

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

TIAGO DE BRITO THOMÉ

**COMPARAÇÃO ENTRE ATERRAMENTO EM HASTE NA VERTICAL E
CONDUTOR ENTERRADO NA HORIZONTAL EM FORMA DE CÍRCULO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2019

TIAGO DE BRITO THOMÉ

**COMPARAÇÃO ENTRE ATERRAMENTO EM HASTE NA VERTICAL E
CONDUTOR ENTERRADO NA HORIZONTAL EM FORMA DE CÍRCULO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Esp. Carlos Alberto Paschoalino

Co-orientador: Prof. Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio

CORNÉLIO PROCÓPIO
2019



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Tiago de Brito Thomé

Comparação entre Aterramento em Haste na Vertical e Condutor Enterrado na Horizontal em Forma de Circulo

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:40hs do dia 23/05/2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Coorientador)

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva - (Membro)

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tem me oferecido, inclusive pela oportunidade de chegar ao final deste curso, pois muito me ajudou a trilhar esta caminhada.

Agradeço aos meus pais Adiel e Miriam, que sempre me incentivaram durante esta jornada ao longo destes anos. Ao meu irmão Filipe, aos meus tios, tias e demais familiares que, de certo modo, também cooperaram para que chegasse até esse momento.

Agradeço aos professores Esp. Carlos Alberto Paschoalino e Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio pelo apoio, confiança e paciência na orientação deste trabalho, aos professores da banca examinadora, ao Prof. Dr. Luiz Marcelo Chiesse da Silva e ao Prof. Esp. José Roberto Shimazaki pelas contribuições dadas. A todos os servidores da UTFPR e professores que me transmitiram muitos ensinamentos, Marilu Martens Oliveira, Marcelo Castoldi, Gabriela Shiguemoto, Murilo da Silva, Maria Eugenia Dajer, Pedro Carvalhães Dias, Luiz Buzachero, Carla F. Machado, Lígia Bitencourt, João César de Paula Salve, Tatiane Martins, Joana D'arc, Celso Naves, João Sartori, Adriano e Adailton Borges.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam na graduação, e também aqueles que fui conhecendo no decorrer dela, que, por serem tantos, nem me lembrarei o nome de todos para citá-los aqui. Aos meus amigos de infância e adolescência que, mesmo distantes fisicamente continuam presentes em minha memória, Walter Vinícius, Matheus Cesário, Victor Hugo Silvestre, Lucas Alberto, entre outros.

RESUMO

THOMÉ, Tiago de B. **Comparação entre aterramento em haste na vertical e condutor enterrado na horizontal em forma de círculo.** 2019. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Os sistemas de aterramento elétrico, possuem a função de proteger instalações e equipamentos elétricos, além da vida das pessoas que possam estar em contato com eles. A redução da resistência de aterramento é um dos fatores principais para melhorar a qualidade e segurança das instalações. Este trabalho compara a resistência de terra de três hastes em paralelo, com a de um condutor enterrado na horizontal na forma de círculo, realizando também medições de temperatura, umidade e pH do solo, para o monitoramento do mesmo.

Palavras Chave: Resistência de aterramento. Medições. Fatores climáticos. Resistividade. Solo

ABSTRACT

THOMÉ, Tiago de B. **Comparison between grounding in vertical rod and conductor buried horizontally in the form of a circle.** 2019. 54 p. Graduation Work (Undergraduate) – Electrical Engineering. Federal Technology University of Parana. Cornélio Procópio, 2019.

Electrical grounding systems have the function of protecting electrical installations and equipment, as well as the lives of people who may be in contact with them. Reducing ground resistance is one of the key factors in improving the quality and safety of installations. This work compares the ground resistance of three parallel rods with that of a conductor buried horizontally in the shape of a circle, also performing measurements of soil temperature, humidity and pH for the monitoring of the same.

Keywords: Grounding resistance. Measurements. Climatic factors. Resistivity. Ground. Soil

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperaturas para o primeiro mês de medição.....	32
Gráfico 2: Temperaturas para o segundo mês de medição.....	32
Gráfico 3: Umidades para o primeiro mês de medição.....	33
Gráfico 4: Umidades para o segundo mês de medição.....	34
Gráfico 5: Resistências de Terra para o primeiro mês de medição.....	35
Gráfico 6: Resistências de Terra para o segundo mês de medição.....	35
Gráfico 7: Resistividades para o primeiro mês de medição.....	36
Gráfico 8: Resistividades para o segundo mês de medição.....	36
Gráfico 9: Níveis de pH para o primeiro mês de medição.....	37
Gráfico 10: Níveis de pH para o segundo mês de medição.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Malha de aterramento e uma subestação	20
Figura 2: Dispersão radial da corrente.	23
Figura 3: Um ponto sob a superfície de solo homogêneo.	24
Figura 4: Disposição das hastes para o Método de Wenner.....	25
Figura 5: Local de medição na UTFPR	27
Figura 6: Conjunto de hastes em paralelo.....	28
Figura 7: Condutor em formato circular enterrado no solo	28
Figura 8: Terrômetro modelo POL-36 da Politerm	29
Figura 9: Medidor de Temperatura e Umidade do Solo.....	30
Figura 10: Medidor de pH do solo	30
Figura 11: Procedimento de Medição.....	31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Motivação	15
1.2.	Objetivos	16
1.3.	Justificativa	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1.	Sistemas de Aterramento	18
2.2.	Eletrodos de Aterramento Elétrico	19
2.3.	Resistividade do solo	20
2.4.	Resistência de Terra	21
3.	METODOLOGIA DE MEDIÇÃO E RESULTADOS	27
3.1.	Local de Experimentação	27
3.2.	Descrição do local dos sistemas de aterramento	27
3.3.	Instrumentos Utilizados	29
3.4.	Coleta de Dados	31
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
4.1.	Trabalhos Futuros	38
4.2.	Resultados	38
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A	42
	APÊNDICE B	44
	APÊNDICE C	46
	APÊNDICE D	48
	APÊNDICE E	50

1. INTRODUÇÃO

Este tópico trata sobre o conteúdo introdutório deste trabalho de conclusão.

1.1. Motivação

O aterramento é caracterizado como uma ligação de certa impedância à massa terrestre, usualmente adotada como referência de tensão para todos os circuitos. Com a finalidade de escoar as correntes de falta ou as descargas atmosféricas, a conexão entre a fonte do sistema até o solo se dá para que estes fenômenos sejam atenuados, desviando o percurso da corrente elétrica. Trata-se de um item essencial e obrigatório em normas brasileiras, como por exemplo a norma NBR 5410/2004.

O aterramento é de essencial importância em um sistema de distribuição de energia elétrica, caracterizando uma ligação intencional à terra com o objetivo de fornecer à instalação um caminho de impedância adequada por onde circula uma corrente elétrica, decorrente de uma falta ou de uma descarga atmosférica (BEZERRA, 2011).

Para satisfazer a segurança de qualquer sistema de energia elétrica é essencial que o sistema de proteção seja projetado corretamente, bem como, é fundamental que seja implantado um sistema de aterramento. Kindermann e Campagnolo (2011) enfatizam que os principais quesitos que devem estar presentes em um sistema de aterramento são:

- Menor resistência de terra possível para o caminho de correntes de falta à terra;
- As correntes de falta com potenciais dentro dos limites de segurança, impossibilitando a fibrilação do coração humano;
- Os equipamentos de proteção sensíveis com isolamento das falhas à terra;
- Caminho para as descargas atmosféricas escoarem para a terra;
- O uso da terra como retorno de corrente no sistema MRT (monofilar com retorno por terra);

- Escoamento de cargas estáticas geradas por carcaças metálicas de equipamentos.

A NBR 5419/2001 recomenda para eletrodos uma resistência de 10Ω , a fim de garantir que a corrente de uma descarga atmosférica disperse pelo solo sem causar sobretensões adjacentes e perigosas. Essa recomendação é dada mesmo salientando que a resistência de aterramento é menos importante que o arranjo e o subsistema, porém é uma forma de reduzir os gradientes de potencial no solo e as chances de centelhamento perigoso. A corrente elétrica drenada ou absorvida por um sistema de aterramento se dá através de uma resistividade aparente que o solo apresenta à haste utilizada no aterramento.

A partir de um estudo comparativo, este trabalho pretende apontar um método alternativo da disposição geométrica do conjunto, que possa ser implantado em sistemas de aterramento diversos, melhorando a qualidade, segurança dos sistemas de energia elétrica, quando confrontado com os sistemas de aterramento convencionais.

1.2. Objetivos

Este tópico visa expor o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo entre o método convencional de implantação de um sistema de aterramento e outro método que compreende o uso de condutores de aterramento de cobre, em formato circular, inseridos no solo. Por fim, comprovar a economia, qualidade e eficiência devido à menor resistência de terra para os casos propostos neste trabalho.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar medições da resistência de terra de uma haste (convencional) cobreada;
- Realizar medições da resistência de terra de um condutor circular;
- Analisar os resultados provenientes de hastes de aterramento de cobre e aço zincado, de maneira convencional e a do condutor circular.
- Efetuar uma descrição comparativa dos dois tipos de situações, apontando a maneira que possibilitou melhores resistências de terra, sendo a mais vantajosa em termos econômicos e qualitativos para os sistemas elétricos.

