



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

*Relatório de Estágio Supervisionado*

Gabriel Vidal Negreiros Bezerra

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Setembro de 2014

*Gabriel Vidal Negreiros Bezerra*

*Relatório de Estágio Supervisionado*

*Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Orientador: George Rossany Soares de Lira.  
Doutor em Engenharia Elétrica

Campina Grande - Paraíba - Brasil  
Setembro de 2014

*Gabriel Vidal Negreiros Bezerra*

*Relatório de Estágio Supervisionado*

*Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

**Banca Examinadora**

---

George Rossany Soares de Lira

Doutor em Engenharia Elétrica

---

Karcus Marcelus Colaço Dantas

Doutor em Engenharia Elétrica

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Setembro de 2014

”O homem sábio é forte, e o homem de conhecimento consolida a força.”

Provérbios 24:5

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pois, mesmo sendo tão grande, se faz tão perto em toda a minha vida. Mostrou-me que mesmo tendo criado a ciência de todo o universo, foi capaz de descer e se tornar um de nós.

Agradeço à minha Flor, Valdice, que nos últimos anos tem levado esse curso junto comigo. A suas orações, presença, alegria e carinho deram mais cores a minha vida.

Agradeço à minha mãe e irmãos, que sempre me ajudaram e apoiaram nas noites viradas e surpresas acadêmicas. Uma maravilhosa família faz toda diferença.

Agradeço a Luiz Augusto pelo companheirismo e apoio que sempre me deu nas horas que precisei. De fato, um irmão na fé e equipe de LAT.

Agradeço aos colegas no LAT: José Fidelis, Marcus Túlius, Filipe Lucena, Lenilson, Wellington Silva, Ramon Dias, Raphael Borges, Valdemir Brito, Jalberth Fernandes e Ronimack Trajano pela amizade e apoio, por partilhar dos conhecimentos e por tornar o ambiente do LAT mais gratificante.

Agradeço aos professores do departamento de engenharia elétrica da UFCG. Sobretudo os professores George Rossany, Tarso Vilela, Karcus Marcelus e Edson Guedes, que acreditaram no meu potencial elétrico e tanto contribuíram para a minha formação intelectual.

Por fim, agradeço à coordenação do DEE da UFCG, Damásio Fernandes, Adail Silva e Tchaikovsky Oliveira por tratarem os alunos com respeito e os ajudarem de forma louvável. Tais são muito mais que professores e funcionários; são colegas e amigos que nos impulsionam para ter uma vida digna.

*Gabriel Vidal*

# Resumo

Este relatório descreve as atividades realizadas por Gabriel Vidal Negreiros Bezerra, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, durante o estágio curricular supervisionado, de 210 horas, no Laboratório de Alta Tensão LAT-UFCG. Nele são abordados os assuntos das atividades que foram designadas ao discente pelo seu supervisor responsável. As atividades envolveram, principalmente, o acompanhamento de ensaios para verificação em equipamento de proteção individual (EPI), treinamento de graduandos para operação do Gerador de Impulso de Corrente do LAT, manutenção e teste de contactor e aprimoramento de guia para experimentos de medição de resistência de aterramento e resistividade do solo.

**Palavras-chaves:** Ensaios Laboratoriais, Manutenção, Medição, Aterramentos.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>x</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 O LAT</b>	<b>2</b>
<b>3 Ensaio de Luvas</b>	<b>4</b>
3.0.1 Metodologia . . . . .	5
<b>4 Treinamento para Operação do Gerador de Impulso de Corrente</b>	<b>7</b>
4.1 Cuidados Importantes . . . . .	9
4.2 Procedimentos Para Ensaios . . . . .	10
<b>5 Manutenção de Contactador</b>	<b>20</b>
<b>6 Aprimoramento de Guia para Experimento de Medição de Resistência de Aterramento e Resistividade do Solo</b>	<b>23</b>
<b>7 Conclusões</b>	<b>24</b>

# Lista de Figuras

2.1	Imagens do LAT. . . . .	3
3.1	Modelo de luvas ensaiadas. . . . .	4
3.2	Arranjo para ensaio de luvas. . . . .	5
4.1	Elementos do GIC. . . . .	8
4.2	Circuito do Gerador de Impulso de Corrente (GIC). . . . .	8
4.3	Outros elementos do GIC. . . . .	9
4.4	Vara tocando o nó central do circuito. . . . .	11
4.5	Vara tocando o terminal de um capacitor. . . . .	11
4.6	Elementos do GIC a serem escolhidos. . . . .	12
4.7	Objeto de teste: cilindro de alumínio em série com um bloco varistor de mesmo formato e dimensão. . . . .	12
4.8	Retirando a vara do nó central. . . . .	13
4.9	Vara suspensa. . . . .	14
4.10	Porta gradeada fechada. . . . .	14
4.11	Chave para ligar a mesa de controle. . . . .	14
4.12	Aumento da distância do <i>gap</i> . . . . .	15
4.13	Botão para ligar o transformador. . . . .	15
4.14	Chave seletora da taxa de carregamento. . . . .	16
4.15	Medidor de tensão de carregamento dos capacitores. . . . .	16
4.16	Medidor da corrente do transformador. . . . .	16
4.17	Botão para pausar o carregamento dos capacitores. . . . .	17
4.18	Diminuição da distância do <i>gap</i> . . . . .	17



---

4.19	Botão para desligamento do transformador e aterramento do secundário. . .	18
4.20	Porta gradeada aberta. . . . .	18
4.21	Procedimentos de segurança utilizando da vara de aterramento. . . . .	19
4.22	Vara de aterramento em posição estável e em contato contínuo com o nó central do GIC. . . . .	19
5.1	Quadro de controle do Regulador de Tensão. . . . .	20
5.2	Quadro de controle do Regulador de Tensão e contactor escolhido para manutenção. . . . .	22
5.3	Testes de verificação após manutenção. . . . .	22

# Lista de Tabelas

3.1	Valores de tensão adotados nos ensaios das luvas. . . . .	6
-----	---	---

# Capítulo 1

## Introdução

Este relatório de estágio supervisionado visa explicar as atividades realizadas e desenvolvidas, além de apresentar os conhecimentos e experiências adquiridas durante o estágio no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande (LAT-UFCG).

O estágio foi direcionado de forma a acompanhar as atividades que corriqueiramente são realizadas no LAT. Assim, uma vez que o LAT é um laboratório cujo funcionamento objetiva o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, o discente foi conduzido à cooperar com tais atividades.

Conforme as demandas, o discente pôde envolver-se em atividades de ensaios de equipamentos de proteção individual (EPI), treinamento para operação do Gerador de Impulso de Corrente (GIC) do laboratório, manutenção de equipamentos e aprimoramento de guia experimental para medição de resistência de aterramento e medição de resistividade de solo, de forma que, nesse guia, o Terrômetro AEMC-6472 fosse utilizado. A revisão e melhoramento do guia de aterramentos foi tanto uma contribuição à disciplina Equipamentos Elétricos ofertada aos alunos da ênfase de eletrotécnica quanto uma contribuição de material técnico para o LAT.

Nos próximos capítulos serão apresentados mais claramente as atividades desempenhadas bem como, em anexo, o guia aprimorado para experimento de medição de resistência de aterramento e resistividade do solo.

# Capítulo 2

## O LAT

As atividades do estágio foram realizadas no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente, o LAT é o laboratório de alta tensão mais bem equipados do Norte-Nordeste do país, possuindo uma área construída de  $1.050 m^2$ .

O LAT tem como finalidade principal o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas com a ênfase de eletrotécnica, no âmbito do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.

Em 1974, o LAT começou a ser implantado. A sua criação foi subsidiada por uma associação de recursos nacionais com cooperações técnicas internacionais.

O LAT possui equipamentos sofisticados, sendo, esses, avaliados em uma soma que ultrapassa três milhões de dólares. Atualmente, possui um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos.

Uma das atividades realizadas no LAT é o ensaio elétrico de equipamentos e dispositivos diversos, relacionados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Além disso, também são realizados ensaios de recebimento, pós-reparos, eletromecânicos e de apoio à pesquisa e desenvolvimento. Diversas empresas já solicitaram os serviços do LAT, pode-se citar a: CHESF, PETROBRÁS, CELB, SAELPA, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, ENERGISA, entre outras.

Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório: Sala do Laboratório de Materiais Elétricos; Salão de Alta Tensão (Fig. 2.1a); Sala do Gerador de Impulso de Corrente; Sala do Kit de Alta Tensão; Sala do Laboratório de Descargas Parciais; Sala do Laboratório de Instalações Elétricas.



(a) Salão de Alta Tensão do LAT. (b) Terminal da Cascata de Transformadores (até 600kV). (c) Gerador de Impulso de Tensão funcionando.

**Figura 2.1** – Imagens do LAT.

Dentre os equipamentos mais importantes do LAT estão: Transformadores de potência ligados em cascata que permitem a geração de até 600 kV (Fig. 2.1b), em corrente alternada; Gerador de Impulsos de Alta Tensão, 700 kV e 36 kJ (Fig. 2.1c); Gerador de impulsos de Alta Corrente, 100 kA, 100 kV; Kit didático para Alta Tensão, 100 kV; Detector de descargas parciais; Ponte Schering e capacitores padrão.

## Capítulo 3

### Ensaio de Luvas

Durante o estágio, o discente participou de ensaios para testes de Equipamento de Proteção Individual, em especial, luvas de alta tensão, as quais são utilizadas por técnicos durante manipulação, manutenção e instalação de equipamentos ou sistemas de distribuição. Na Figura 3.1 é apresentada o modelo de luva que foi ensaiado.



**Figura 3.1** – Modelo de luvas ensaiadas.

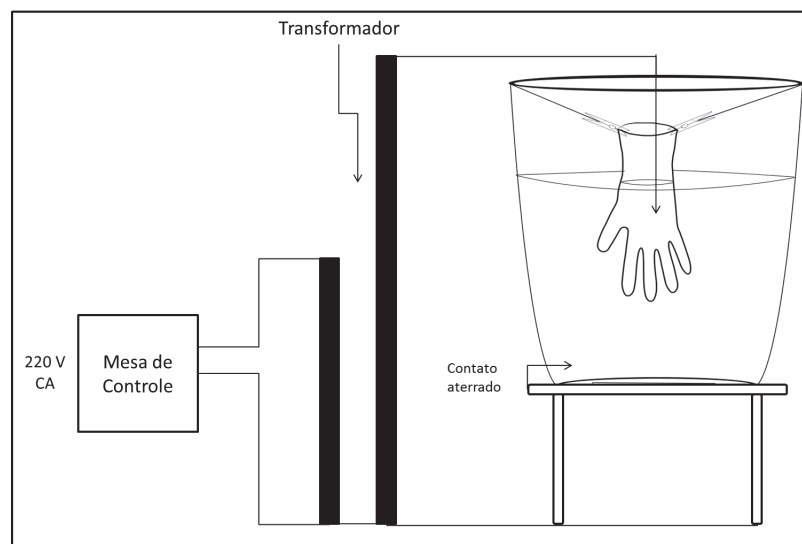
O ensaio das luvas consiste na aplicação de tensão entre a parte interna e externa da luva e a verificação da corrente de fuga. Se a luva estiver em condição adequada, a corrente de fuga será pequena, uma vez que a borracha da luva está isolando eletricamente a parte externa da parte interna da luva. No entanto, caso exista algum defeito ou furo na luva, a fonte de tensão será curto circuitada e a corrente que fluirá da parte interna para a parte externa da luva será elevada. Portanto, a condição operacional da luva é averiguada avaliando-se a corrente de fuga.

Para que toda a superfície da luva seja verificada, o seu interior é preenchido com água e, após isso, a luva é colocada em um recipiente preenchido com água. Um eletrodo

com alta tensão é posicionado em contato com a água que está dentro da luva e outro eletrodo, aterrado, é colocado em contato com a água que está externa à luva, dentro do recipiente. Assim, nesse arranjo, a luva torna-se o único material que isola eletricamente a água interna da água externa que está no recipiente.

### 3.0.1 Metodologia

As luvas ensaiadas foram fabricadas para serem utilizadas em trabalhos de alta tensão. Assim, na sua verificação é utilizado um transformador elevador cujo primário é conectado à tensão da rede elétrica 220 V 60Hz e, através de uma mesa de controle, a tensão no secundário é controlada assumindo valores de até 100 kV, conforme apresentado na Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Arranjo para ensaio de luvas.

O ensaio das luvas requer a aplicação de uma tensão em frequência industrial, conforme a Tabela 3.1. Os equipamentos utilizados na montagem do circuito para ensaio são:

- Transformados elevador (Tensão Mínima no secundário = 10 KV, potência mínima 5 kVA);
- Divisor de tensão capacitivo ou resistivo, de alta impedância, para medição da tensão no secundário do transformador;

- Reservatório com água;
- Pegadores ou clipadores para suspender a luva;
- Mesa de controle;
- Condutores com bitola mínima adequada;
- Apoios e traves isolantes.

A montagem do circuito para a realização do ensaio é apresentada na Figura 3.2.

