	4	567
Medição 4	1	2	562
Média			568

A medição tomada no dia 27 de outubro decorreu no mesmo dia em que houve a produção do concreto e enchimento dos buracos, porém a medição ocorreu no período matutino.

Pode-se notar o valor médio da resistividade do solo antes da concretagem de 568 Ω, isso deve-se ao fato da predominância de solo argiloso, sendo o mais comum nas terras brasileiras, característica desse solo é alta densidade quando não

há presença de água decorrentes de chuvas ou fonte por perto, quando ele se torna mais viscoso.

4.2 Medidas da resistência da terra após a concretagem

Logo após a concretagem realizada no dia 27/10, sucedeu com a primeira medição do aterramento com hastes concretadas realizada no dia 30/10 as 12 horas com temperatura de 31°C com solo parcialmente úmido, segunda medição decorreu no dia 03/11 as 14 horas com temperatura de 30°C com solo seco, a terceira medição decorreu no dia 10/11 as 10 horas com temperatura de 28°C com solo úmido, conforme tabela 4, 5 e 6.

Tabela 4: Medidas do solo após a concretagem, em 30/10.

	L ₁ (m)	L ₂ (m)	R (Ω)
Medição 1	1	2	4,49
Medição 2	1,5	3	4,49
Medição 3	2,5	5	5,20
Medição 4	4	8	5,51
Medição 5	5	10	6,34
Média			5,20

Tabela 5: Medidas do solo após a concretagem, em 03/11.

	L ₁ (m)	L ₂ (m)	R (Ω)
Medição 1	1	2	5,01
Medição 2	1,5	3	5,02
Medição 3	2,5	5	5,38
Medição 4	4	8	5,59
Medição 5	5	10	7,17
Média			5,63

Tabela 6: Medidas do solo após a concretagem, em 10/11.

	L ₁ (m)	L ₂ (m)	R (Ω)
Medição 1	1	2	4,41
Medição 2	1,5	3	4,49
Medição 3	2,5	5	5,18
Medição 4	4	8	5,40
Medição 5	5	10	6,03
Média			5,16

É possível notar os valores das três medições realizadas logo após a concretagem, com média de $5,33 \Omega$, havendo uma redução de aproximadamente 99,06 %, isso em razão da característica hidrocópica do concreto associado a madeira pinus tropical.

O gráfico 1 e 2 permite visualização das medições obtidas antes e após o aterramento concretado com suas respectivas distâncias, representadas por suas datas, em que a distância é a diferença dos pontos L_2 e L_1 em metros.

Gráfico 1: Aterramento Concretado.

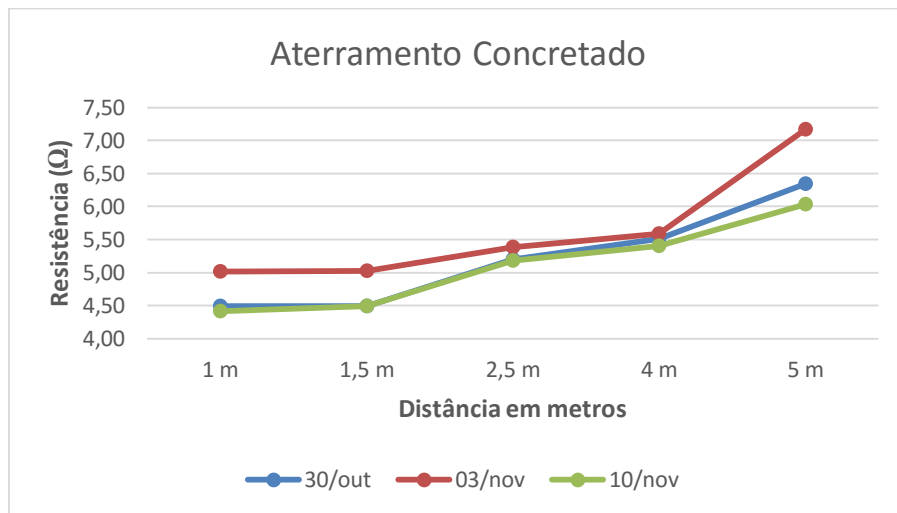
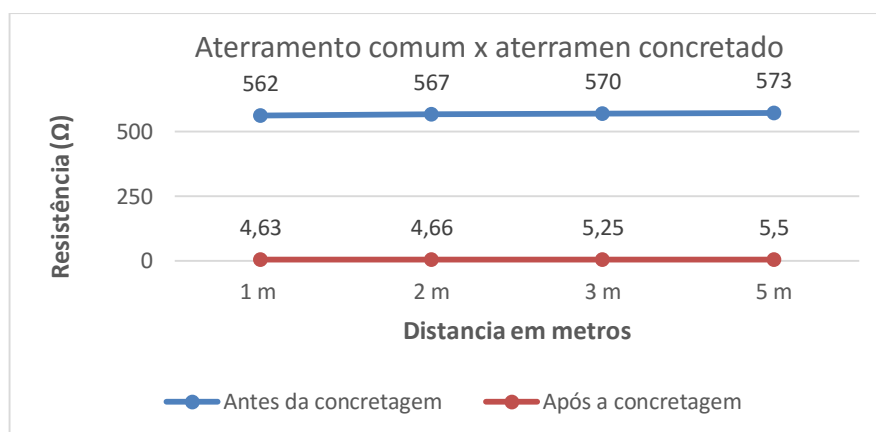