1.3. Justificativa

As condições dos equipamentos elétricos são limitadas em termos de funcionamento e quando a tensão é elevada pode ser prejudicial e até fatal para o desempenho da operação. Chaveamentos de cargas ou de circuitos nas instalações e descargas atmosféricas são responsáveis por gerar sobretensões. Os danos resultantes podem ocasionar na perda de aparelhos eletrônicos sensíveis, programas, comunicação entre sistemas, enfim, prejuízos de grande valor. Os dispositivos de proteção desviam do circuito de alimentação os excessos de tensão, impedindo prejuízos, e este desvio é realizado pelo sistema de aterramento (MORENO & COSTA, 1999).

Nos projetos elétricos de edificações, residências e indústrias, é essencial que haja a segurança tanto para as pessoas quanto aos equipamentos. No setor industrial se tem a preocupação de reduzir os gastos e desperdícios, sendo de extrema importância a garantia da proteção dos equipamentos, já que podem possuir um valor significativo ou podem custar tempo de produção, gerando grandes transtornos quando danificados. Diante destes motivos, os aperfeiçoamentos dos sistemas de proteção são sempre bem-vindos. O estudo de um método que diminua a resistência de aterramento, em análise neste trabalho, tem como objetivo fornecer um fundamento para os projetos e estudos no âmbito de segurança nas instalações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item são apresentados os aspectos e conceitos teóricos referentes aos equipamentos e materiais admissíveis para a melhor compreensão deste trabalho.

2.1. Sistemas de Aterramento

Um sistema de aterramento consiste em uma simples placa com formas e tamanhos variados, fitas metálicas que se estendam por um perímetro, até as configurações de cabos enterrados no solo. Deve ser constituído de três componentes: as ligações entre um condutor vivo e os eletrodos, eletrodos de aterramento, e a terra que envolve os eletrodos. O cabo de aterramento pode ser útil desde um circuito eletrônico até para um sistema de energia elétrica de potência.

A implantação de um sistema de aterramento é obrigatória em qualquer instalação elétrica de média tensão, pois se trata de uma garantia de segurança e uma exigência da NBR 14039, norma técnica brasileira de média tensão. Além de proteger pessoas e as próprias instalações, estão entre as intenções: a melhoria da qualidade dos serviços e uniformização de um referencial de tensão para a instalação. Com isso, pode-se atribuir ao aterramento uma classificação relacionada à sua função (CUNHA, 2003):

- Aterramento funcional: Proporciona o funcionamento adequado da instalação. É o aterramento de um condutor vivo, geralmente o neutro;
- Aterramento de proteção: Protege contra choques por contatos indiretos. É o aterramento de massas, carcaças metálicas e elementos condutores estranhos à instalação;
- Aterramento para trabalho: Oferece segurança para a execução de determinados trabalhos. Consiste em aterrar uma parcela do circuito, que é normalmente submetida a uma tensão, mas necessita ser colocada sob ausência de tensão por um período determinado, caracterizando um aterramento temporário.

Em geral, os sistemas de aterramento necessitam ser projetados de forma a criar uma ligação adequada com a terra, levando-se em conta a importância do sistema elétrico envolvido, o local e o custo. Os principais tipos são: uma haste cravada no solo, hastes alinhadas, hastes em triângulo, hastes em quadrado, hastes em círculos, placas condutoras enterradas ao solo, fios ou cabos de diversas configurações enterrados ao solo e, a mais eficiente, malha de terra (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 2011).

Em malhas de terra de pequenas dimensões geométricas, o valor da resistência de terra quase sempre ultrapassa os limites mínimos para alta resistividade aparente do solo (MAMEDE, 2012). Para a obtenção do valor da resistência da malha de terra correspondente a condutores horizontais, utiliza-se a Equação 1.

$$R_{mc} = \frac{\rho_a}{4 \times R} + \frac{\rho_a}{L_{cm}} (\Omega) \quad (1)$$

onde:

R_{mc} - resistência da malha de terra

R - raio do espaço destinado à malha de terra

ρ_a - resistividade aparente do solo

L_{cm} - comprimento do condutor da malha de terra

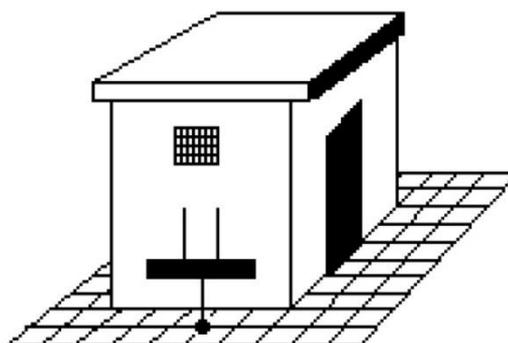
2.2. Eletrodos de Aterramento Elétrico

Os eletrodos são constituídos de um corpo metálico enterrado no solo, como barras de material em cobre ou aço cobreado, cantoneiras de ferro galvanizado, sistemas hidráulicos ou malhas de condutores de cobre em reticulado. A forma com que estes eletrodos se interconectam pode variar dependendo da aplicação. As mais utilizadas são as hastes de aterramentos.

Os eletrodos devem resistir às solicitações térmicas, termomecânicas e eletromecânicas, além de possuir robustez e proteção mecânicas para reagir às condições de influências externas. Um bom eletrodo precisa ter uma boa

condutividade elétrica para desempenhar sua função de aterramento, além de não oxidar com as características do solo, para manter as suas propriedades e ter maior durabilidade (CLUNK,2013). Conforme menciona (CUNHA,2003), um eletrodo de aterramento abrange um conjunto de condutores enterrados ao solo para a ligação com a terra, podendo constituir um anel circundando a edificação, devem ser adequados com as características do solo e ao valor de resistência de terra exigido (calculado ou medido). Também existem os eletrodos classificados como naturais, que não são instalados para a função de aterrar, onde profissionais da área de engenharia civil realizam o projeto dos eletrodos naturais focando apenas nas estruturas da construção. Os eletrodos que mais se usam são de armaduras de aço embutidas no concreto das edificações, que possuem características elétricas boas, com relação ao seu material, apresentando baixa resistência de aterramento, podendo compor o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (aterramento e gaiola de Faraday). Um sistema de aterramento que protege contra choque elétrico por contato indireto é composto por eletrodos para subestação de média tensão, que também deve constituir um anel no perímetro da edificação. A Figura 1 ilustra a utilização do eletrodo de aterramento em malha para uma subestação.

Figura 1: Malha de aterramento e uma subestação



Fonte: Cunha (2003).

2.3. Resistividade do solo

O primeiro passo para se realizar um aterramento é conhecer as características referentes ao solo, geralmente aquelas com relação a sua constituição. Conhecer a resistividade elétrica do solo é essencial para um projeto

desta natureza, pois esta é uma grandeza que pode variar de acordo com a localização geográfica e com outros fatores relacionados ao solo.

O solo geralmente não é um bom condutor de eletricidade, chegando a ser isolante na ausência total de umidade. Sua resistividade é muito alta, variando entre 5 a 20000 $\Omega.m.$, enquanto condutores comuns como cobre e alumínio possuem valores na ordem de 10^{-8} $\Omega.m.$, A resistividade do solo é a resistência elétrica determinada por um cubo de terra de faces unitárias, onde sua unidade é denominada “ $\Omega.m$ ”. A relação entre resistência elétrica e resistividade está descrita na Equação 2, definida pelo valor da resistividade que multiplica a divisão da aresta pela área (VISACRO, 2002).

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2)$$

Para a realização de um projeto de aterramento, é necessário conhecer as características do solo previamente (MAMEDE, 2012). Tipos de solo, umidade, idade de formação geológica, variação da profundidade, concentração e tipos de sais dissolvidos na água, compactidade do solo, granulometria do solo e temperatura são alguns dos fatores que influenciam a resistividade do solo.

2.4. Resistência de Terra

A terra é um condutor complexo, em que a corrente não flui de um ponto a outro simplesmente como em um condutor convencional. Ao contrário do que ocorre em um metal, a corrente se dispersa para todos os sentidos e não somente de um terminal para o outro. Isso torna sua resistência muito mais complexa do que a Lei de Ohm, e do que um resistor comum.

Um aterramento pode ser classificado como satisfatório quando se tem baixa resistência de terra, permitindo a circulação de uma corrente elétrica para uma terra circunvizinha. É considerado reprovável uma resistência de terra superior a trinta ohms (30 Ω), sendo que valores abaixo desta faixa são classificados como razoáveis, e os inferiores à cinco ohms (5 Ω) como excelentes (BELCHIOR, 2014).

O valor da resistência de aterramento se dá através da relação entre a tensão resultante no eletrodo e a corrente aplicada no solo. Existem três

componentes que são de suma importância para a resistência de um aterramento oferecida à uma corrente elétrica (VISACRO, 2002):

- A própria resistência dos eletrodos e ligações elétricas que possuem valor muito baixo devido à sua constituição de metais altamente condutivos;
- A resistência de contato entre o solo e o eletrodo;
- A resistência da terra circunvizinha, que define o valor da resistência e que depende principalmente da resistividade do solo e da corrente vinda do eletrodo, devido à sua forma e tamanho.