**Tabela 3.1** – Valores de tensão adotados nos ensaios das luvas.

Classe da Luva	Altura da Parte Emersa	Tensão de Ensaio (V)	Tensão Máxima de Uso (V)	Corrente de Fuga Máxima (mA)			
				Luva de 257 mm	Luva de 356 mm	Luva de 406 mm	Luva de 457 mm
00	38 mm	2500	500	6	10	12	14
0	38 mm	5000	1000	8	12	14	16
1	38 mm	10000	7500	-	14	16	18
2	64 mm	20000	17000	-	16	18	20
3	89 mm	30000	26500	-	18	20	22
4	127 mm	40000	36000	-	-	22	24



## Capítulo 4

# Treinamento para Operação do Gerador de Impulso de Corrente

O discente contribuiu, como instrutor, no treinamento de alunos do curso de graduação de engenharia elétrica da UFCG, de forma que esses pudessem compreender o Gerador de Impulso de Corrente (GIC), suas especificidades, medidas de segurança e estivessem aptos a operá-lo.

O GIC é um dos equipamentos mais importantes do LAT. Poucas instituições no Brasil dispõem desse equipamento. O mesmo tem sido utilizado para diversos objetivos, tais como: ensaios de equipamentos e pesquisas envolvendo aterramentos e para-raios. A Figura 4.1 apresenta uma foto do GIC, abrigado no LAT.

Basicamente, o GIC é um circuito capaz de gerar correntes impulsivas de elevadas magnitudes (até 100 kA) em um intervalo de tempo da ordem de microssegundos ( $\mu s$ ). Seu funcionamento consiste no carregamento suave de capacitores de potência e descarregamento instantâneo, gerando uma corrente impulsiva. O objeto de teste, ao qual deseja-se aplicar a alta corrente, é colocado na malha de descarregamento, de forma que toda a corrente de descarregamento dos capacitores passe pelo objeto de teste.

As Figuras, 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam o circuito e os elementos do GIC. No qual encontra-se um transformador elevador, de alta tensão; uma mesa de controle para controlar a tensão no secundário do transformador e, portanto, a tensão de carregamento dos capacitores; um diodo retificador ( $D$ ) para que seja possível o carregamento dos capacitores ; capacitores de potência de  $1 \mu F$ ; resistências de amortecimento ( $R$ ); um *Gap* (SG) cuja distância entre as duas semiesferas é controlada pela mesa de controle; um

indutor ( $L$ ); o objeto de teste (no caso: um varistor de Óxido de Zinco); um resistor *shunt* ( $R_{shunt}$ ) para medição da corrente que passa pelo objeto de teste; uma ponta de prova de alta tensão para medição da tensão no objeto de teste; um sistema/haste de aterramento; um osciloscópio para medição das formas de onda da corrente e tensão no objeto de teste.

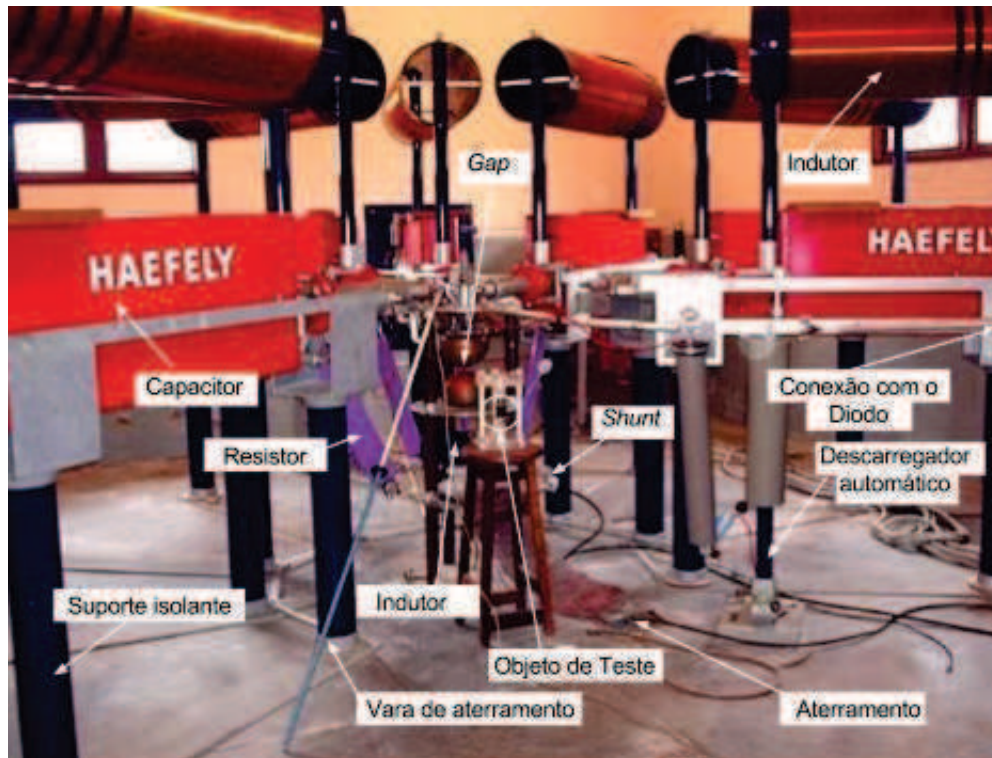


Figura 4.1 – Elementos do GIC.

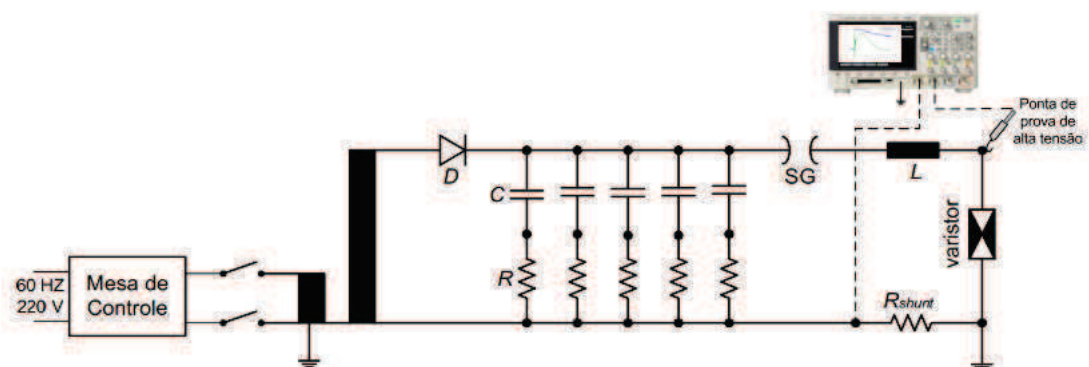
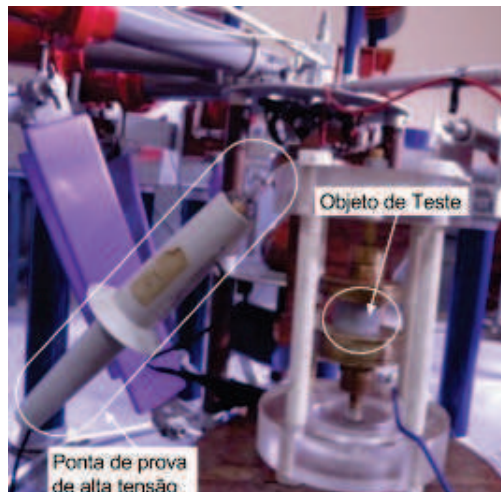


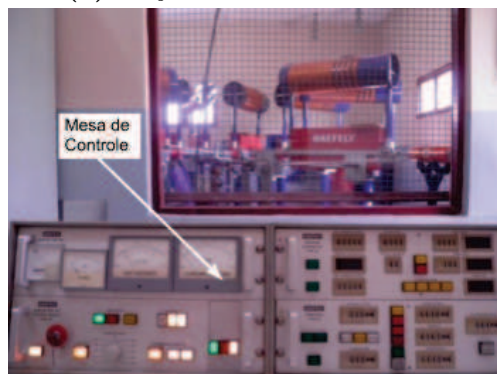
Figura 4.2 – Circuito do Gerador de Impulso de Corrente (GIC).



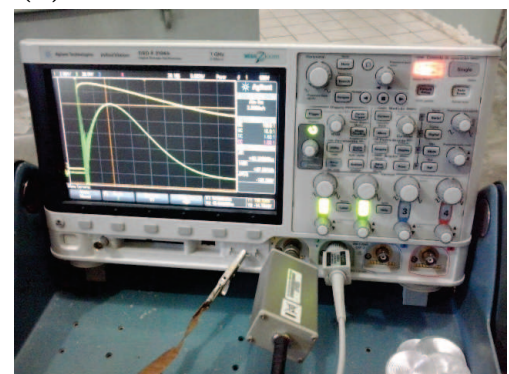
(a) Objeto de teste



(b) Transformador e diodo.



(c) Mesa de controle.



(d) Osciloscópio.

**Figura 4.3** – Outros elementos do GIC.

Os valores de resistência ( $R$ ), indutância ( $L$ ) e capacitância ( $C$ ) devem ser ajustados de forma que seja obtida uma corrente com magnitude, tempo de frente e tempo de cauda desejados. Para isso, o GIC dispõe de oito capacitores de  $2 \mu F$ , diversos *kits* de resistores e vários indutores. Os quais devem ser combinados de forma tal que seja obtida a corrente com forma de onda desejada.

## 4.1 Cuidados Importantes

O GIC é um equipamento que possui capacitores de potência capazes de manter uma tensão da ordem de kV em seus terminais. Além disso, são elementos que no seu descarregamento transferem grandes quantidades de energia instantaneamente, podendo produzir

correntes da ordem de kA. Uma corrente de 100 mA é suficiente para causar fibrilação do coração e ocasionar mortes. Assim, as tensões e correntes em que os capacitores do GIC operam são extremamente letais. Dessa forma, é um equipamento que deve ser utilizado com extrema cautela. Deve-se tomar cuidados especiais principalmente com os capacitores, uma vez que são os elementos que armazenam toda a energia que é descarregada sobre o objeto de teste.

Mesmo após o descarregamento os capacitores do GIC ainda apresentam uma tensão residual que pode ser letal.

O GIC possui descarregador automático que funciona como proteção para os que estão trabalhando no laboratório. Tal descarregador curto-circuita os capacitores após a aplicação do impulso de corrente, descarregando a carga residual. Assim, evita-se que alguma pessoa entre no recinto do GIC e, tocando alguma parte do circuito, seja submetida a um choque elétrico devido à tensão residual sobre os capacitores.

Como proteção adicional para o usuário do GIC, deve-se utilizar a vara de aterramento e tocar, com sua ponta metálica, os terminais dos capacitores para descarregá-los. Após tocar-se os terminais dos capacitores com a vara, a mesma deve ser mantida em contato com o nó em que todos os capacitores estão conectados (conforme a Fig. 4.1). Só após esse procedimento é que se pode manipular o circuito e elementos do GIC. Assim, caso o descarregador automático falhe, por esse outro meio, evita-se choques letais devido aos capacitores. Toda vez que a porta gradeada do GIC for aberta, deve-se utilizar a vara de aterramento tocando os capacitores e, por fim mantê-la, no nó central do circuito.

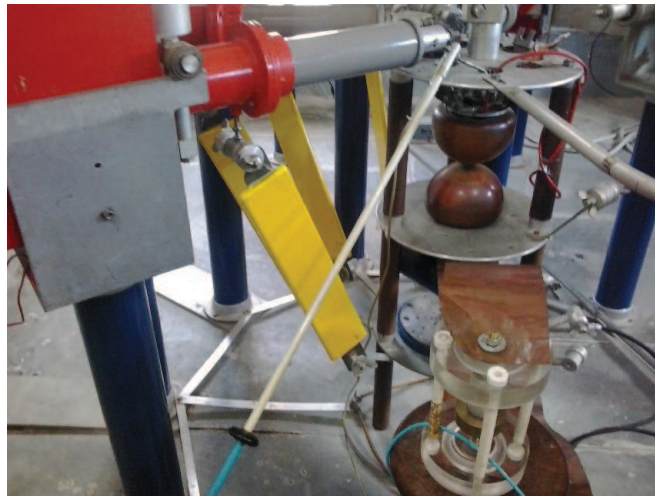
Ao término das manipulações no circuito do GIC, deve-se retirar a vara de aterramento do circuito e suspendê-la em uma haste metálica, posicionada próxima ao canto superior direito da porta gradeada.

## 4.2 Procedimentos Para Ensaios

Os procedimentos sequenciais sugeridos na utilização do GIC para aplicação de um impulso de corrente em um objeto de teste são:

1. Certificar-se de que a vara de aterramento está tocando o nó central no qual todos

os capacitores estão conectados (Fig. 4.4);



**Figura 4.4** – Vara tocando o nó central do circuito.

2. Averiguar a integridade do cabo metálico que conecta a ponta da vara de aterramento ao aterramento ou malha de aterramento;
3. Caso a vara de aterramento não esteja tocando os terminais dos capacitores no nó central, deve-se tocar todos os terminais dos capacitores com a ponta metálica da vara (Fig. 4.5) e, então, deixar a vara em repouso, mas em contato permanente com o nó central;



**Figura 4.5** – Vara tocando o terminal de um capacitor.

4. Montar o circuito de forma que o número desejado de capacitores esteja conectado no nó central. Semelhantemente, deve-se acoplar ou conectar ao circuito os resistores,

indutores e resistores *shunt* desejados. Esses componentes são apresentados na Figura 4.6.



(a) Resistores.



(b) Indutores.



(c) Resistores *Shunt*.



(d) Capacitor.