Gráfico 2: Comparativo dos valores de resistência do aterramento.



O gráfico 2 possibilita a visualização da aplicabilidade do aterramento concretado com serragem da madeira pinus tropical, em que o solo argiloso é predominante na região da realização do trabalho.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar a resistência da terra de um aterramento experimental feito com concreto e serragem de pinus tropical. Para isto, foi feito todo um estudo bibliográfico dos conceitos de resistividade, como resistividade do solo, resistência de um condutor, bem como artigos e publicações que tratam especificamente sobre aterramento elétrico e, por fim, o preparo e a composição do concreto empregado.

As aferições iniciaram em outubro no aterramento elétrico experimental, permitindo antes fazer as medições no solo comum, onde viabilizou uma comparação. Tal como é possível notar os valores das medições que ocorreram no solo comum, com média de 568Ω , foi reduzido no aterramento experimental para $5,33 \Omega$, isto é, ocorrendo um decréscimo significativo. Uma das causas que evidenciam a visível redução da resistência elétrica do aterramento experimental é a higroscopia do concreto aliada a serragem da madeira pinus tropical. Higroscopia é a propriedade que determinados materiais possuem de absorver água.

Por fim, as principais conclusões obtidas no trabalho são apresentadas a seguir:

- a) O aterramento elétrico experimental concretado com serragem da madeira pinus tropical, que inclui uma haste cobreada ao centro, apresentou valores de resistência elétrica menores que um aterramento elétrico comum, à partida como opção para projeto de aterramento eficaz.
- b) É possível notar o valor monetário desse aterramento é inferior comparado a outro aterramento, visto que a serragem é considerada como matéria de descarte ou reaproveitável, o que concebe seu custo seja bastante reduzido ou até mesmo inexistente.

Sugestões para trabalhos futuros;

- a) Analisar quanto o emprego de outros materiais, além do concreto, que possam ser utilizados para envolver as hastes nos sistemas de aterramento.
- b) Verificação de alteração das composições do concreto e também da serragem.

6. REFERÊNCIAS

1. ABNT, NBR. 13571: Haste de aterramento aço-cobreada e acessórios, 2005.
2. ABNT, NBR. 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0kV a 36,2kV, 2005.
3. ABNT, NBR. 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
4. BEZERRA, Sergio Ricardo Campos. Avaliação de sistemas de aterramento considerando a utilização de condutores e hastes envolvidos em concreto/ Sergio Bezerra Ricardo Campos, orientador Arnaldo Gakiya Kanashiro – São Paulo, 2011.
5. FAGAN, E. J.; LEE, R. H. The use of concrete-enclosed reinforcing rods as grounding electrodes. IEEE Trans. Power Delivery, v. 6, n. 4, p. 337-348, Jul./Aug., 1970.
6. FILHO, S. V. Aterramentos elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento. [S.l.]: Artliber, 2002.
7. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std 142-2007: Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, 2007.
8. KINDERMANN, G. & CAMPAGNOLO, J. M. Aterramento Elétrico 3º edição, Editora SagraDC Luzzatto Editores, 1992.
9. KINDERMAN, G. Aterramento elétrico. 4 ed., Porto Alegre: Editora Sagra, 1998.
10. LEITE, C.; FILHO, M. P. Técnicas de aterramentos elétricos: cálculos, projetos e softwares para aterramentos elétricos. [S.l.]: São Paulo: Oficina de Mydia, 1996.
11. MOURA, V.P.G; SANTIAGO, J. Densidade básica da madeira de espécies de Pinus tropical determinada através de métodos não-destrutivos. Planaltina: EMPRAPA-CPAC, 1991. 14p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 33).
12. Sant' Anna, Cezar José. Estudo do desempenho de sistemas de aterramento frente às descargas atmosféricas em instalações de baixa e média tensão. Cesar José Sant' Anna. – Bauru [s.n.], 2005. 111p.
13. Minipa, Terrômetro MTR-1530, 2018. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/ferramentas-eletricas/terrometros/67-mtr-1530>>. Acesso em: 10 de nov. de 2018.