2.4.1. Medição de resistência de terra e resistividade do solo

Em 2009 foi publicada a ABNT NBR 15749 - Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento, que determina os métodos de medição de resistência de terra e de potenciais superficiais do solo. Para fins de segurança e de pesquisa, os ensaios de campo são eficazes para obtenção dos valores de resistência da haste de terra, potenciais de passo e de toque para projetos. Essas medições servem para verificar a eficiência do eletrodo em sua função no sistema de aterramento, detectar tensões superficiais de risco e estabelecer o potencial do sistema de aterramento relacionado ao terra de referência. A medição da resistência de aterramento pode ser feita pelo método da queda de potencial, que é realizada com a utilização do terrômetro e queda de potencial com injeção de alta corrente. (MODENA & SUETA, 2011).

A medição da resistividade do solo pode ser efetuada por amostragem ou por medição local. A primeira acontece a partir de uma amostra de solo que é medida em laboratório, e a medição local acontece na região do solo determinada em que se deseja obter a resistividade, com a imposição de sinais eletromagnéticos utilizando eletrodos, assim obtendo os potenciais do local (VISACRO, 2002).

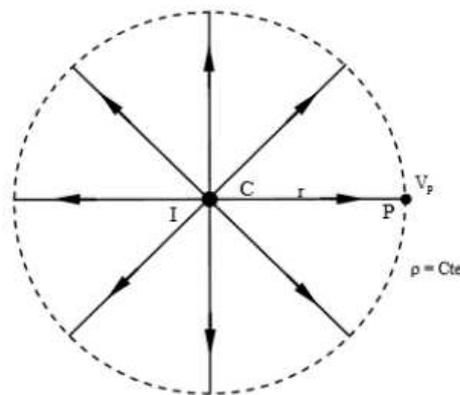
2.4.1.1. Medições no local do sistema de aterramento

Inicialmente, deve-se escolher o local de implantação do aterramento que depende da disposição dos equipamentos do sistema elétrico envolvido. Para uma

subestação devem ser analisados: o centro geométrico de cargas; a disponibilidade e custo do terreno; a segurança da população próxima ao terreno e a garantia de que não ocorra inundações no local. Após definir o local é necessário conhecer a resistividade aparente para fazer o projeto, sabendo que, conforme a área do local é ampliada, as camadas de solo mais profundas são atingidas pelas correntes de dispersão (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 2011). Para melhor entendimento sobre a ocorrência da dispersão das correntes, é necessário compreender o potencial em um ponto e potencial em um ponto sob a superfície de um solo homogêneo:

- Potencial em um ponto: Considera-se um ponto “c”, que emana uma corrente elétrica sob um solo homogêneo e infinito, como representado na Figura 2, e que esta corrente possui um fluxo radial. Pela lei de Ohm, é possível definir o campo elétrico no ponto “p” (Equação 3) em relação a sua densidade de corrente no mesmo ponto. Com essas equações tem-se a possibilidade de calcular o potencial do ponto p (Equação 4), integrando o campo elétrico “ E_p ” em relação ao raio.

Figura 2: Dispersão radial da corrente.



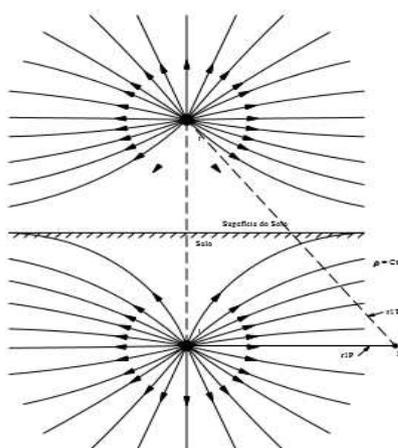
Fonte: Kindermann & Campagnolo, 2011.

$$E_p = \rho \cdot J_p \quad (3)$$

$$V_p = \frac{\rho \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r} \quad (4)$$

- Potencial em um ponto sob a superfície de um solo homogêneo: a forma como ocorre a distribuição de corrente é representada pela Figura 3. Considera-se a presença de uma fonte de corrente pontual simétrica à superfície do solo, sendo possível encontrar o potencial do ponto p através da Equação 5, analisando o efeito de cada fonte de corrente efetuando a superposição.

Figura 3: Um ponto sob a superfície de solo homogêneo.



Fonte: Kindermann & Campagnolo, 2011.

$$V_p = \frac{\rho \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r_{1p}} + \frac{\rho \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r_{1'p}} \quad (5)$$

2.4.1.2. Influência da estratificação do solo

O solo basicamente é constituído de camadas horizontais e paralelas à superfície terrestre, que possuem, por sua vez, formações geológicas diferentes e, por isso, o solo é acomodado em camadas estratificadas à medida em que sua profundidade aumenta.

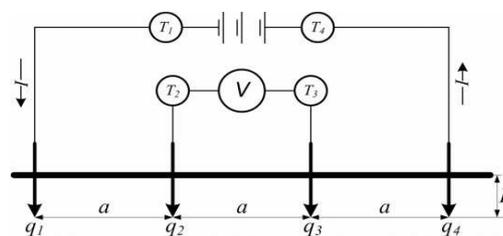
Tendo em vista estas diferenças de resistividade no decorrer da profundidade de um solo, no estudo de um terreno para aterramento é necessário aproximá-lo a um modelo equivalente, definindo suas peculiaridades. Para realizar o projeto de uma malha de terra e obter o valor da resistência de aterramento adequado, é comum para solos heterogêneos o uso da estratificação por duas

camadas com suas respectivas resistividades e alturas definidas, sendo que quanto maior o número de camadas a complexidade é maior (RAGGI, 2009).

2.4.1.3. Método de Wenner

Este tópico contém a explicação do método de Wenner baseado na norma ABNT NBR 7117/2012 que tem o objetivo de estabelecer as condições adequadas para medições de resistividade pelo método dos quatro pontos.

Figura 4: Disposição das hastes para o Método de Wenner



Fonte: CALIXTO et al, 2014

Esta forma de obtenção de resistividade do solo se dá com a fixação de quatro hastes no solo com as mesmas profundidades (p) e distâncias (a) iguais entre si, como ilustrado na Figura 4. Uma corrente “ I ” é fornecida na haste “ q_1 ”, causando um potencial nos pontos “ q_2 ” e “ q_3 ”. Com isto, a resistividade será definida pela Equação 6, onde “ R ” é a resistência ôhmica fornecida pelo medidor.

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{I + \frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4a^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}} \quad (6)$$

A medição de “ R ”(Ω) pode ser feita com um instrumento chamado megômetro, que possui dois terminais de corrente e dois terminais de potencial, ou por meio de voltímetro e amperímetro.

A fórmula da resistividade pode ser reduzida à Equação 7 quando a distância entre as hastes é maior que vinte vezes o tamanho da profundidade.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (7)$$

Para eficiência da medição, a norma fornece algumas recomendações referentes à profundidade da cravação dos eletrodos e do espaçamento entre eles. A introdução dos eletrodos ao solo deve possuir profundidade suficiente para garantir o contato, e em caso de solos arenosos, pode-se utilizar panos molhados. As distâncias entre os eletrodos podem variar de 1 metro a 64 metros (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 metros) ou até mesmo superiores.

3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO E RESULTADOS

Este tópico aborda as metodologias utilizadas na medição prática, instrumentação utilizada e a coleta de dados referentes às comparações realizadas neste trabalho.

3.1. Local de Experimentação

O local de medição se situa próximo à quadra poliesportiva da Universidade, próximo ao campo de futebol adjacente ao bloco P, como ilustra a figura a seguir.

Figura 5: Local de medição na UTFPR



Fonte: Autoria Própria

3.2. Descrição do local dos sistemas de aterramento

As medições foram realizadas com a finalidade de comparar dois tipos de aterramento. O primeiro método consiste em um conjunto de haste em paralelo, onde foram aterradas três hastes de aterramento de aço zincado, de diâmetro “3/4” e de 2,4 metros de comprimento cada uma, de forma que sua extremidade ficasse 30cm exposta para medição, ou seja 2,1 metros do eletrodo sob a superfície do solo, e interligadas entre si com fio condutor rígido. O conjunto de hastes é ilustrado na figura 6.

Figura 6: Conjunto de hastes em paralelo



Fonte: Autoria própria

O segundo tipo consiste em um condutor enterrado no solo, em formato circular com diâmetro de 1m, e profundidade de 40cm, e utilizando condutor de 16mm^2 , como ilustrado na figura abaixo.

Figura 7: Condutor em formato circular enterrado no solo



Fonte: Autoria Própria

3.3. Instrumentos Utilizados

Para se realizar a medição prática, foi utilizado o terrômetro, marca Politerm, modelo POL-36 com 3 pontas de prova conforme ilustra a figura abaixo:

Figura 8: Terrômetro modelo POL-36 da Politerm



Fonte: Politerm Instrumentos de Medição

A medição foi executada com o terminal verde conectado à haste de medição, o equipamento situado a dois metros do ponto medidor, a primeira sonda a quatro metros da haste e a segunda sonda a seis metros da referência.

Juntamente com as resistências de terra dos dois tipos de aterramentos, foram coletadas também a temperatura do solo e a umidade, por meio de um equipamento de aquisição destes, sendo este afixado ao solo, e mostrado na figura abaixo.