**Figura 4.6** – Elementos do GIC a serem escolhidos.

5. Conectar o objeto de teste ( um exemplo é apresentado na Fig. 4.7);



**Figura 4.7** – Objeto de teste: cilindro de alumínio em série com um bloco varistor de mesmo formato e dimensão.

6. Osciloscópio:

- (a) Conectar o osciloscópio para visualização das formas de onda da tensão e corrente no objeto de teste.

- (b) Utilizar no osciloscópio cabo de força com apenas dois pinos (fase e neutro) ou adaptador, de forma que o pino de terra do cabo de força do osciloscópio não seja utilizado.
  - (c) Ligar osciloscópio;
  - (d) Conectar a ponta de prova de alta tensão nos terminais do objeto de teste;
  - (e) Conectar a ponta de prova de corrente no cabo coaxial que está ligado ao resistor *Shunt*;
  - (f) Ajustar, no osciloscópio, o time/Div, Volt/Div, fatores de atenuação das pontas de prova e o *trigger*, de forma que possa ser capturada a forma de onda completa da tensão e corrente. Fazer esses ajustes considerando as formas de onda que previamente espera-se e o valor do resistor *shunt* escolhido.
7. Averiguar se o circuito está montado conforme desejado e se não há nenhuma situação de possível perigo: cabos mal conectados, fio terra mal conectado com a malha de aterramento, etc;
8. Retirar a vara de aterramento (Fig. 4.8);



**Figura 4.8** – Retirando a vara do nó central.

9. Suspender a vara de aterramento na haste posicionada próxima ao canto superior direito da porta gradeada (Fig.4.9 ).



**Figura 4.9** – Vara suspensa.

10. Fechar a porta gradeada e seu respectivo ferrolho (Fig. 4.10);



**Figura 4.10** – Porta gradeada fechada.

11. Mesa de controle:

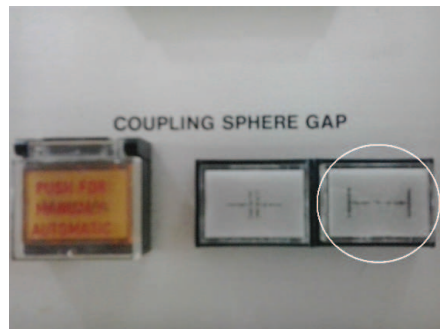
- (a) Ligar a mesa de controle através da chave rotatória (Fig. 4.11) que fica abaixo da bancada da mesa de controle.



**Figura 4.11** – Chave para ligar a mesa de controle.



- (b) Aumentar a distância entre as duas semiesferas do *Gap*, apertando o botão de afastamento (Fig. 4.18a), até que se tenha a distância desejada (Fig. 4.18b) para o ensaio (a qual está relacionada com a tensão de carregamento que os capacitores serão submetidos);



(a) Botão para afastamento das semiesferas do *gap*.



(b) Medidor de distância do *gap*.

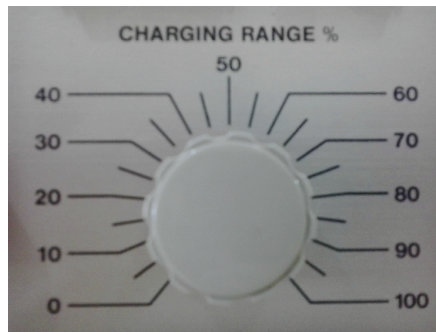
**Figura 4.12** – Aumento da distância do *gap*

- (c) Ligar o transformador apertando o respectivo botão (Fig. 4.13);



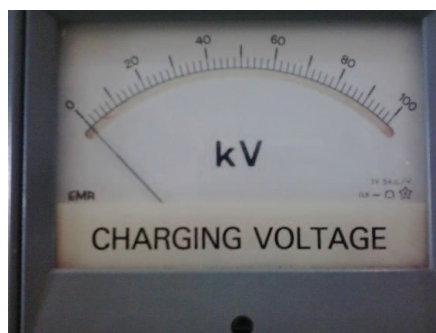
**Figura 4.13** – Botão para ligar o transformador.

- (d) Rotacionar suavemente a chave seletora (Fig. 4.13) responsável pela taxa de carregamento dos capacitores e escolher um valor de 30%. Esse valor é escolhido para que a corrente no transformado não ultrapasse 5 A;



**Figura 4.14** – Chave seletora da taxa de carregamento.

- (e) Monitorar constantemente o visor que apresenta a tensão nos capacitores (Fig. 4.15);



**Figura 4.15** – Medidor de tensão de carregamento dos capacitores.

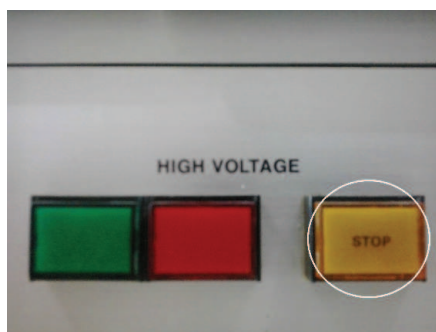
- (f) Monitorar constantemente o visor que apresenta a corrente no transformador (Fig. 4.16). Não permitir que a corrente chegue a 5 A. Para isso, deve-se diminuir a taxa de carregamento. Tal medida visa preservar os enrolamentos do transformador e evitar danificação ou diminuição da vida útil;



**Figura 4.16** – Medidor da corrente do transformador.

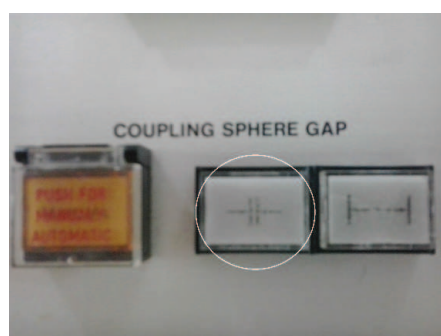
- (g) Quando a a tensão nos capacitores chegar no valor desejado pelo o operador,

deve-se apertar o botão *stop* (Fig. 4.17);



**Figura 4.17** – Botão para pausar o carregamento dos capacitores.

- (h) Aproximar as semiesferas do *Gap* pressionando o respectivo botão que diminui a distância do *Gap* (Fig. 4.18a e 4.18b). Fazer isso até que ocorra um grande estalo, indicando que a distância do *Gap* chegou a um valor tal que a rigidez dielétrica do ar foi superada e, assim, ocorreu a ruptura do ar ocasionando um arco elétrico visível e instantâneo;



(a) Botão para aproximação das semiesferas do *gap*.



(b) Medidor de distância do *gap*.

**Figura 4.18** – Diminuição da distância do *gap*

- (i) Averiguar, no visor do medidor, a tensão residual que ainda está nos capacitores.
12. Apertar o botão apresentado na Figura 4.19 para desligar o transformador e aterrar o secundário do transformador.



**Figura 4.19** – Botão para desligamento do transformador e aterramento do secundário.

13. Abrir a porta gradeada (Fig. 4.20);



**Figura 4.20** – Porta gradeada aberta.

14. Verificar novamente o medidor que mostra a tensão nos capacitores (Fig. 4.15) e averiguar se a tensão zerou. Se sim, o descarregador automático deve ter operado normalmente (o qual opera quando a porta gradeada é aberta ou quando a vara é retirada da haste na qual estava pendurada). Se não, deve estar com defeito;
15. Segurar a vara de aterramento na extremidade azul e, calmamente, tocar a outra extremidade (metálica) na partes metálicas do GIC que estiverem mais próxima do usuário (Fig. 4.21a). Após isso, tocar com a ponta da vara de aterramento nos terminais dos capacitores e outras partes metálicas do circuito (Fig. 4.21b);



(a) Tocando com a vara nas partes metálicas mais próximas ao usuário.



(b) Tocando com a vara em outras partes metálicas do GIC.

**Figura 4.21** – Procedimentos de segurança utilizando da vara de aterramento.

16. Posicionar a vara de aterramento em um posição que a sua extremidade metálica fique em repouso e em contato contínuo com o nó central, no qual estão conectados todos os capacitores (Fig. 4.22);



**Figura 4.22** – Vara de aterramento em posição estável e em contato contínuo com o nó central do GIC.

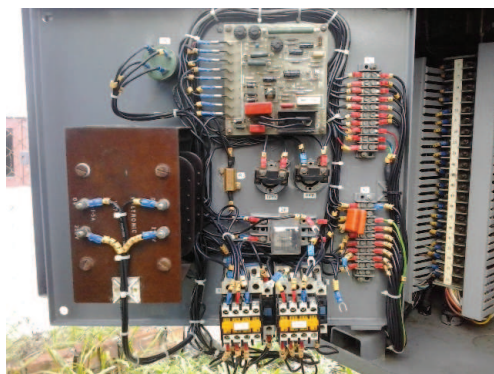
17. Verificar no osciloscópio as formas de onda de tensão e corrente capturadas (valor de pico, tempo de frente e tempo de calda);
18. Verificar o estado e integridade do objeto de teste.

## Capítulo 5

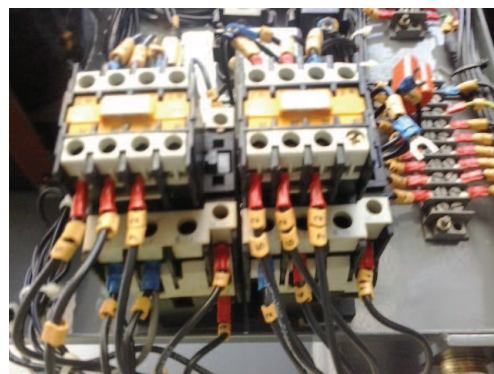
# Manutenção de Contactor

Durante o estágio do discente no LAT, surgiu a demanda de manutenção e conserto do regulador de tensão que controla a tensão na entrada da cascata de transformadores do LAT, a qual gera tensões de até 600 kV.

O regulador de tensão localiza-se em uma pequena subestação próxima ao LAT. A priori, as suspeitas de mau funcionamento foram atribuídas ao sistema de controle do regulador de tensão (Fig. 5.1a) e, em especial, à contactores antigos (Fig. 5.1b), com mais de 30 anos, que apresentavam oxidação em seus terminais. Assim, foi designado ao discente a tarefa de avaliar o contactor, realizar manutenção e teste.



(a) Quadro de controle.



(b) Contactores.

**Figura 5.1** – Quadro de controle do Regulador de Tensão.

Os contactores são dispositivos próprios para quadro de comandos e acionamento de instalações elétricas. Sua função é realizar a abertura ou fechamento de circuitos quando a sua bobina é energizada (220 V, por exemplo). Assim, por meio de um sinal de comando, os contatos normalmente abertos são imediatamente fechados e os normalmente

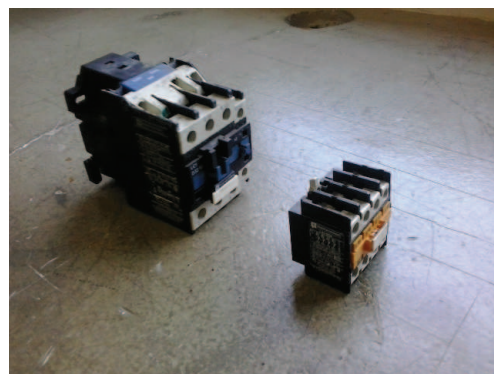
fechados são imediatamente abertos. O contactor possui partes condutoras internas que suportam o estresse elétrico devido à abertura e o fechamento repetido por diversas vezes. Para cada aplicação, deve-se escolher cotactores cuja tensão e corrente nominal sejam adequadas. No caso do contactor que foi submetido à manutenção, a sua tensão nominal é 220V e sua corrente nominal é 50 A.

Inicialmente o contactor (Fig. 5.2a e 5.2b) foi avaliado por meio de aplicação de tensão na bobina do contactor e averiguação da continuidade dos contatos normalmente abertos. Verificou-se que houve um contato normalmente aberto que não apresentou continuidade, após ser aplicada tensão na bobina. Tais contatos estavam visivelmente oxidados (Fig. 5.2c). Os procedimentos de manutenção realizados foram:

1. **Teste e verificação de contatos defeituosos:** a bobina do contactor foi energizada e os contatos principais foram averiguados. Um contato normalmente aberto não estava apresentando boa continuidade;
2. **Abertura e desmonte de todas a peças do contactor:** o contactor foi aberto cuidadosamente, evitando-se danificação por abertura imprópria (Fig. 5.2d).
3. **Banho antioxidante por mais de 24h:** todas as partes metálicas foram colocadas em depósito e, posteriormente, foi aspergido antioxidante;
4. **Curetagem e raspagem cuidadosa das partes fortemente oxidadas:** esse procedimento foi realizado cuidadosamente para evitar danificações dos contatos ou rugosidade excessiva.
5. **Montagem de todas a peças;**
6. **Teste para averiguar o contactor:** buscou-se verificar o funcionamento e se não houve nenhum defeito de montagem. Utilizou-se uma bancada didática de instalações elétrica (Fig. 5.3a), disponível no LAT. A bobina do contactor foi energizada com a tensão da rede (Fig. 5.3b) e verificou-se a continuidade dos contatos normalmente abertos e normalmente fechados. Esse teste foi realizado mais de uma vez.



(a) Contactor escolhido.



(b) Contactor e expansor.