Figura 9: Medidor de Temperatura e Umidade do Solo



Fonte: Autorial Própria

Além destas medições citadas anteriormente, foi medido com outro equipamento os níveis de pH do solo, também fixado na terra. A imagem mostra o equipamento utilizado para este fim.

Figura 10: Medidor de pH do solo



Fonte: Autorial Própria

O procedimento adotado é padronizado tanto para o conjunto de hastes em paralelo quanto para o condutor em formato circular. A imagem a seguir retrata o procedimento aplicado à haste em paralelo.

Figura 11: Procedimento de Medição



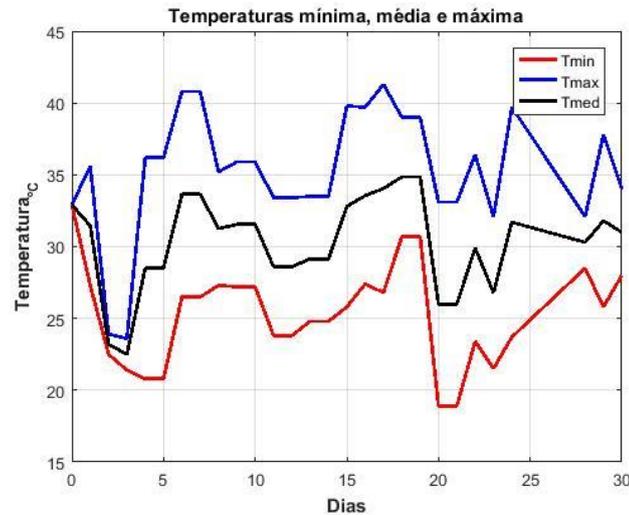
Fonte: Autoria própria

3.4. Coleta de Dados

A coleta de dados foi feita em um período de aproximadamente sessenta dias, totalizando dois meses de amostragem dos dados coletados. As medições foram realizadas entre o horário das quatorze horas até as dezesseis horas, procurando estabelecer sempre um horário fixo. A coleta de temperatura e umidade forneceu os dados máximos e mínimos. O início da medição se deu no dia treze de agosto de 2018, se estendendo até o mesmo dia do mês de outubro para assim completar os dois meses requeridos de análise.

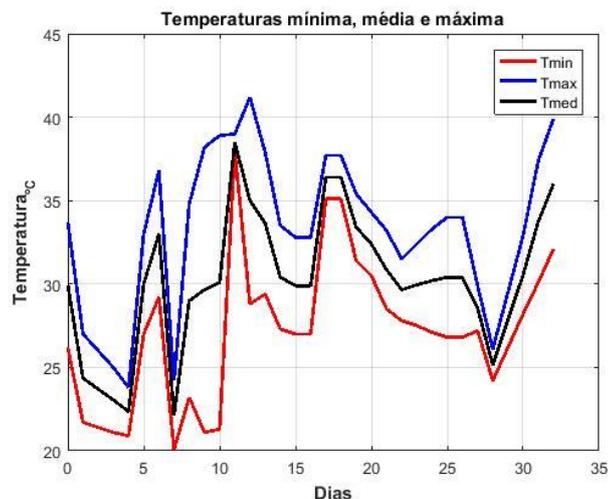
3.4.1. Temperatura e Resistividade

O gráfico seguinte mostra os resultados com relação às temperaturas máxima e mínima coletadas no primeiro mês em que se realizava a medição. A temperatura média foi definida a partir das outras duas temperaturas analisadas do solo, que foram coletadas pelo instrumento. As temperaturas maiores se davam nos dias mais secos do mês.

Gráfico 1: Temperaturas para o primeiro mês de medição**Fonte: Autoria Própria**

Para o mês seguinte, foram realizadas também as medidas de temperatura máxima e mínima, estipulando a média de ambas. Alguns períodos mencionados no Apêndice B podem ter afetado os índices de temperatura máxima e mínima, sendo comparados com a temperatura do ar (anexada no Apêndice D).

O gráfico a seguir ilustra a temperatura do solo, com relação ao último mês de medição. Pode-se observar que houve variações consideráveis neste mês em função do tempo parcialmente nublado durante as medições e alguns pontos de chuva neste período em análise.

Gráfico 2: Temperaturas para o segundo mês de medição**Fonte: Autoria Própria**

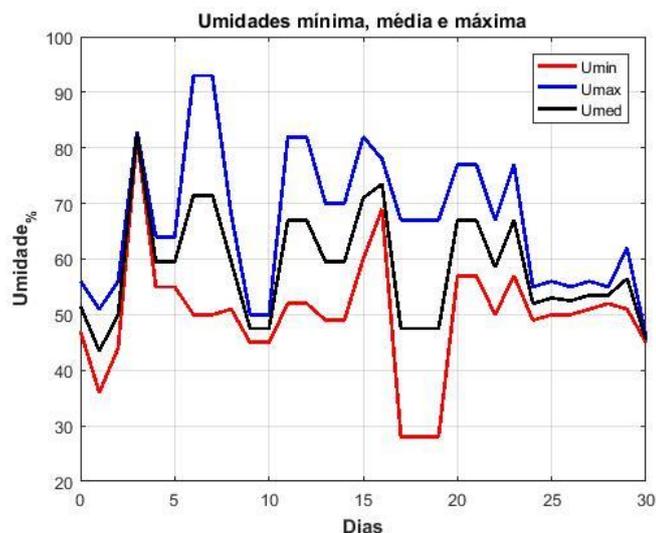
3.4.2. Umidade e Resistividade

A umidade do solo era um fator que dependia propriamente das chuvas e da umidade remanescente. Segundo (VISACRO,2002), o clima afeta diretamente a variação da quantidade de água no solo, e explica que são os mecanismos eletrolíticos que permitem a condução nele, sendo que o aumento da umidade é capaz de diminuir a sua resistividade.

. A coleta foi realizada durante a fase de medição, e tinha seu percentual mínimo e máximos eram definidos pelo equipamento. Em dias secos, podia-se notar que seu percentual decrescia consideravelmente.

O gráfico 3 mostra os percentuais de umidade mínima e máxima apresentados no primeiro mês de medição. A baixa umidade no gráfico pode ser explicada pelos períodos estáveis de temperatura dos dias 5 e 10, em dias corridos de 1 a 30 do mês medido, que, ainda que não sejam os maiores valores de temperatura máxima, são consideráveis, para efeito na umidade.

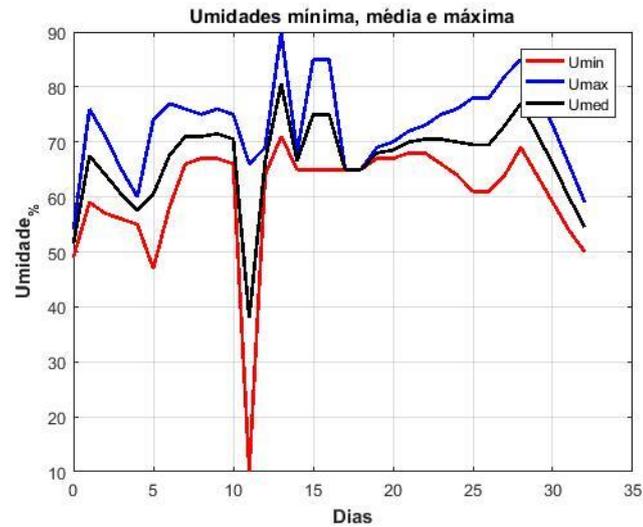
Gráfico 3: Umidades para o primeiro mês de medição



Fonte: Autoria Própria

A seguir, o gráfico 4 ilustra a taxa de umidade para o segundo mês de medição, sendo que ocorreram diversas variações em virtude do clima no local.

Gráfico 4: Umidades para o segundo mês de medição



Fonte: Autoria Própria

3.4.3. Resistência e Resistividade Obtidas

Foram coletadas as resistências de terra para o conjunto de hastes em paralelo, por meio do terrômetro, anotadas diariamente durante o período de medição, e as resistências do condutor em formato de anel. A equação utilizada para a resistividade das hastes em paralelo é dada por:

$$\rho_a = \frac{R_{eq}}{0,173} \quad (8)$$

Já a resistividade do condutor em anel é dada por:

$$\rho_a = \frac{R_{anel} * \pi^2 r}{\ln\left(\frac{4r^2}{dp}\right)} \quad (9)$$

O gráfico 5 ilustra a comparação dessas duas medidas de resistência para o primeiro mês de medição. O traçado vermelho sinaliza a resistência de terra para as hastes em paralelo e em azul o condutor em anel

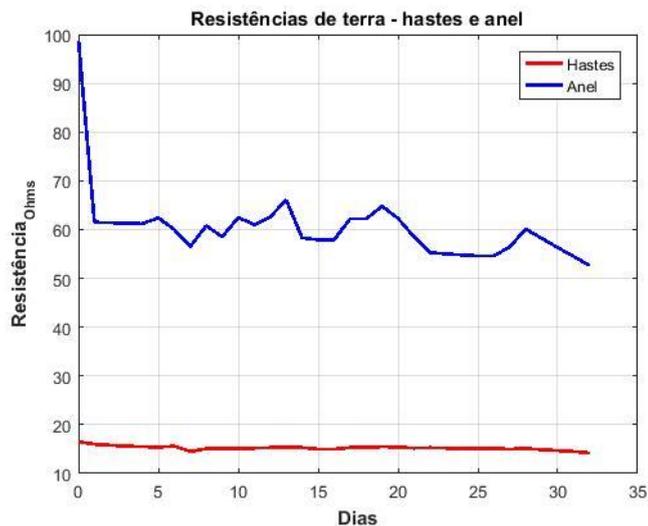
Gráfico 5: Resistências de Terra para o primeiro mês de medição



Fonte: Autoria Própria

No mês seguinte foram coletadas as resistências de terra. As medições foram realizadas, respeitando-se o mesmo horário do mês anterior. O gráfico 6 a seguir mostra os valores medidos de resistência de terra.

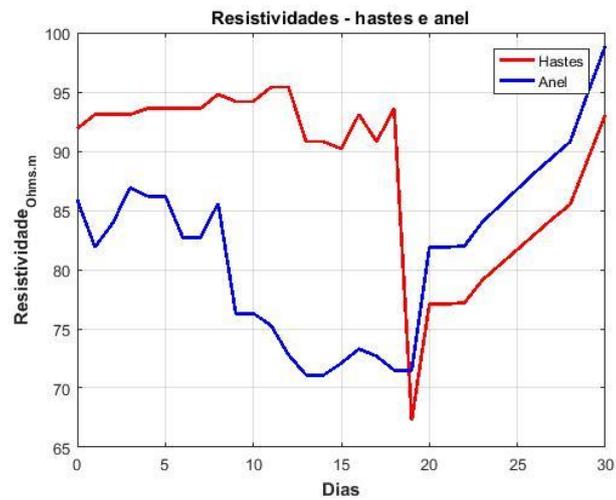
Gráfico 6: Resistências de Terra para o segundo mês de medição



Fonte: Autoria Própria

A resistividade do primeiro mês teve seu gráfico similar ao da resistência de terra. Em certo momento, a resistividade das hastes se tornou definitivamente menor do que a do círculo. O traçado vermelho representa as hastes em paralelo e em azul o condutor no formato de anel. O gráfico é mostrado a seguir.

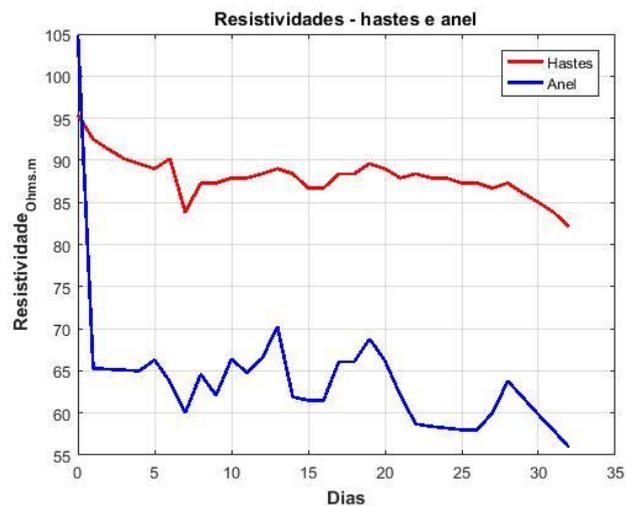
Gráfico 7: Resistividades para o primeiro mês de medição



Fonte: Autoria Própria

Pode-se tirar a mesma conclusão citada anteriormente com relação as resistências de terra e resistividade do segundo mês, que apresentam alguma similaridade entre si. O gráfico 8 ilustra esta situação.

Gráfico 8: Resistividades para o segundo mês de medição

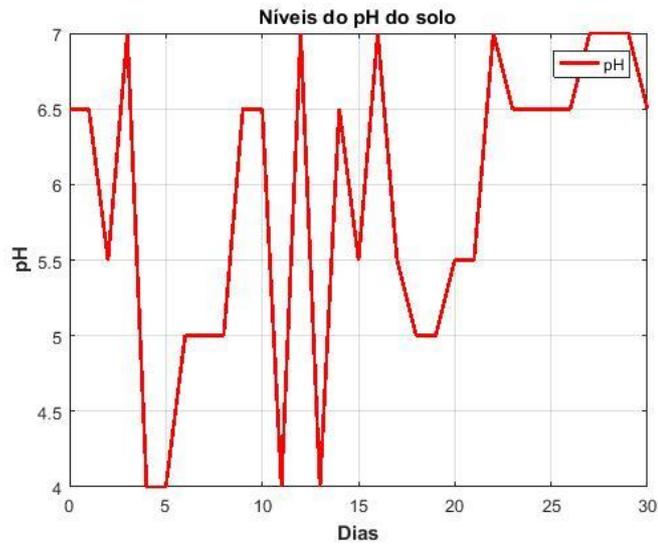


Fonte: Autoria Própria

3.4.4. pH e Resistividade do Solo

Os níveis de pH do solo foram medidos com o intuito de monitorar o processo de corrosão das hastes e do condutor. O gráfico 9 ilustra a situação da acidez do solo durante o processo de medição.

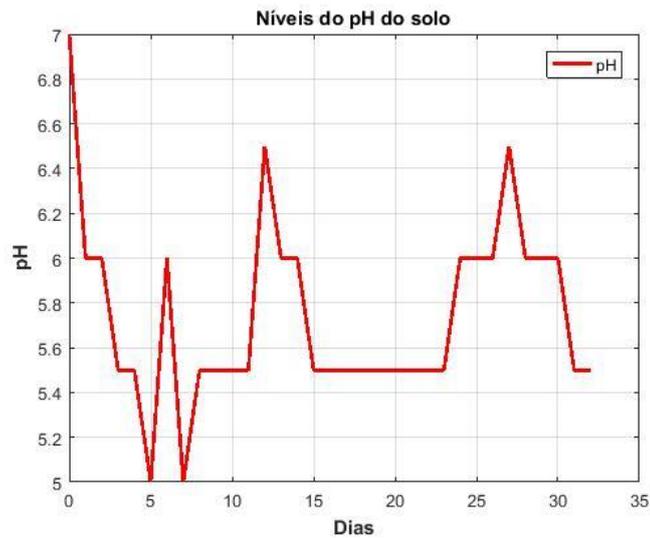
Gráfico 9: Níveis de pH para o primeiro mês de medição



Fonte: Autoria Própria

No apêndice D, é possível encontrar uma tabela com as todas as medições utilizadas nos gráficos seguintes. Semelhantemente ao primeiro mês, também se analisou o pH do solo no segundo mês de medição, ilustrado no gráfico a seguir.

Gráfico 10: Níveis de pH para o segundo mês de medição



Fonte: Autoria Própria

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, estuda-se a automação das medições, que foram feitas diariamente e manualmente neste estudo. Com isso, pretende-se adquirir os dados via sem fio para processamento e análise dos resultados de medição.

A melhoria das medições de temperatura e umidade, assim como a do pH, também se faz necessário para obter melhores resultados práticos destas grandezas. O estudo dos medidores automáticos deve ser criterioso, uma vez que, em dias chuvosos, eles não podem ficar expostos na água remanescente da terra, pois no período analisado, houve alguns pontos de chuva.

O ideal também é comparar os métodos estudados neste trabalho com outros que possibilitem conclusões diferentes das apresentadas nesse texto, para que se possa concluir qual o método mais eficaz nos sistemas de aterramento.

4.2. Resultados

Através deste trabalho foi possível verificar a análise de medição entre as hastes em paralelo e o condutor enterrado na horizontal em formato circular. Os dois métodos apresentaram resistências de terra relativamente diferentes, pois o primeiro método se mostrou com valores menores que o condutor em anel. Isso pode ser devido à profundidade do condutor circular, que é apenas de 60cm, enquanto as hastes têm um comprimento de 2,40m e podem estar em camadas estratificadas mais profundas do que o círculo.

É conveniente, para esta análise, observar as normas que tratam sobre o aterramento para verificar qual método que atende as exigências especificadas, sendo que em todos os locais onde se deseja aterrar uma parcela do circuito, é necessário que eles sejam eficientes no escoamento de faltas e descargas atmosféricas para a terra, proporcionando segurança para os equipamentos e as instalações, além de prevenir acidentes e danos.

Como opção, sugere-se fixar uma haste de aterramento de 2,40m de comprimento interligada ao condutor em anel, na esperança que esta modificação

possa melhorar os valores de resistência de terra do segundo método analisado, melhorando não só os valores acima mencionados como também os da resistividade do conjunto. Devido a estratificação do solo, acima mencionado, que pode ser um dos fatores que influencia na resistência do conjunto.

A coleta dos dados secundários (Temperatura, Umidade, pH) teve várias oscilações, tanto em virtude dos fenômenos que ocorreram no solo, que são previsíveis na leitura dos dados, como também em fenômenos desconhecidos decorrentes dos aparelhos de medição. A troca destes aparelhos proporcionaria também uma medição mais confiável e segura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117**. Medição de Resistividade do Solo: Método dos Quatro Pontos. Rio de Janeiro, 2012.