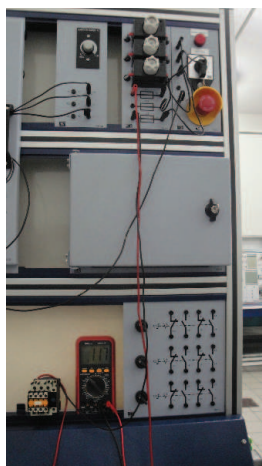


(c) Parafusos oxidados.

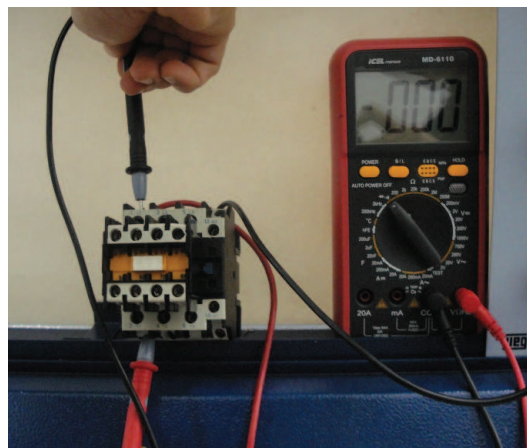


(d) Desmonte.

**Figura 5.2** – Quadro de controle do Regulador de Tensão e contactor escolhido para manutenção.



(a) Montagem para teste de verificação.



(b) Verificação de continuidade.

**Figura 5.3** – Testes de verificação após manutenção.



## Capítulo 6

# Aprimoramento de Guia para Experimento de Medição de Resistência de Aterramento e Resistividade do Solo

Como atividade de estágio o discente foi designado à aprimorar o guia para experimento de medição de resistência de aterramento e resistividade do solo. Tal guia experimental é utilizado na disciplina Equipamentos Elétricos. O aprimoramento deu-se principalmente pela integração de procedimentos necessário à utilização do Terrômetro AEMC-6472 disponível no LAT. Dessa forma, pôde-se elaborar um material que facilitasse tanto o entendimento da teoria inerente ao assunto de aterramentos quanto o entendimento da utilização do Terrômetro específico. Anexado a este relatório encontra-se o Guia de Experimento: Medição de Resistência de um Sistema de Aterramento e de Resistividade do Solo.

# Capítulo 7

## Conclusões

Durante o estágio, discente teve oportunidade de acompanhar ensaios em luvas, ministrar treinamento para a utilização do GIC, realizar manutenção em contactor e aprimorar um Guia experimental de Aterramentos. Tais atividades contribuíram para o aprendizado e desenvolvimento de habilidades na área de eletrotécnica. Além disso, o discente pôde contribuir com o LAT, de forma houvesse ganhos técnicos durante a realização do estágio. Assim, os objetivos educacionais do estágio foram sanados.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
LABORATÓRIO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

## Guia de Experimento

### Medição de Resistência de um Sistema de Aterramento e de Resistividade do Solo

Autores:

Ana Vitória de Almeida Macêdo

Prof. Edson Guedes da Costa

Supervisão:

Prof. Edson Guedes da Costa

Prof. George Rossany Soares de Lira

Revisão:

Felipe Lucena Araújo

Gabriel Vidal Negreiros Bezerra

João Marcelo Costa Leal

João Vinicius Gomes Alves

Renato Andrade Freitas

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Setembro de 2014

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>iv</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vi</b>
<b>1 Sistemas de Aterramento</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos do Sistema de Aterramento . . . . .	1
1.2 Introdução . . . . .	2
1.3 Topologias . . . . .	3
1.4 Procedimentos para Medição da Resistência de Sistema ou Malha de Aterramento . . . . .	5
1.4.1 Objetivos . . . . .	5
1.4.2 Material Utilizado . . . . .	5
1.4.3 Terrômetro AEMC-6472 . . . . .	5
1.4.4 Procedimentos Experimentais . . . . .	7
1.4.5 Considerações Importantes . . . . .	9
1.4.6 Medições . . . . .	11
Método Completo . . . . .	11
Passos . . . . .	11
Método dos 62% . . . . .	14
1.4.7 Medição de Resistências de Aterramento Muito Pequenas . . . . .	15
Passos . . . . .	16
1.4.8 Análise das Medições e Comentários . . . . .	17
<b>2 Resistividade do Solo</b>	<b>18</b>
2.1 Introdução . . . . .	18

---

2.2	Composição Geológica . . . . .	19
2.3	Umidade . . . . .	20
2.4	Composição Química (Salinidade) . . . . .	21
2.5	Temperatura . . . . .	22
2.6	Aterramento de Segurança . . . . .	22
2.6.1	Caracterização de Condições de Risco . . . . .	22
2.7	Procedimentos para Medição da Resistividade do Solo . . . . .	23
2.7.1	Objetivos . . . . .	23
2.7.2	Material Utilizado . . . . .	24
2.7.3	Procedimentos Experimentais . . . . .	24
2.7.4	Considerações Importantes . . . . .	26
2.7.5	Medições . . . . .	27
	Passos: Método Wenner . . . . .	28
2.7.6	Análise das Medições e Comentários . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Anexo I</b>	<b>31</b>
	TecAt Plus 5.2 <sup>©</sup> . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Anexo II</b>	<b>33</b>
	Modificando o Método de Medição da Resistividade . . . . .	33
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>35</b>

# Lista de Figuras

1.1	Representação de um sistema de aterramento simples (um eletrodo).(SOUZA JÚNIOR, 2007) . . . . .	3
1.2	Representação de um sistema de aterramento com hastes em triângulo. . .	4
1.3	Representação de um sistema de aterramento com hastes em quadrado. . .	4
1.4	Representação de um sistema de aterramento com hastes alinhadas. . . . .	4
1.5	Terrômetro AEMC-6472 (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	6
1.6	Montagem para medição da resistência de aterramento (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	8
1.7	Curva do valor da resistência medida, durante a distância H-E (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	9
1.8	Modificação da posição e direção do arranjo de medição para averiguar confiabilidade na medição (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	10
1.9	(AEMC INSTRUMENTS, 2014) . . . . .	12
1.10	(AEMC INSTRUMENTS, 2014) . . . . .	13
1.11	(AEMC INSTRUMENTS, 2014) . . . . .	13
1.12	Montagem para o método dos 62% (com apenas uma medição) (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	15
1.13	Montagem para o método dos 62% com duas medições adicionais (52% e 72%), para aumento de confiabilidade (AEMC INSTRUMENTS, 2014). . .	15
1.14	(AEMC INSTRUMENTS, 2014) . . . . .	16
1.15	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	16
1.16	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	16
2.1	Efeito da umidade na resistividade do solo. (VISACRO, 2002) . . . . .	21

---

2.2	Equivalente elétrico do corpo humano e tensões de risco. (IEC Std. 479-1; IEEE Std. 80; IEEE Std. 81, 1984, 2000, 1983 apud SINAES, 2008) . . . .	23
2.3	Método de Wenner. . . . .	24
2.4	Método de Wenner. (GODOY; FRAGA, 2011) . . . . .	25
2.5	Configuração da medição de resistividade pelo Método de Wenner. . . . .	25
2.6	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	28
2.7	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	28
2.8	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	29
2.9	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	29
3.1	Dados de resistividade. . . . .	32
4.1	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	33
4.2	(AEMC INSTRUMENTS, 2014). . . . .	33

# Lista de Tabelas

1.1	Resistências medidas no sistema . . . . .	14
2.1	Fatores que afetam a resistividade do solo (VISACRO, 2002) . . . . .	19
2.2	Resistividade para diferentes solos (VISACRO, 2002). . . . .	20
2.3	Influência da composição química na resistividade do solo (VISACRO, 2002) . . . . .	21
2.4	Resistências medidas no terreno, nas direções (linhas imaginárias) de A a F.	30



# Capítulo 1

## Sistemas de Aterramento

### 1.1 Objetivos do Sistema de Aterramento

Aterrar os sistemas, ou seja, ligar intencionalmente à carcaça de um equipamento um condutor fase ou o que é mais comum, o neutro à terra, tem por objetivo controlar a tensão dentro de limites previsíveis. O aterramento também fornece um caminho para a circulação de corrente, o que irá permitir a detecção de uma ligação indesejada entre os condutores vivos e a terra, o que provocará a operação de dispositivos automáticos que removerão a tensão nos condutores.

O controle das tensões, em relação à terra, limita o esforço da tensão na isolação dos condutores, diminui as interferências eletromagnéticas e permite a redução dos perigos de choque para as pessoas que poderiam entrar em contato com os condutores vivos (SOUZA JÚNIOR, 2007).

Diante do exposto, os sistemas de aterramento possuem como principais finalidades:

- Limitar as sobretensões em caso de faltas;
- Permitir a circulação da corrente de falta, com valores mais elevados, ocasionando a atuação das proteções de maneira mais rápida e eficiente;
- Manter os valores de tensão entre estruturas metálicas e terra dentro dos valores considerados admissíveis sob o ponto de vista de segurança;
- Proporcionar o devido escoamento de eletricidade estática para a terra;

- Proporcionar o escoamento para a terra das descargas atmosféricas e/ou sobre-tensões de chaveamento ou manobra;
- Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível para correntes de falta à terra;
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança de modo a não causar fibrilação do coração humano;
- Usar a terra como retorno de corrente do sistema MRT, isto é, Sistema Monofilar com Retorno por Terra.

A eficiência dos sistemas de aterramento depende fundamentalmente do método de distribuição nas estruturas, do sistema de eletrodos usado, da resistividade do solo e da eficiência em todas as conexões existentes na malha.

## 1.2 Introdução

As instalações elétricas de alta e baixa tensão devem ser conectadas a um sistema de aterramento eficiente. De acordo com Visacro (2002) , entende-se aterramento pela ligação elétrica de um equipamento ou componente de um sistema elétrico à terra por meio de dispositivos condutores de eletricidade adequados. É válido observar que de acordo com Sotille e Hirakawa (2008) , terra é massa condutora do solo num dado local ou, por extensão, uma massa metálica a ele ligada permanentemente. Sendo assim, um sistema de aterramento tem por finalidade: 1) segurança de atuação dos dispositivos e equipamentos de proteção; 2) proteção das instalações contra descargas atmosféricas; 3) e principalmente segurança de pessoas e animais. A segurança pode ser entendida como a proteção contra contatos com partes metálicas energizadas (tensão de toque) e a uniformização do potencial de uma malha de aterramento, prevenindo o crescimento dos potenciais elétricos na sua superfície (tensão de passo).

De acordo com Sotille e Hirakawa (2008), define-se um sistema de aterramento como o conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não entre si, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função

de aterramento, tais como: cabos pára-raios, torres e pórticos; armaduras de edificações; capas metálicas de cabos, tubulações e outros. Desse modo, entende-se eletrodo de aterramento como um condutor enterrado no solo, eletricamente ligado a ele, ou condutor embutido em concreto quer, por sua vez, está em contato com o solo através de uma grande área, conforme pode ser visto na Figura 1.1.

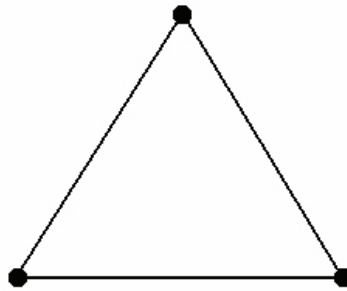


**Figura 1.1** – Representação de um sistema de aterramento simples (um eletrodo).(SOUZA JÚNIOR, 2007)

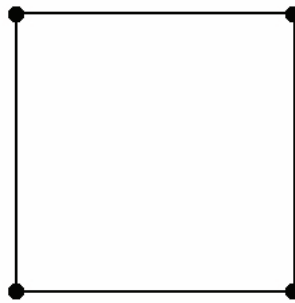
### 1.3 Topologias

As topologias de malhas de aterramento mais comuns são apresentadas abaixo:

- Uma haste cravada no solo, Figura 1.1;
- Hastes dispostas triangularmente, Figura 1.2;
- Hastes em quadrado, Figura 1.3;
- Hastes alinhadas, Figura 1.4;
- Placas metálicas enterradas no solo;
- Fios ou cabos enterrados no solo, formando várias configurações:
  - em quadrado formando uma malha de terra;
  - em cruz;
  - estendido em vala comum;
  - em estrela.



**Figura 1.2** – Representação de um sistema de aterramento com hastes em triângulo.



**Figura 1.3** – Representação de um sistema de aterramento com hastes em quadrado.



**Figura 1.4** – Representação de um sistema de aterramento com hastes alinhadas.

Normalmente as hastes de terra são cravadas de forma vertical. Elas são utilizadas principalmente quando as camadas mais profundas do solo apresentam maior condutividade. Já os eletrodos horizontais são utilizados quando a maior preocupação é o controle do gradiente ou diferença de potencial na superfície do solo. Os eletrodos horizontais são usualmente enterrados a uma profundidade de 50 cm.

O valor da resistência de aterramento ( $R_t$ ) pode ser quantificado pela relação entre a tensão aplicada a um aterramento e a corrente resultante. A oposição do solo à injeção de uma corrente elétrica através dos eletrodos é expressa pela Impedância de Aterramento, visto que o solo, dependendo da frequência da corrente injetada, pode apresentar resistência, capacitância e indutância. Como neste guia a preocupação é estudar o comportamento da corrente em baixa frequência, dar-se-á ênfase à resistência de ater-

ramento. Sendo assim, pode-se concluir que uma baixa resistência do solo é um fator primordial para se construir um sistema de aterramento eficiente, de modo a ocorrer mais facilmente o escoamento de correntes indesejadas nos circuitos presentes nas instalações elétricas.

## 1.4 Procedimentos para Medição da Resistência de Sistema ou Malha de Aterramento

### 1.4.1 Objetivos

Medir a resistência de um sistema de aterramento utilizando o aparelho Megger. O sistema de aterramento a ser medido deverá ser definido pelo monitor ou professor.

### 1.4.2 Material Utilizado

- Terrômetro AEMC-6472;
- Malha de terra;
- Condutores elétricos;
- Hastes de aterramento;
- Fita métrica.

### 1.4.3 Terrômetro AEMC-6472

O terrômetro que será utilizado para a realização das medições será o AEMC-6472, o qual é um equipamento portátil, concebido para realizar medições ou testes de:

- **Resistência de Sistema de Aterramento (3-Polos ou 4-Polos)**
- **Resistividade do Solo** (métodos **Wenner** e Schlumberger)
- Resistência de Conexão (2-Polos e 4-Polos Sensoreamento Kelvin)
- Resistência de acoplamento de Aterramento.
- Resistência seletiva de Aterramento

- Potencial de Terra
- Resistência de Aterramento com 2 Alicates (sem hastes auxiliares)
- Resistência de Aterramento de Torres (Necessita de equipamento auxiliar: GroundFlex® Adapter Model 6474)

Para os fins deste guia, serão utilizadas apenas as funções: Resistência de Aterramento (3-Polos) e Resistividade do Solo (método Wenner). A Figura 1.5 apresenta as partes básicas do Terrômetro.

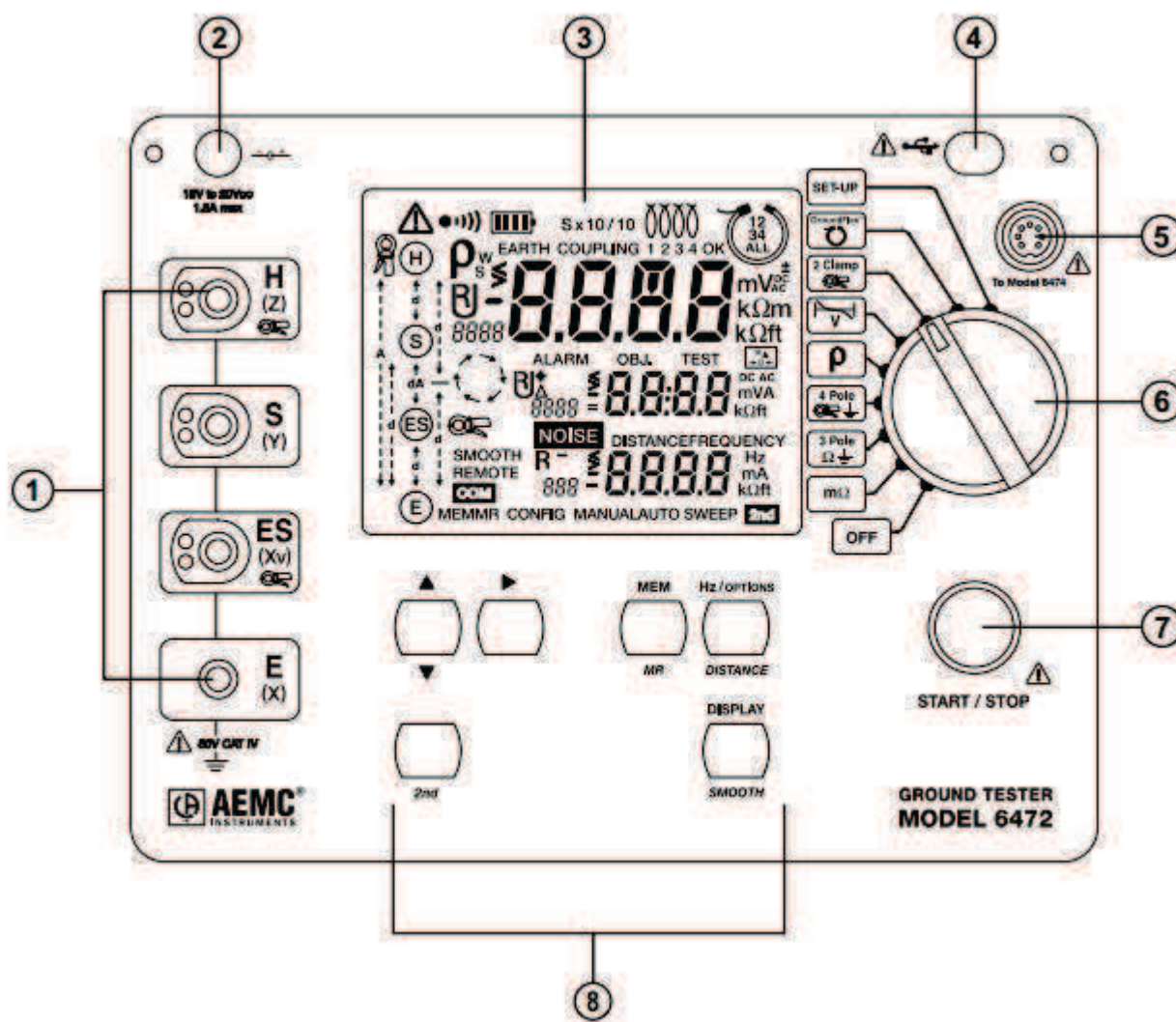


Figura 1.5 – Terrômetro AEMC-6472 (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

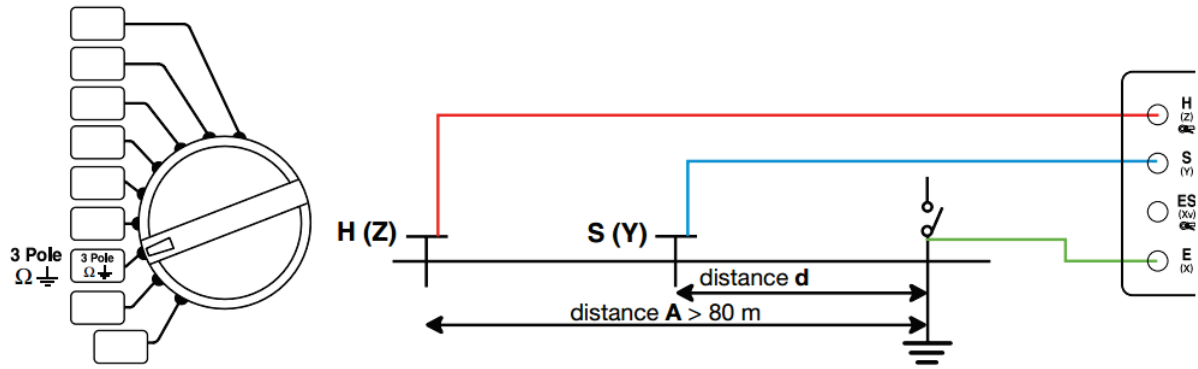
1. Quatro terminais:

- **H(Z)**: Eletrodo auxiliar,
  - **S(Y)**: Eletrodo,
  - **ES(Xv)**: Eletrodo de Terra/Solo
  - **E(X)**: Eletrodo de Terra/Solo
2. Conector para carregamento da bateria.
  3. Visor LCD.
  4. Conector para uma interface óptica com um PC. (Conexão RS-232 ou USB podem ser utilizadas)
  5. Terminal para conectar o módulo extra GroundFlex® Adapter Model 6474.
  6. Seletor de Função: posição OFF, 7 funções de medição e função SET-UP.
  7. Botão START/STOP: Inicia a medição.
  8. Botão de seis funções.

#### 1.4.4 Procedimentos Experimentais

A medição da resistência de terra pode ser feita através do "Medidor de Resistência de Terra" ou Terrômetro. O processo consiste, basicamente, em se aplicar uma tensão entre o aterramento a ser medido e o aterramento auxiliar (eletrodos fixos ou eletrodos de corrente) e medir a resistência do terreno até o ponto desejado (eletrodo móvel ou eletrodo de tensão).

Neste experimento será utilizado o aparelho Terrômetro AEMC-6472. O esquema de ligação deve ser utilizado conforme a Figura 1.6. O ponto eletrodo **E(X)** é o barramento de aterramento da malha, os eletrodos **S(Y)** e **H(Z)** são, respectivamente, os eletrodos de prova de tensão e corrente.



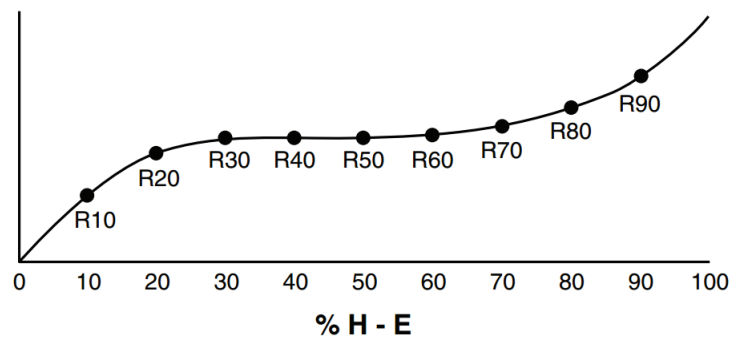
**Figura 1.6** – Montagem para medição da resistência de aterramento (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

O método de medição consiste em medir a resistência do aterramento em função da queda de potencial usando um eletrodo terra auxiliar, constituindo uma estrutura composta por uma haste de injeção de corrente  $\mathbf{H}(\mathbf{Z})$ , uma haste de medição de potencial  $\mathbf{S}(\mathbf{Y})$  e a resistência do aterramento a ser medida  $\mathbf{E}(\mathbf{X})$ , conforme a Figura 1.6.

O eletrodo de corrente  $\mathbf{H}(\mathbf{Z})$  é cravado a uma distância  $\mathbf{A}$  do aterramento e permanecerá fixo. O eletrodo de potencial  $\mathbf{S}(\mathbf{Y})$  é cravado entre o aterramento  $\mathbf{E}(\mathbf{X})$  e a haste de corrente  $\mathbf{H}(\mathbf{Z})$ , a uma distância  $\mathbf{d}$  do aterramento. Injeta-se uma corrente no eletrodo de corrente  $\mathbf{H}(\mathbf{Z})$  e é medida a diferença de potencial entre o eletrodo de potencial  $\mathbf{S}(\mathbf{Y})$  e o aterramento  $\mathbf{E}(\mathbf{X})$ . O valor da resistência do aterramento é fornecido no *display* do terrômetro .

Na Figura 1.7, é apresentado o gráfico da resistência do eletrodo  $\mathbf{S}(\mathbf{Y})$  versus sua distância,  $\mathbf{d}$  ou  $\%(\mathbf{H}-\mathbf{E})$ , até a haste de aterramento . Nessa figura pode ser observada uma região na qual a resistência medida se mantém constante (região de patamar), o valor medido da resistência na região de patamar é a resistência de aterramento.





**Figura 1.7** – Curva do valor da resistência medida, durante a distância H-E (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

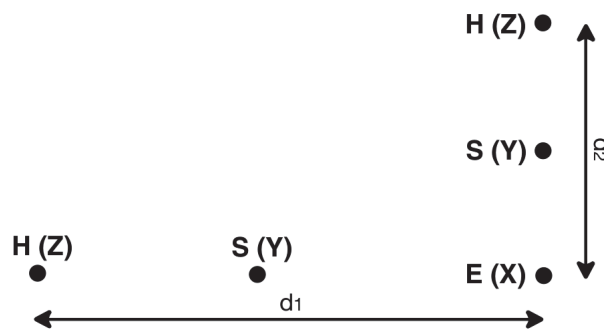
### 1.4.5 Considerações Importantes

Antes de iniciar a medição, deve-se calibrar o aparelho de modo a deixá-lo pronto. Conforme o local da medição, às vezes, pode-se ter variações no resultado de uma mesma medição. Isto ocorre devido às interferências e influências que o aparelho capta do solo, através do eletrodo móvel, pois a tensão que se aplica aos eletrodos fixos é baixa e resulta correntes da ordem de 1 a 10 mA. Porém, em condições normais, devido a correntes de desequilíbrio de carga em sistemas aterrados e correntes de consumidores monofásicos com retorno pela terra, circula uma corrente pela terra da ordem de várias centenas de miliampéres. A tensão resultante no eletrodo móvel será, pois, devido à soma vetorial da corrente injetada no solo e da já existente. Tem-se, portanto, erro de medição que é função da grandeza da corrente que causa a interferência.

Um outro cuidado deve ser tomado com as interferências de ondas eletromagnéticas, as quais podem provocar discrepâncias entre medições "iguais", isto é: medições que sejam realizadas entre um curto intervalo de tempo sem que arranjo de montagem e a posição das estacas/eletrodos não sejam modificadas em nada. Essas interferências são causadas pela modulação resultante das ondas injetada e de interferência quando tiverem frequências próximas ou múltiplas. No caso mais crítico, poder-se-á encontrar valores de "resistência de terra" igual a zero, quando o valor da corrente injetada e a interferência forem iguais e defasadas de 180 graus, com a mesma frequência, pois a soma vetorial das correntes seria nula. Com o objetivo de serem evitadas interferências eletromagnéticas, é aconselhável desbobinar completamente os cabos que estão nos carretéis, deixar os cabos

o mais possível distantes uns dos outros, tomar cuidado os para não se formarem laços ou *loops* nos cabos e evitar colocar os cabos perto ou paralelamente à condutores metálicos (cabos, corrimões, cercas, etc).