BELCHIOR, Fernando N. **Medição da Resistividade de Solo e Resistência de Terra**. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/372055275/Cap-8-Medicao-Da-Resistividade-de-Solo-e-Resisten-CIA-de-Terra>>. Acesso em: 29 abr 2018

BEZERRA, Sergio R.C. **Avaliação de sistemas de aterramento considerando a utilização de condutores e hastes envolvidos em concreto**. 2011. Dissertação (Mestrado em Energia) – Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.86.2011.tde-16082011-163415. Acesso em: 01 mai 2018

CALIXTO, W.P. et al. **Desenvolvimento de operador matemático para algoritmos de otimização heurísticos aplicado a problema de geoprospecção**. TEMA (São Carlos), São Carlos , v 15, n. 2, p. 177-194, Ago. 2014.

CLUNK, Tcharles. **Montagem e Manutenção**. - Universidade de Santa Cruz do Sul, 2013.

CUNHA, João G. **Aterramento em subestações consumidoras**. São José dos Campos: Mi Omega Engenharia Ltda, 2003.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. 6 ed. Florianópolis: UFSC, 2011.

MAMEDE, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012.

MARTINS, Fabio M. **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**. 2017. 96f. Monografia - Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017

MODENA, J.; SUETA, H. **Métodos normalizados para medição de resistência de aterramento**. Setor Elétrico, São Paulo, ed. 65, p. 40-44, Ago. 2011.

MORENO, H.; COSTA, P. F. **Aterramento Elétrico**. São Paulo: Procobre, 1999.

RAGGI, Livia M. R. **Projeto De Malhas De Aterramento: Contribuição Ao Computo Da Estratificação Do Solo**. 2009, 103F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

VISACRO FILHO, Silvério. **Aterramentos Elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento**. São Paulo: Artiliber Editora, 2002.

APÊNDICE A

RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE TERRA E RESISTIVIDADE DOS MÉTODOS

Dia	Data	R_{círculo} (Ω)	ρ_{círculo} (Ω)	R_{haste} (Ω)	ρ_{haste} (Ω)
1	13/08/2018	80,9	85,9	15,9	93,6
2	14/08/2018	77,1	81,9	16,1	91,9
3	15/08/2018	79,0	83,9	16,1	91,9
4	16/08/2018	81,8	86,9	16,1	94,2
5	17/08/2018	81,2	86,2	16,2	94,2
6	18/08/2018	81,2	86,2	16,2	95,4
7	19/08/2018	77,9	82,7	16,2	94,8
8	20/08/2018	77,9	82,7	16,2	94,2
9	21/08/2018	80,6	85,6	16,4	93,6
10	22/08/2018	71,8	76,3	16,3	93,6
11	23/08/2018	71,8	76,3	16,3	95,4
12	24/08/2018	70,9	75,3	16,5	96,0
13	25/08/2018	68,5	72,8	16,5	95,4
14	26/08/2018	66,9	71,1	15,7	92,5
15	27/08/2018	66,9	71,1	15,7	91,3
16	28/08/2018	67,9	72,1	15,6	90,2
17	29/08/2018	69,0	73,3	16,1	89,6
18	30/08/2018	68,4	72,7	15,7	89,0
19	31/08/2018	67,3	71,5	16,2	90,2
20	01/09/2018	77,9	71,5	16,2	83,8
21	02/09/2018	67,3	81,9	15,9	87,3
22	03/09/2018	77,1	81,9	15,9	87,3
23	04/09/2018	77,1	82,0	16,3	87,9
24	05/09/2018	77,2	84,0	16,3	87,9
25	06/09/2018	79,1	85,4	16,5	88,4
26	07/09/2018	80,4	86,8	16,4	89,0
27	08/09/2018	81,7	88,2	16,3	88,4
28	09/09/2018	83,0	89,5	16,2	86,7
29	10/09/2018	84,3	90,8	16,2	86,7
30	11/09/2018	85,5	94,9	16,5	88,4
31	12/09/2018	89,3	98,9	16,6	88,4
32	13/09/2018	93,1	104,9	16,5	89,6
33	14/09/2018	98,8	65,3	16,0	89,0
34	15/09/2018	61,5	65,2	15,8	87,9
35	16/09/2018	61,4	65,1	15,6	88,4
36	17/09/2018	61,3	65,0	15,5	87,9
37	18/09/2018	61,2	66,3	15,4	87,9
38	19/09/2018	62,4	63,7	15,6	87,3

39	20/09/2018	60,0	60,0	14,5	87,3
40	21/09/2018	56,5	64,6	15,1	86,7
41	22/09/2018	60,8	62,1	15,1	87,3
42	23/09/2018	58,5	66,4	15,2	86,1
43	24/09/2018	62,5	64,8	15,2	85,0
44	25/09/2018	61,0	66,5	15,3	83,8
45	26/09/2018	62,6	70,2	15,4	82,1
46	27/09/2018	66,1	61,9	15,3	93,6
47	28/09/2018	58,3	61,5	15,0	91,9
48	29/09/2018	57,9	61,5	15,0	91,9
49	30/09/2018	57,9	66,1	15,3	94,2
50	01/10/2018	62,2	66,1	15,3	94,2
51	02/10/2018	62,2	68,8	15,5	95,4
52	03/10/2018	64,8	66,2	15,4	94,8
53	04/10/2018	62,3	62,1	15,2	94,2
54	05/10/2018	58,5	58,7	15,3	93,6
55	06/10/2018	55,3	58,4	15,2	93,6
56	07/10/2018	55,0	58,2	15,2	95,4
57	08/10/2018	54,8	58,0	15,1	96,0
58	09/10/2018	54,6	58,0	15,1	95,4
59	10/10/2018	54,6	60,0	15,0	92,5
60	11/10/2018	56,5	63,8	15,1	91,3
61	12/10/2018	60,1	61,8	14,9	90,2
62	13/10/2018	58,2	59,8	14,7	89,6
63	14/10/2018	56,3	57,9	14,5	89,0
64	15/10/2018	54,5	55,9	14,2	90,2

APÊNDICE B

RELAÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE MEDIDOS

Dia	Data	T (°C) min	T (°C) máx	T (°C) méd	U min (%)	U máx (%)	U méd (%)
1	13/08/2018	32,9	32,9	32,90	47	56	51,5
2	14/08/2018	27,3	35,6	31,45	36	51	43,5
3	15/08/2018	22,5	23,9	23,20	44	56	50,0
4	16/08/2018	21,4	23,6	22,50	82	83	82,5
5	17/08/2018	20,8	36,2	28,50	55	64	59,5
6	18/08/2018	20,8	36,2	28,50	55	64	59,5
7	19/08/2018	26,5	40,8	33,65	50	93	71,5
8	20/08/2018	26,5	40,8	33,65	50	93	71,5
9	21/08/2018	27,3	35,2	31,25	51	68	59,5
10	22/08/2018	27,2	35,9	31,55	45	50	47,5
11	23/08/2018	27,2	35,9	31,55	45	50	47,5
12	24/08/2018	23,8	33,4	28,60	52	82	67,0
13	25/08/2018	23,8	33,4	28,60	52	82	67,0
14	26/08/2018	24,8	33,5	29,15	49	70	59,5
15	27/08/2018	24,8	33,5	29,15	49	70	59,5
16	28/08/2018	25,8	39,8	32,80	60	82	71,0
17	29/08/2018	27,4	39,7	33,55	69	78	73,5
18	30/08/2018	26,8	41,3	34,05	42	44	43,0
19	31/08/2018	30,7	39,0	34,85	28	67	47,5
20	01/09/2018	30,7	39,0	34,85	28	67	47,5
21	02/09/2018	18,9	33,1	26,00	57	77	67,0
22	03/09/2018	18,9	33,1	26,00	57	77	67,0
23	04/09/2018	23,4	36,4	29,90	50	67	58,5
24	05/09/2018	21,5	32,1	26,80	57	77	67,0
25	06/09/2018	23,7	39,7	31,70	49	55	52,0
26	07/09/2018	24,9	37,8	31,35	50	56	53,0
27	08/09/2018	26,1	35,9	31,00	50	55	52,5
28	09/09/2018	27,3	34,0	30,65	51	56	53,5
29	10/09/2018	28,5	32,1	30,30	52	55	53,5
30	11/09/2018	25,8	37,8	31,80	51	62	56,5
31	12/09/2018	28,0	34,0	31,00	45	46	45,5
32	13/09/2018	26,2	33,7	29,95	49	54	51,5