Para certificar-se de que a medição não estava distorcida por interferências, é recomendável que a medição seja repetida dispondo os eletrodos auxiliares em uma distância diferente (entre si) e em outra direção (por exemplo, rotacionadas  $90^\circ$  do primeiro alinhamento), conforme a Figura 1.8.



**Figura 1.8** – Modificação da posição e direção do arranjo de medição para averiguar confiabilidade na medição (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

Se após a modificação da posição e direção da medição forem encontrados valores muito semelhantes, então o valor medido é confiável. No entanto, se as medições forem substancialmente diferentes, provavelmente a medição está sendo afetada por correntes no solo ou por mananciais ou lençóis aquáticos, subterrâneos. Nesse caso, pode ser útil cravar os eletrodos mais profundamente e/ou molhar o solo nas proximidades dos eletrodos para reduzir resistência de contato com o solo.

O Alinhamento do sistema de aterramento principal com as hastes de potencial e auxiliar deve ser respeitado para a obtenção de resultado confiável.

A distância entre o sistema de aterramento principal e a haste auxiliar deve ser suficientemente grande (20 m ou mais), para que a haste de potencial atinja a região plana do patamar. Diversas medições devem ser feitas para levantamento do gráfico (Figura 1.7).

As hastes auxiliar e de potencial devem estar limpas para possibilitar bom contato com o solo. Porém, para tal deve-se levantar o gráfico dos diversos pontos medidos no deslocamento da haste móvel, como também as medições devem ser feitas no período de

solo seco, para se obter o maior valor da resistência de terra. Se não for o caso acima, devem-se relatar as condições do solo.

Outra observação importante é quanto à energização da malha de terra. A fim da realização das medições, o sistema de aterramento a ser medido deve estar desconectado do sistema elétrico. Assim, caso exista, desconecte o cabo de descida que esteja, por ventura, conectado à haste de terra que está sendo submetida ao teste.

Após levantamento do gráfico, o valor médio do patamar será a resistência de aterramento, ou seja,  $R_T$ .

### 1.4.6 Medições


Os métodos para medição de resistência de aterramento são diversos. Aqui serão apresentados os métodos: Completo e Simplificado (método dos 62%). Em seguida serão apresentados, de forma sucinta, os procedimentos na utilização do Terrômetro AEMC-6472 para que se possa realizar a medição da resistência de aterramento, segundo um determinado método.

#### Método Completo

A função "Medição de Resistência de Aterramento (3-Polos)", disponível no Terrômetro, é a função utilizada para medir a resistência de uma haste ou sistema de aterramento com 2 eletrodos auxiliares. Inicialmente, essa deverá ser a função escolhida.

Para obtenção dos resultados, admita a distância  $A = 20$  m (embora seja desejável uma distância  $A > 80$  m). Varie  $d$  (a partir do ponto de aterramento até o eletrodo de corrente) em intervalos de  $10\% \cdot A = 2$  m, com o uso de uma fita métrica. A distância  $A$  também deve ser obtida utilizando a fita métrica. Anote os valores medidos na Tabela 1.1.

#### Passos

1. Coloque o seletor de função para  3 Pole  $\Omega \frac{1}{3}$
2. Crave os eletrodos  $H(Z)$  e  $S(Y)$  no solo, de forma que fiquem colineares juntamente com o eletrodo de terra (que está sendo testado). O arranjo da montagem deve ficar

conforme a Figura 1.6.

A distância entre os eletrodos **S(Y)** e o eletrodo de terra deve ser 10% da distância entre o eletrodo **H(Z)** e o eletrodo de terra. A distância entre os eletrodos **H(Z)** e **E(X)** deve ser 8 a 10 vezes o comprimento da haste de terra que está sendo testada. Conecte os cabos aos terminais **H(Z)** e **S(Y)** (vermelho e azul, respectivamente).

- Informe a distância **d** pressionando o botão **2nd**, depois o botão **DISTANCE**. As "centenas" vão piscar.

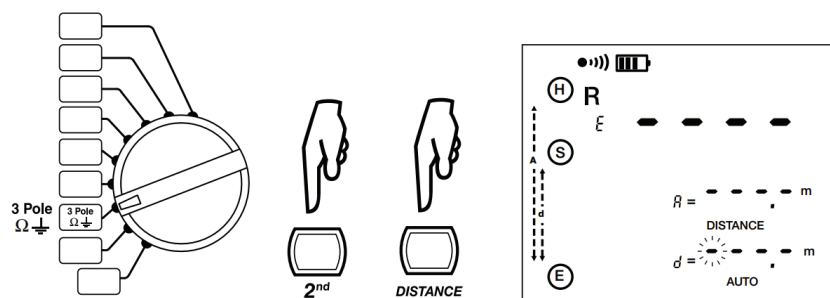


Figura 1.9 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014)

- Para modificar as centenas (de metros), pressione o botão **▲** até que o dígito desejado ser mostrado (0-9).
  - Para selecionar ou modificar as dezenas, pressione o botão **►** e depois o botão **▲** até que o dígito desejado seja mostrado (0-9).
  - Para selecionar e modificar as unidades e dezenas em uma unidade, aperte o botão **►** e depois o botão **▲** até que o dígito desejado seja mostrado (0.0-9.9).
  - Para encerrar a programação da distância, pressione o botão **2nd** e depois o botão **DISTANCE**.
- A programação da distância **A** também é necessária. Deve-se utilizar o mesmo procedimento (passos) que foram realizados para programar a distância **d**.
  - Inicie a medição pressionando o botão **START/SOTP**.

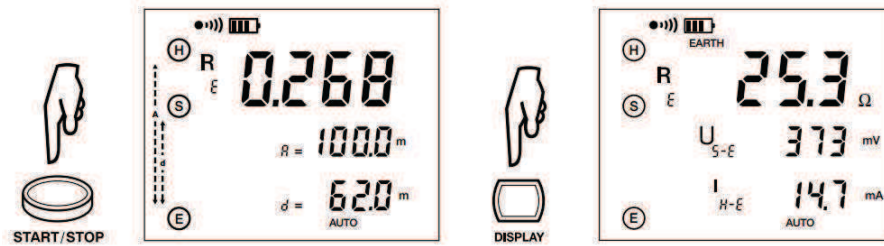


Figura 1.10 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014)

6. Para que os parâmetros da medição sejam apresentados, deve-se pressionar o botão **DISPLAY** algumas vezes. O equipamento apresentará ao usuário os parâmetros:  $R_E$ ,  $U_{S-E}$ ,  $I_{H-E}$ ,  $U - Act$  ( $U_{H-E}$  e sua frequência,  $U_{S-E}$  e sua frequência).

Para medir as resistências dos eletrodos auxiliares **H(Z)** e **S(Y)**, ou se a resistência dos eletrodos é muito elevada, inicie a medição pressionando, por mais de 2 segundos, o botão **START/STOP**. Assim, o *display* apresentará  $R_H$  e  $R_S$ .

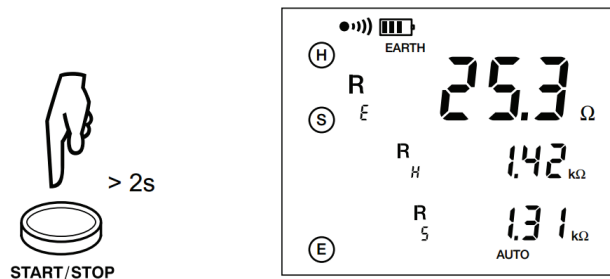


Figura 1.11 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014)

7. Anote o valor de resistência na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1** – Resistências medidas no sistema

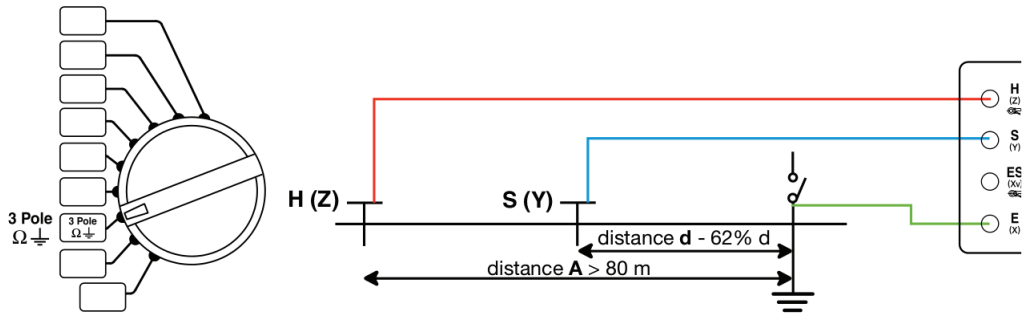
$d(m)$	$R_i(\Omega)$
2,0	
4,0	
6,0	
8,0	
10,0	
12,0	
14,0	
16,0	
18,0	

8. Repita os passos anteriores para uma distância incremental de 10% de **A**. Finalmente, plote o gráfico da Figura 1.7 e calcule a resistência de aterramento ( $R_{Aterr}$ ) fazendo a média das medições  $R40$ ,  $R50$ ,  $R60$  e  $R70$ :

$$R_{Aterr} = \frac{R40 + R50 + R60 + R70}{4}. \quad (1.1)$$

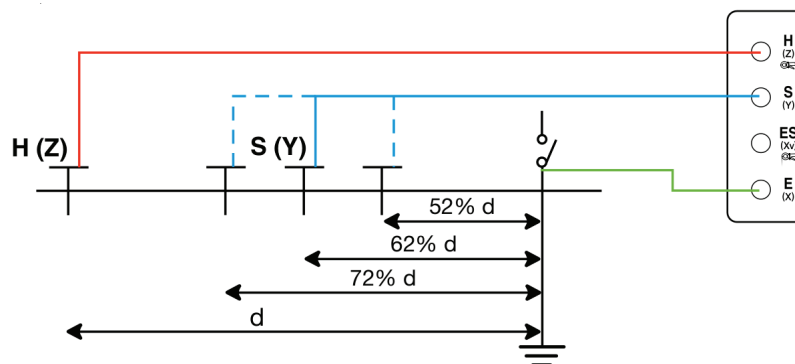
### Método dos 62%

O método dos 62% é uma simplificação do método completo, apresentado anteriormente. Tal método se baseia no fato de que o valor da resistência de aterramento é aproximadamente o valor de resistência medida na distância  $d = 62\% \cdot A$ , a qual encontra-se no patamar. Pode-se observar que vantagem desse método é que o número de medições para obtenção da resistência de terra é reduzida para uma medição. A montagem para realização desse método é apresentada na Figura 1.12.



**Figura 1.12** – Montagem para o método dos 62% (com apenas uma medição) (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

Caso deseje-se maior confiabilidade no método dos 62%, basta realizar, adicionalmente, as medições para 52% e 72%. Assim, se a resistência para 52% e 72% forem muito próximas à resistência para 62%, então, de fato, o valor de resistência medido para 62% está no patamar na curva da Figura 1.7 e pode ser considerado como a resistência do sistema ou haste de aterramento ( $R_{Aterr}$ ). O esquema de medição é apresentado na Figura 1.13.




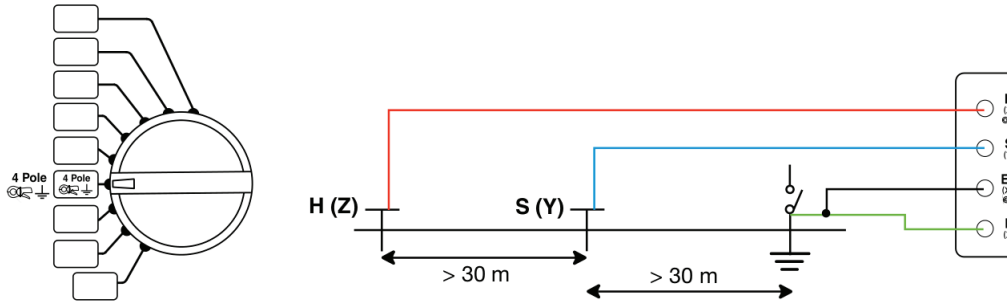
**Figura 1.13** – Montagem para o método dos 62% com duas medições adicionais (52% e 72%), para aumento de confiabilidade (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

#### 1.4.7 Medição de Resistências de Aterramento Muito Pequenas

No caso da resistência de aterramento ser de valor muito pequeno, deve-se utilizar a função "Medição de Resistência de Aterramento (4-Polos)", disponível no Terrômetro AEMC-6472. Essa função fornece uma melhor resolução (10x melhor que a medição com 3-Polos) e não é necessário compensar a resistência dos cabos de medição (do próprio terrômetro).

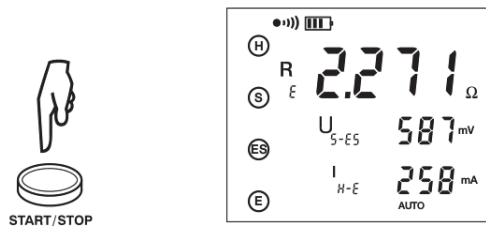
**Passos**

1. Coloque o seletor de função para .
2. Posicione os eletrodos **H(Z)** e **S(Y)** a, pelo menos, 30 m entre si.



**Figura 1.14** – (AEMC INSTRUMENTS, 2014)

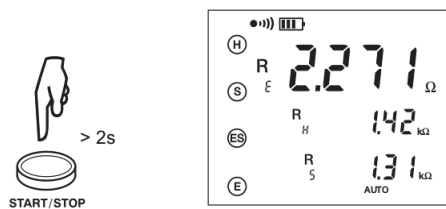
3. Para iniciar a medição pressione o botão **START/STOP**.



**Figura 1.15** – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

4. Para que os parâmetros da medição sejam apresentados, deve-se pressionar o botão **DISPLAY** algumas vezes. O equipamento apresentará ao usuário os parâmetros:  $R_E$ ,  $U_{S-E}$ ,  $I_{H-E}$ ,  $U - Act$  ( $U_{H-E}$  e sua frequência,  $U_{S-E}$  e sua frequência).

Para medir as resistências dos eletrodos auxiliares **H(Z)** e **S(Y)**, ou se a resistência dos eletrodos é muito elevada, inicie a medição pressionando, por mais de 2 segundos, o botão **START/STOP**. Assim, o *display* apresentará  $R_H$ ,  $R_S$  e  $U_{H-E}$ .



**Figura 1.16** – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).



### 1.4.8 Análise das Medições e Comentários

A partir dos dados da Tabela 1.1, trace o gráfico Resistência versus Distância, semelhante ao apresentado anteriormente, identificando assim a resistência de aterramento da malha.

Depois de identificada a resistência de aterramento da malha, analise os resultados com base na NBR-5419 (2005).

Faça as suas considerações sobre o experimento.

# Capítulo 2

## Resistividade do Solo

### 2.1 Introdução

O conhecimento das características intrínsecas do solo, onde a estrutura projetada será instalada é muito importante. De forma mais abrangente, as características podem ser representadas pela resistividade do solo, que por definição, é a resistência elétrica ( $R$ ) medida entre as faces opostas do volume de solo, consistindo de um cubo homogêneo e isotrópico de dimensões unitárias, preenchido pelo solo a ser analisado (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 2002), satisfazendo à seguinte equação:

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (2.1)$$

Vários fatores influenciam no valor da resistência do solo, tornando-se indispensável a execução de medições no local onde será implantado o sistema de aterramento, obtendo assim o dado mais importante para o projeto de sistema de aterramento: a resistividade do solo.

Diversos fatores têm influência direta no valor da resistividade do solo, entre eles podem-se citar: composição geológica do solo, umidade, salinidade, temperatura, compactação e acidez. Desta forma, a Tabela 2.1 mostra a faixa de variação da resistividade como função dos fatores mencionados, onde a composição geológica tem influência primordial em relação aos demais fatores.

**Tabela 2.1** – Fatores que afetam a resistividade do solo (VISACRO, 2002)

<b>FATOR</b>	<b>FAIXA DE RESISTIVIDADE (.m)</b>
Composição geológica	De 5 a 20 000 (.m)
Umidade	De 42 a 10 000 (.m)
Salinidade	De 1 a 107 (.m)
Temperatura	De 72 a 3 300 (.m)

A resistividade do solo está diretamente relacionada ao seu grau de compactação, isto é, a uma maior ou menor área de contato entre os grãos que o compõe. Assim, o solo deverá ser compactado após o preenchimento das valas e orifícios feitos para implantação dos eletrodos de aterramento, além do cuidado de não misturar a terra original com escombros ou britas na operação de re-aterro.

De acordo com Visacro (2002), existem basicamente duas maneiras de se medir a resistividade do solo: 1) a medição por amostragem, que é realizada em laboratório através de ensaios de pequenas quantidades do solo cuja resistividade se deseja conhecer (coletados em certa profundidade, onde o terreno é mais imune às alterações ambientais); 2) medição local, desenvolvida por Wenner (1916) a qual é realizada através de eletrodos adequadamente posicionados.

## 2.2 Composição Geológica

A composição geológica do solo, por mais que seja heterogênea, não se altera naturalmente em curto prazo de tempo. De acordo com sua natureza, a sua resistividade apresenta grandes variações e tende a diminuir nos solos mais profundos. Outra correlação pode ser feita com a idade geológica das estruturas do solo. Geralmente, regiões geologicamente mais antigas tendem a ter resistividades maiores.

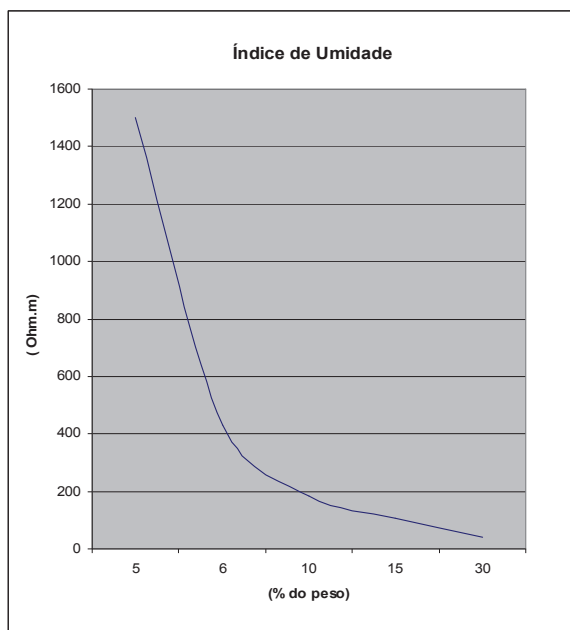
Quando não se dispõe de medições confiáveis, pode-se usar a Tabela 2.2 que fornece a resistividade de diferentes tipos de solo. Para cálculos precisos de resistividade de solos, devem-se realizar medições com instrumento tipo Megger de terra (Terrômetro).

**Tabela 2.2** – Resistividade para diferentes solos (VISACRO, 2002).

<b>NATUREZA DO SOLO</b>	<b>FAIXA DE RESISTIVIDADE (<math>\Omega.m</math>)</b>
Lodo/Limo	De 20 a 100 ( $\Omega.m$ )
Húmus	De 10 a 150 ( $\Omega.m$ )
Argilas compactadas	De 100 a 200 ( $\Omega.m$ )
Areia argilosa	De 50 a 500 ( $\Omega.m$ )
Solo pedregoso nu	De 1 500 a 3 000 ( $\Omega.m$ )
Calcário fissurado	De 500 a 1 000 ( $\Omega.m$ )
Calcário compacto	De 1 000 a 5 000 ( $\Omega.m$ )
Granito e Arenito	De 1 500 a 10 000 ( $\Omega.m$ )
Basalto	De 10 000 a 20 000 ( $\Omega.m$ )

## 2.3 Umidade

A umidade, quando na faixa de 0 a 22%, produz um valor acentuado de resistividade do solo. Para valores de umidade superiores a 22%, a resistividade começa a diminuir mais intensamente (VISACRO, 2002). Para os solos áridos, às vezes, é necessária a utilização de hastes profundas com a finalidade de se atingir camadas com umidades adequadas. A construção de obras nas vizinhanças da malha pode rebaixar o nível do lençol freático, diminuindo a percentagem da umidade do solo. Observam-se também variações cíclicas do percentual da umidade com as mudanças climáticas. A presença de brita nas subestações reduz a evaporação, mantendo a umidade praticamente constante (VISACRO, 2002). A Figura 2.1 mostra o efeito típico da umidade sobre a resistividade de um dado solo.



**Figura 2.1** – Efeito da umidade na resistividade do solo. (VISACRO, 2002)

## 2.4 Composição Química (Salinidade)

A alteração da composição química do solo, para alguns casos, ocasiona alterações da resistividade. Isto ocorre em situações em que o solo contenha sais que possam ser dissolvidos pelas águas pluviais. Havendo dissolução, o composto será retirado naturalmente e a resistividade do solo aumentará. A Tabela 2.3 dá um exemplo da influência da composição química do solo sobre a resistividade.

**Tabela 2.3** – Influência da composição química na resistividade do solo (VISACRO, 2002)

% SAIS	RESISTIVIDADE ( $\Omega.m$ )
0,0	10 700
0,1	1 800
1,0	460
5,0	169
10,0	130
20,0	100

## 2.5 Temperatura

A temperatura afeta sobremaneira a resistividade do solo, a qual poderá atingir altos valores para temperaturas extremamente baixas. Para evitar tais variações, os eletrodos deverão estar a uma profundidade que apresente pequenas variações de temperatura. Maiores detalhes a respeito da variação da resistividade do solo com a temperatura pode ser vista em Visacro (2002).

## 2.6 Aterramento de Segurança

O aterramento de segurança visa à integridade física das pessoas. Preservar a integridade dos equipamentos elétricos e eletrônicos também é função do aterramento. A motivação básica para implantação do aterramento é questão da segurança, como é o caso das conexões à terra do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e das carcaças de motores, que são projetadas especificamente para constituir um fator de segurança.

Outra perspectiva refere-se aos riscos associados à implantação de um aterramento destinado especificamente a assegurar um bom desempenho para determinado sistema elétrico ou eletrônico (aterramento de serviço). Embora a segurança não seja a finalidade primeira da instalação do aterramento, também neste caso devem ser garantidas as condições de segurança, quando o aterramento é solicitado pelo fluxo de corrente pelos seus eletrodos (por exemplo, corrente de curto-circuito) e diferença de potenciais são estabelecidas no solo.

### 2.6.1 Caracterização de Condições de Risco

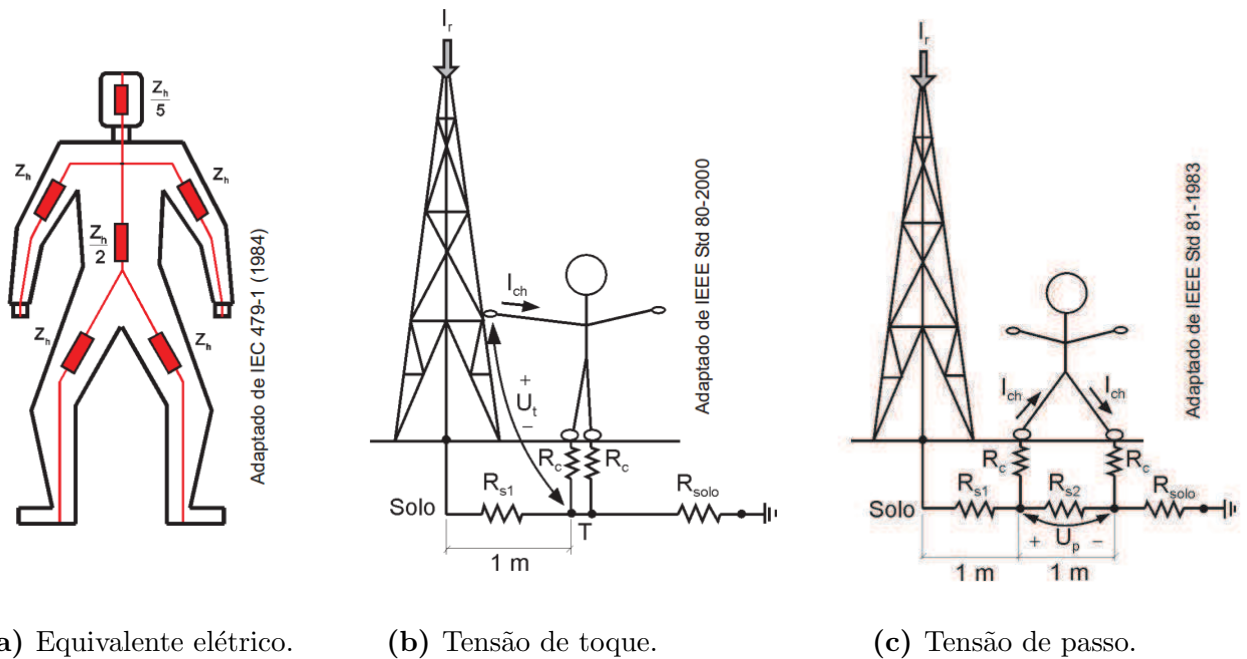
Quando as partes do corpo humano são submetidas a uma diferença de potencial, este é percorrido por uma corrente elétrica, que pode resultar em diversos efeitos para o indivíduo, configurando, em diversas situações, condições de risco. No que concerne ao aterramento elétrico, é possível caracterizar algumas dessas situações típicas quando flui corrente por ele, sendo usual classificá-las e referenciá-las como parâmetro de restrição nos projetos de aterramento.

- **Tensão de toque:** máxima diferença de potencial entre mão e pés a que ficaria sub-

metida uma pessoa (Fig. 2.2b), eventualmente presente na região do aterramento, que tivesse contato com 10 uma parte metálica ligada aos seus eletrodos, durante o fluxo de corrente pelo aterramento (consideram-se ambos os pés afastados de 1m da estrutura tocada).

- **Tensão de passo:** máxima diferença de potencial entre os pés (arbitra-se uma distância média de 1m entre os mesmos) a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, durante o fluxo de corrente pelo mesmo (Fig. 2.2c).

A seguir, a Figura 2.2 apresenta os dois tipos de tensão:



**Figura 2.2** – Equivalente elétrico do corpo humano e tensões de risco. (IEC Std. 479-1; IEEE Std. 80; IEEE Std. 81, 1984, 2000, 1983 apud SINAES, 2008)

## 2.7 Procedimentos para Medição da Resistividade do Solo

### 2.7.1 Objetivos

Aplicar o Método de Wenner (1916) para medição da resistividade do solo utilizando o aparelho Megger. O terreno a ser utilizado para a medição deverá ser definido pelo

monitor ou professor.