33	14/09/2018	21,7	27,0	24,35	59	76	67,5
34	15/09/2018	21,4	26,0	23,70	57	71	64,0
35	16/09/2018	21,1	25,0	23,05	56	65	60,5
36	17/09/2018	20,9	23,8	22,35	55	60	57,5
37	18/09/2018	27,0	33,0	30,00	47	74	60,5
38	19/09/2018	29,2	36,8	33,00	58	77	67,5
39	20/09/2018	20,1	24,2	22,15	66	76	71,0
40	21/09/2018	23,2	34,8	29,00	67	75	71,0
41	22/09/2018	21,1	38,2	29,65	67	76	71,5
42	23/09/2018	21,3	38,9	30,10	66	75	70,5
43	24/09/2018	38,0	39,0	38,50	10	66	38,0
44	25/09/2018	28,8	41,2	35,00	64	69	66,5
45	26/09/2018	29,4	37,9	33,65	71	90	80,5
46	27/09/2018	27,3	33,5	30,40	65	68	66,5
47	28/09/2018	27,0	32,8	29,90	65	85	75,0
48	29/09/2018	27,0	32,8	29,90	65	85	75,0
49	30/09/2018	35,1	37,7	36,40	65	65	65,0
50	01/10/2018	35,1	37,7	36,40	65	65	65,0
51	02/10/2018	31,4	35,4	33,40	67	69	68,0
52	03/10/2018	30,5	34,3	32,40	67	70	68,5
53	04/10/2018	28,5	33,2	30,85	68	72	70,0
54	05/10/2018	27,8	31,5	29,65	68	73	70,5
55	06/10/2018	27,5	32,4	29,95	66	75	70,5
56	07/10/2018	27,1	33,3	30,20	64	76	70,0
57	08/10/2018	26,8	34,0	30,40	61	78	69,5
58	09/10/2018	26,8	34,0	30,40	61	78	69,5
59	10/10/2018	27,2	29,9	28,55	64	82	73,0
60	11/10/2018	24,2	26,1	25,15	69	85	77,0
61	12/10/2018	26,2	29,5	27,85	64	79	71,5
62	13/10/2018	28,2	32,9	30,55	59	73	66,0
63	14/10/2018	30,1	37,4	33,75	54	66	60,0
64	15/10/2018	32,1	39,9	36,00	50	59	54,5

APÊNDICE C**RELAÇÃO DOS NÍVEIS DE PH DO SOLO**

Dia	Data	pH
1	13/08/2018	6,5
2	14/08/2018	6,5
3	15/08/2018	5,5
4	16/08/2018	7
5	17/08/2018	4
6	18/08/2018	4
7	19/08/2018	5
8	20/08/2018	5
9	21/08/2018	5
10	22/08/2018	6,5
11	23/08/2018	6,5
12	24/08/2018	4
13	25/08/2018	7
14	26/08/2018	4
15	27/08/2018	6,5
16	28/08/2018	5,5
17	29/08/2018	7
18	30/08/2018	5,5
19	31/08/2018	5
20	01/09/2018	5
21	02/09/2018	5,5
22	03/09/2018	5,5
23	04/09/2018	7
24	05/09/2018	6,5
25	06/09/2018	6,5
26	07/09/2018	6,5
27	08/09/2018	6,5
28	09/09/2018	7
29	10/09/2018	7
30	11/09/2018	7
31	12/09/2018	6,5
32	13/09/2018	7
33	14/09/2018	6
34	15/09/2018	6

35	16/09/2018	5,5
36	17/09/2018	5,5
37	18/09/2018	5
38	19/09/2018	6
39	20/09/2018	5
40	21/09/2018	5,5
41	22/09/2018	5,5
42	23/09/2018	5,5
43	24/09/2018	5,5
44	25/09/2018	6,5
45	26/09/2018	6
46	27/09/2018	6
47	28/09/2018	5,5
48	29/09/2018	5,5
49	30/09/2018	5,5
50	01/10/2018	5,5
51	02/10/2018	5,5
52	03/10/2018	5,5
53	04/10/2018	5,5
54	05/10/2018	5,5
55	06/10/2018	5,5
56	07/10/2018	6
57	08/10/2018	6
58	09/10/2018	6
59	10/10/2018	6,5
60	11/10/2018	6
61	12/10/2018	6
62	13/10/2018	6
63	14/10/2018	5,5
64	15/10/2018	5,5

APÊNDICE D

DADOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO DE NOVA FÁTIMA

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Chuva (mm)
	UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	
13/08/2018	14	17.3	17.9	14.9	61	68	59	0.0
14/08/2018	16	22.6	22.8	19.9	44	53	42	0.0
15/08/2018	16	21.6	21.8	20.8	46	49	46	0.0
16/08/2018	14	18.3	18.8	17.0	61	65	61	0.0
17/08/2018	14	18.8	18.8	16.3	63	69	61	0.0
18/08/2018	14	19.3	20.2	17.8	64	70	62	0.0
19/08/2018	16	24.5	25.0	22.5	50	57	48	0.0
20/08/2018	16	27.4	28.1	26.4	33	38	32	0.0
21/08/2018	16	26.0	27.1	24.2	37	43	35	0.0
22/08/2018	15	17.2	17.6	16.7	93	98	93	0.0
23/08/2018	15	20.2	20.9	17.9	84	95	83	0.4
24/08/2018	14	22.5	22.8	20.0	63	73	63	3.2
25/08/2018	14	18.8	19.9	18.4	80	91	80	0.0
26/08/2018	16	19.1	19.5	17.3	44	52	42	0.0
27/08/2018	16	18.8	18.8	15.7	48	55	48	0.0
28/08/2018	15	21.0	21.1	18.5	59	65	59	0.0
29/08/2018	14	21.5	21.8	20.4	63	64	60	0.0
30/08/2018	14	24.9	25.4	23.1	46	52	44	0.0
31/08/2018	16	29.8	30.1	28.4	31	34	29	0.0
01/09/2018	16	30.8	31.7	29.4	28	34	27	0.0
02/09/2018	14	23.7	24.4	20.0	60	76	56	0.0
03/09/2018	14	13.8	13.8	11.0	86	97	85	0.0
04/09/2018	15	19.4	19.9	17.8	48	57	46	0.0
05/09/2018	14	16.4	16.7	13.5	65	75	63	0.0
06/09/2018	14	18.4	19.1	15.9	52	60	51	0.0
07/09/2018	16	25.4	25.9	24.1	35	38	33	0.0
08/09/2018	16	26.4	26.7	24.9	36	42	34	0.0
09/09/2018	16	26.9	26.9	24.0	40	47	39	0.0
10/09/2018	14	21.1	21.1	18.6	58	66	58	0.0
11/09/2018	15	23.2	23.2	20.5	53	60	52	0.0
12/09/2018	16	23.6	23.9	21.6	49	54	47	0.0
13/09/2018	16	24.6	25.1	22.7	55	58	52	0.0
14/09/2018	16	18.9	19.1	18.0	88	95	86	0.0
15/09/2018	16	22.1	23.1	21.5	66	69	63	0.0
16/09/2018	16	22.7	22.9	19.9	62	70	60	0.0
17/09/2018	14	16.6	16.7	15.6	92	95	91	0.0
18/09/2018	14	23.6	24.2	21.4	70	91	69	0.0

19/09/2018	15	27.6	27.7	25.1	60	71	60	0.0
20/09/2018	17	16.9	16.9	16.7	99	100	98	3.8
21/09/2018	14	22.2	22.6	21.2	67	75	64	0.0
22/09/2018	15	27.6	27.7	26.2	54	59	51	0.0
23/09/2018	15	28.9	29.2	27.7	37	46	33	0.0
24/09/2018	14	28.6	29.1	27.4	38	44	38	0.0
25/09/2018	14	24.7	25.4	23.3	45	46	39	0.0
26/09/2018	16	25.7	27.1	25.1	60	63	54	0.0
27/09/2018	15	20.7	21.3	20.0	87	89	74	0.4
28/09/2018	16	25.9	26.2	24.7	59	65	57	0.0
29/09/2018	15	25.6	26.1	23.8	57	64	56	0.0
30/09/2018	15	21.6	22.3	21.6	93	93	85	0.0
01/10/2018	16	27.2	27.6	26.0	55	63	55	0.0
02/10/2018	15	27.9	28.0	26.0	57	65	57	0.0
03/10/2018	16	27.4	30.5	27.4	63	63	50	0.0
04/10/2018	15	27.1	27.1	25.3	66	69	63	0.0
05/10/2018	14	21.8	22.4	20.5	70	74	68	0.0
06/10/2018	15	21.5	23.0	20.2	62	66	59	0.0
07/10/2018	16	23.1	23.7	22.3	68	69	65	0.0
08/10/2018	14	20.4	20.4	19.7	96	96	94	2.2
09/10/2018	14	24.8	24.8	22.5	75	85	73	0.0
10/10/2018	15	25.2	25.3	24.3	69	75	67	0.0
11/10/2018	15	21.2	21.4	20.4	74	76	73	0.0
12/10/2018	16	25.9	26.2	24.7	62	65	59	0.0
13/10/2018	14	26.2	26.2	24.8	74	77	73	0.0
14/10/2018	15	25.4	26.1	24.2	72	79	72	0.0
15/10/2018	14	23.5	23.5	21.6	77	86	76	0.0

APÊNDICE E

CÓDIGOS DOS GRÁFICOS GERADOS PELO MATLAB®

PROGRAMA 1

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE TEMPERATURA DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O PRIMEIRO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:30;
Tmin = [32.9 27.3 22.5 21.4 20.8 20.8 26.5 26.5 27.3 27.2 27.2 23.8 23.8
24.8 24.8 25.8 27.4 26.8 30.7 30.7 18.9 18.9 23.4 21.5 23.7 24.9 26.1 27.3
28.5 25.8 28];
Tmax = [32.9 35.6 23.9 23.6 36.2 36.2 40.8 40.8 35.2 35.9 35.9 33.4 33.4
33.5 33.5 39.8 39.7 41.3 39 39 33.1 33.1 36.4 32.1 39.7 37.8 35.9 34 32.1
37.8 34];
Tmed = [32.9 31.45 23.2 22.5 28.5 28.5 33.65 33.65 31.25 31.55 31.55 28.6
28.6 29.15 29.15 32.8 33.55 34.05 34.85 34.85 26 26 29.9 26.8 31.7 31.35 31
30.65 30.3 31.8 31];
figure (1);
plot(i,Tmin,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Tmax,'b','LineWidth',2);
plot(i,Tmed,'k','LineWidth',2);
legend('Tmin','Tmax','Tmed');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfTemperatura_{°C}');
title ('\bfTemperaturas mínima, média e máxima');
grid on;
```

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE TEMPERATURA DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O SEGUNDO MÊS DE ANÁLISE
```

```
i = 0:32;
Tmin = [26.2 21.7 21.4 21.1 20.9 27 29.2 20.1 23.2 21.1 21.3 38 28.8 29.4
27.3 27 27 35.1 35.1 31.4 30.5 28.5 27.8 27.5 27.1 26.8 26.8 27.2 24.2 26.2
28.2 30.1 32.1];
Tmax = [33.7 27 26 25 23.8 33 36.8 24.2 34.8 38.2 38.9 39 41.2 37.9 33.5
32.8 32.8 37.7 37.7 35.4 34.3 33.2 31.5 32.4 33.3 34 34 29.9 26.1 29.5 32.9
37.4 39.9];
Tmed = [29.95 24.35 23.7 23.05 22.35 30 33 22.15 29 29.65 30.1 38.5 35
33.65 30.4 29.9 29.9 36.4 36.4 33.4 32.4 30.85 29.65 29.95 30.2 30.4 30.4
28.55 25.15 27.85 30.55 33.75 36];
figure (2);
plot(i,Tmin,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Tmax,'b','LineWidth',2);
plot(i,Tmed,'k','LineWidth',2);
legend('Tmin','Tmax','Tmed');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfTemperatura_{°C}');
title ('\bfTemperaturas mínima, média e máxima');
grid on;
```

PROGRAMA 2

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE UMIDADE DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O PRIMEIRO MÊS DE ANÁLISE
```

```
i = 0:30;
Umin = [47 36 44 82 55 55 50 50 51 45 45 52 52 49 49 60 69 28 28 28 57 57
50 57 49 50 50 51 52 51 45];
Umax = [56 51 56 83 64 64 93 93 68 50 50 82 82 70 70 82 78 67 67 67 77 77
67 77 55 56 55 56 55 62 46];
Umed = [51.5 43.5 50 82.5 59.5 59.5 71.5 71.5 59.5 47.5 47.5 67 67 59.5
59.5 71 73.5 47.5 47.5 47.5 67 67 58.5 67 52 53 52.5 53.5 53.5 56.5 45.5];
figure (1);
plot(i,Umin,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Umax,'b','LineWidth',2);
plot(i,Umed,'k','LineWidth',2);
legend('Umin','Umax','Umed');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfUmidade_{%}');
title ('\bfUmidades mínima, média e máxima');
grid on;
```

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE UMIDADE DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O SEGUNDO MÊS DE ANÁLISE
```

```
i = 0:32;
Umin = [49 59 57 56 55 47 58 66 67 67 66 10 64 71 65 65 65 65 65 67 67 68
68 66 64 61 61 64 69 64 59 54 50];
Umax = [54 76 71 65 60 74 77 76 75 76 75 66 69 90 68 85 85 65 65 69 70 72
73 75 76 78 78 82 85 79 73 66 59];
Umed = [51.5 67.5 64 60.5 57.5 60.5 67.5 71 71 71.5 70.5 38 66.5 80.5 66.5
75 75 65 65 68 68.5 70 70.5 70.5 70 69.5 69.5 73 77 71.5 66 60 54.5];
figure (2);
plot(i,Umin,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Umax,'b','LineWidth',2);
plot(i,Umed,'k','LineWidth',2);
legend('Umin','Umax','Umed');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfUmidade_{%}');
title ('\bfUmidades mínima, média e máxima');
grid on;
```

PROGRAMA 3

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE RESISTENCIAS DE TERRA
%DO TRABALHO DE CONCLUSÃO PARA O PRIMEIRO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:30;
Rhastes = [15.9 16.1 16.1 16.1 16.2 16.2 16.2 16.2 16.4 16.3 16.3 16.5
16.5 15.7 15.7 15.6 16.1 15.7 16.2 16.2 15.9 15.9 16.3 16.3 16.5 16.4 16.3
16.2 16.2 16.5 16.6];
Ranel = [80.9 77.1 79 81.8 81.2 81.2 77.9 77.9 80.6 71.8 71.8 70.9 68.5
66.9 66.9 67.9 69 68.4 67.3 67.3 77.1 77.1 77.2 79.1 80.4 81.7 83 84.3 85.5
89.3 93.1];
figure (1);
plot(i,Rhastes,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Ranel,'b','LineWidth',2);
legend('Hastes','Anel');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfResistência_{Ohms}');
title ('\bfResistências de terra - hastes e anel');
grid on;
```

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE RESISTENCIAS DE TERRA
%DO TRABALHO DE CONCLUSÃO PARA O SEGUNDO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:32;
Rhastes = [16.5 16 15.8 15.6 15.5 15.4 15.6 14.5 15.1 15.1 15.2 15.2 15.3
15.4 15.3 15 15 15.3 15.3 15.5 15.4 15.2 15.3 15.2 15.2 15.1 15.1 15 15.1
14.9 14.7 14.5 14.2];
Ranel = [98.8 61.5 61.4 61.3 61.2 62.4 60 56.5 60.8 58.5 62.5 61 62.6 66.1
58.3 57.9 57.9 62.2 62.2 64.8 62.3 58.5 55.3 55 54.8 54.6 54.6 56.5 60.1
58.2 56.3 54.5 52.6];
figure (2);
plot(i,Rhastes,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Ranel,'b','LineWidth',2);
legend('Hastes','Anel');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfResistência_{Ohms}');
title ('\bfResistências de terra - hastes e anel');
grid on;
```

PROGRAMA 4

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE RESISTIVIDADES ELÉTRICAS
%DO TRABALHO DE CONCLUSÃO PARA O PRIMEIRO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:30;
Rohastes = [91.9 93.1 93.1 93.1 93.6 93.6 93.6 93.6 94.8 94.2 94.2 95.4
95.4 90.8 90.8 90.2 93.1 90.8 93.6 67.3 77.1 77.1 77.2 79.1 80.4 81.7 83.0
84.3 85.5 89.3 93.1];
Roanel = [85.9 81.9 83.9 86.9 86.2 86.2 82.7 82.7 85.6 76.3 76.3 75.3 72.8
71.1 71.1 72.1 73.3 72.7 71.5 71.5 81.9 81.9 82.0 84.0 85.4 86.8 88.2 89.5
90.8 94.9 98.9];
figure (1);
plot(i,Rohastes,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Roanel,'b','LineWidth',2);
legend('Hastes','Anel');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfResistividade_{Ohms.m}');
title ('\bfResistividades - hastes e anel');
grid on;
```

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE RESISTIVIDADES ELÉTRICAS
%DO TRABALHO DE CONCLUSÃO PARA O SEGUNDO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:32;
Rohastes = [95.4 92.5 91.3 90.2 89.6 89.0 90.2 83.8 87.3 87.3 87.9 87.9
88.4 89.0 88.4 86.7 86.7 88.4 88.4 89.6 89.0 87.9 88.4 87.9 87.9 87.3 87.3
86.7 87.3 86.1 85.0 83.8 82.1];
Roanel = [104.9 65.3 65.2 65.1 65.0 66.3 63.7 60.0 64.6 62.1 66.4 64.8
66.5 70.2 61.9 61.5 61.5 66.1 66.1 68.8 66.2 62.1 58.7 58.4 58.2 58.0 58.0
60.0 63.8 61.8 59.8 57.9 55.9];
figure (2);
plot(i,Rohastes,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(i,Roanel,'b','LineWidth',2);
legend('Hastes','Anel');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfResistividade_{Ohms.m}');
title ('\bfResistividades - hastes e anel');
grid on;
```

PROGRAMA 5

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE pH DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O PRIMEIRO MÊS DA ANÁLISE
```

```
i = 0:30;
pH = [6.5 6.5 5.5 7 4 4 5 5 5 6.5 6.5 4 7 4 6.5 5.5 7 5.5 5 5 5.5 5.5 7 6.5
6.5 6.5 6.5 7 7 7 6.5];
figure (1);
plot(i,pH, 'r', 'LineWidth',2);
hold on
legend('pH');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfpH');
title ('\bfNíveis do pH do solo');
grid on;
```

```
%PROGRAMA PARA EFETUAR OS GRÁFICOS DE pH DO TRABALHO
%DE CONCLUSÃO PARA O SEGUNDO MÊS DE ANÁLISE
```

```
i = 0:32;
pH = [7 6 6 5.5 5.5 5 6 5 5.5 5.5 5.5 5.5 6.5 6 6 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5
5.5 5.5 5.5 6 6 6 6.5 6 6 6 5.5 5.5];
figure (2);
plot(i,pH, 'r', 'LineWidth',2);
hold on
legend('pH');
xlabel('\bfDias');
ylabel('\bfpH');
title ('\bfNíveis do pH do solo');
grid on;
```