## 2.7.2 Material Utilizado

- Terrômetro AEMC-6472,
- Condutores elétricos,
- Hastes de aterramento,
- Fita métrica.

## 2.7.3 Procedimentos Experimentais

A medição da resistividade do solo através do Método de Wenner (1916) apresenta um modelo eficiente e relativamente simples, ilustrados nas Figuras 2.3 e 2.4. O método utiliza um Terrômetro, que possui quatro terminais (dois de corrente e dois de potencial), os quais devem ser conectados a quatro eletrodos, distantes um do outro de  $d$ . O aparelho faz circular corrente elétrica ( $I$ ) nos dois eletrodos externos ( $C1$  e  $C2$ ). Desse modo, através das duas hastes internas ( $V1$  e  $V2$ ) o aparelho calcula a diferença de potencial ( $V$ ) e pela relação  $V/I$  processa o valor da "resistência".

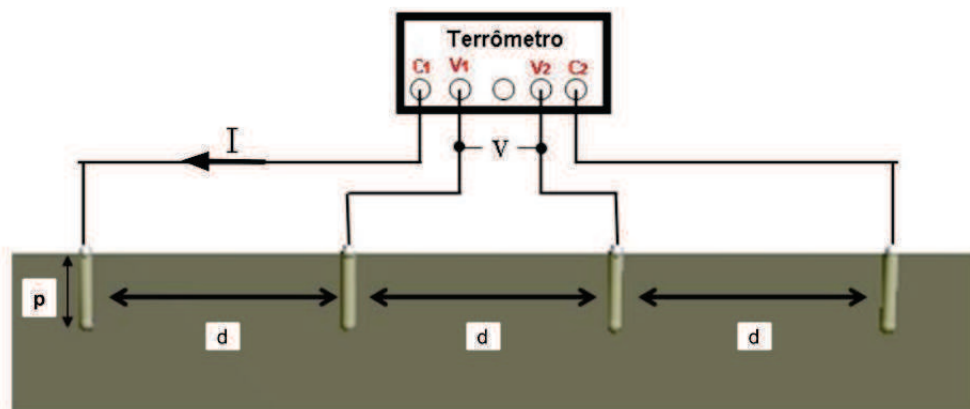
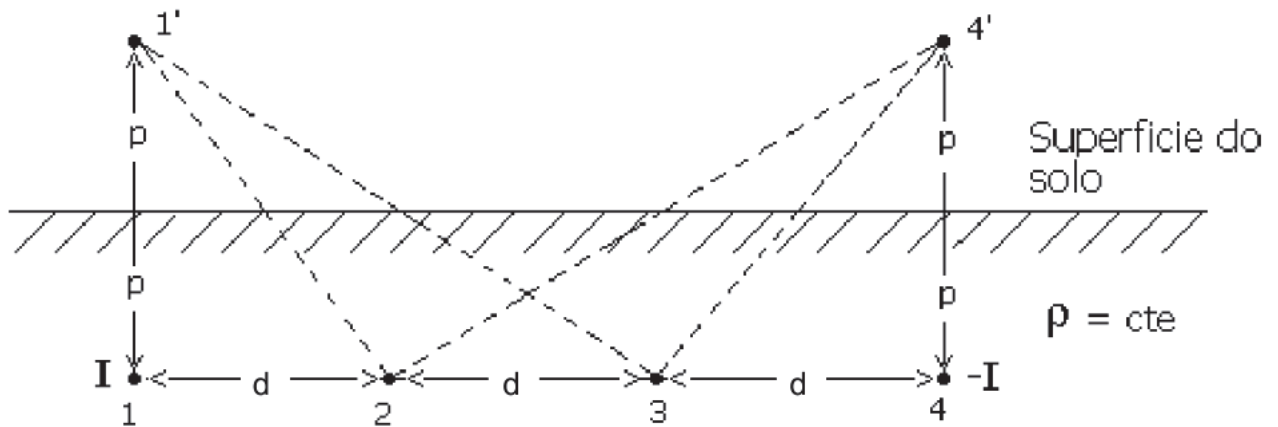


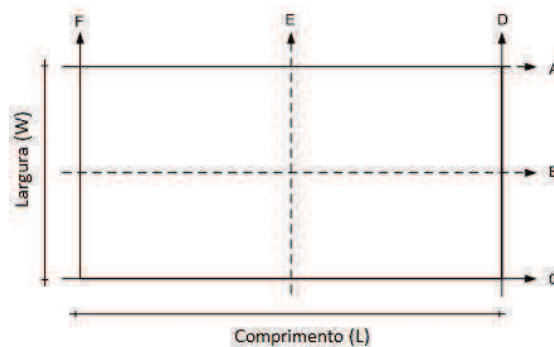
Figura 2.3 – Método de Wenner.





**Figura 2.4** – Método de Wenner. (GODOY; FRAGA, 2011)

Devido às características anisotrópicas e heterogêneas do solo, para se obter a resistividade do solo na região determinada, serão efetuados vários grupos de medições sucessivas (variando-se o afastamento), cobrindo toda a área de interesse, conforme ilustrado na Figura 2.5.



**Figura 2.5** – Configuração da medição de resistividade pelo Método de Wenner.

De posse dos valores de resistência coletados em várias direções, aplica-se então a Fórmula de Palmer, que para um afastamento relativamente grande entre as hastes em relação à penetração dos eletrodos no solo, ou seja,  $d \gg p$ , tem-se:

$$\rho = 2\pi d R_T \quad (2.2)$$

A Fórmula de Palmer, apresentada na Equação 2.2, é a equação simplificada para o cálculo da resistividade do solo, ou seja, quando a distância entre os eletrodos é muito maior que a profundidade destes, em geral cerca de três vezes. A equação completa, com o auxílio

da Figura 2.4 , é obtida a partir de:

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{d} + \frac{1}{\sqrt{d^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{2d} - \frac{1}{\sqrt{(2d)^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.3)$$

$$V_3 = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{2d} + \frac{1}{\sqrt{(2d)^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{d} - \frac{1}{\sqrt{d^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.4)$$

$$V_{23} = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{d} + \frac{2}{\sqrt{d^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2d)^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.5)$$

$$R_T = \frac{V_{23}}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \left[ \frac{1}{d} + \frac{2}{\sqrt{d^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2d)^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.6)$$

$$\rho = \frac{4\pi d R_T}{1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2 + (2p)^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + p^2}}} \quad (2.7)$$

, onde as Equações 2.3 e 2.4 representam o potencial nos pontos 2 e 3, respectivamente; a Equação 2.5 representa a diferença de potencial entre estes dois pontos; e a Equação 2.7 é a equação completa para o cálculo da resistividade do solo.

A partir dos valores encontrados, obtidos através das medições realizadas em campo, é possível então mapear todo o terreno no qual se deseja implantar o sistema de aterramento. Tal mapeamento pode ser denominado de estratificação do solo, que é basicamente a identificação das várias camadas que compõem o mesmo. Existem várias técnicas de modelagem do solo, como a apresentada por Tagg (1964), dentre elas, destacam-se o método de estratificação de duas camadas, método de Pirson e o método gráfico.

#### 2.7.4 Considerações Importantes

Na execução do método de Wenner, as hastes verticais devem estar firmemente cravadas, assegurando-se que a superfície condutora esteja em contato com o solo em toda sua extensão. A profundidade recomendada para as hastes é da ordem de 50 cm, sendo aconselhável um valor maior para terrenos arenosos, aterros e brejos, de forma a assegurar um contato íntimo eletrodo-solo. No caso de terrenos de grande resistência mecânica, algumas vezes é difícil alcançar o valor, sendo aceitável profundidade um pouco menor (MEDEIROS, 1981).

Cada haste apresenta uma resistência própria de aterramento, cujo valor é próximo ao valor da resistividade do solo onde está colocada. No caso das hastes de corrente, hastes externas apresentadas na Figura 2.3, o problema é mais sério. As possíveis soluções para a questão podem residir no emprego de fontes de tensão de valor mais elevado. Uma configuração alternativa é o emprego de práticas do tipo umedecimento do solo nas proximidades das hastes de corrente. Os cuidados não são tão críticos com relação às hastes de potencial - hastes internas -, pois estas não são percorridas pela corrente principal do circuito. Devido às altas impedâncias do circuito de medição de tensão, a corrente que circula pelo mesmo é muito reduzida e a queda de tensão no aterramento de cada haste é desprezível em relação àquela que ocorre no circuito de medição.

Na aplicação do método, podem ser utilizadas hastes de aterramento nos diâmetros comerciais, pois a resistência  $R_T$  depende fundamentalmente da distância entre os eletrodos, da profundidade e da resistividade do solo, sendo pouco influenciada pelas dimensões dos eletrodos (IEEE Std. 81, 1983).

Na prática, são usualmente adotados valores múltiplos sucessivos de afastamento para medição em uma dada direção: 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 m. Assim, para cada espaçamento medido, é possível manter fixas as posições da primeira e da terceira haste da medição anterior e deslocar apenas as duas outras, pois os afastamentos sucessivos têm valor duplo do valor utilizado na operação precedente. Outra sequência usual é: 1,5, 3, 6, 9, 18, 36 e 72 m. No caso de projeto de instalações de grande porte, podem ser usados valores superiores de espaçamento.

### 2.7.5 Medições

Para obtenção dos resultados, realizam-se as medições observando a configuração apresentada na Figura 2.5 (caso a geometria da área seja diferente de um retângulo, deve-se traçar um retângulo imaginário circunscrito à mesma) e varia-se a distância  $a$  entre os eletrodos de acordo com os afastamentos que melhor se adequarem no terreno utilizado. A distância  $a$  bem como o comprimento e a largura do terreno devem ser obtidos utilizando a fita métrica. Anotam-se os valores medidos na Tabela 2.4

### Passos: Método Wenner

1. Posicione o seletor de função para  $\rho$ .
2. Posicione os 4 eletrodos em linha reta, a uma distância  $d$  uns dos outros e a uma profundidade  $p < (1/20)d$ . A distância  $d$  deve ser de 2 a 30 m. O arranjo da montagem fica conforme a Figura 2.6.

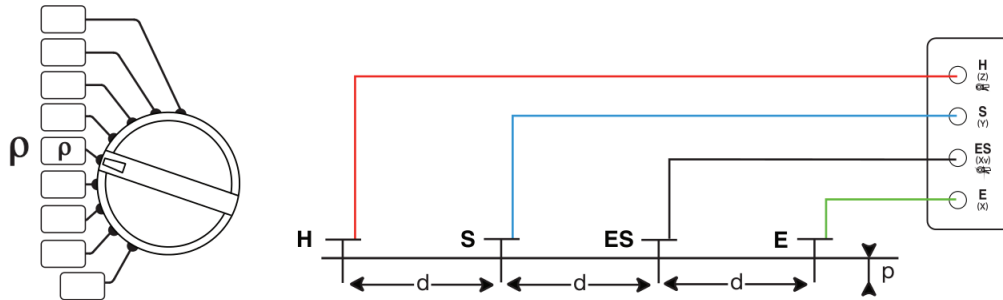


Figura 2.6 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

3. Conecte os cabos aos eletrodos e depois aos terminais  $H(Z)$ ,  $S(Y)$ ,  $ES(Xv)$  e  $E(X)$  em sequência.
4. Informe a distância  $d$  pressionando o botão **2nd**, depois o botão **DISTANCE**. As "centenas" vão piscar.

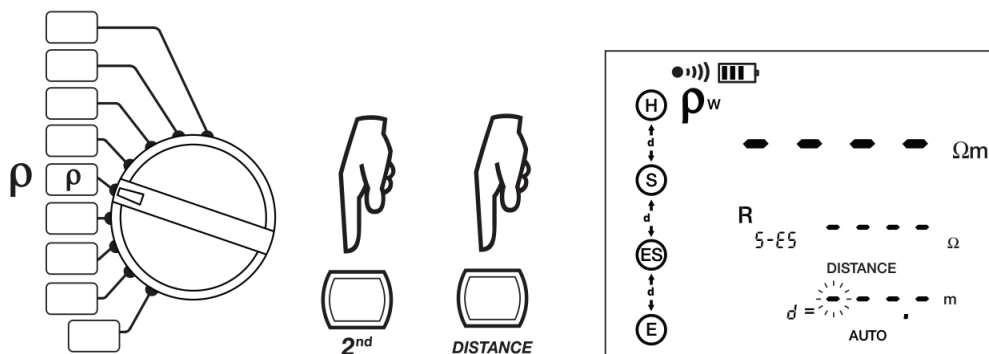
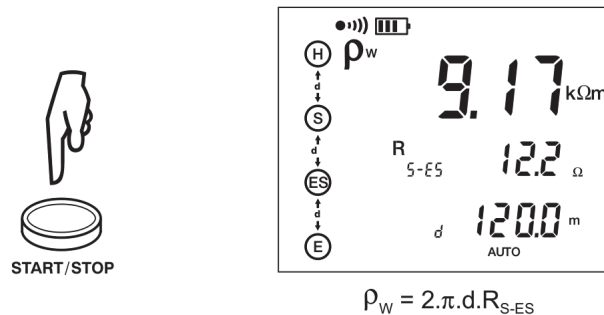


Figura 2.7 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

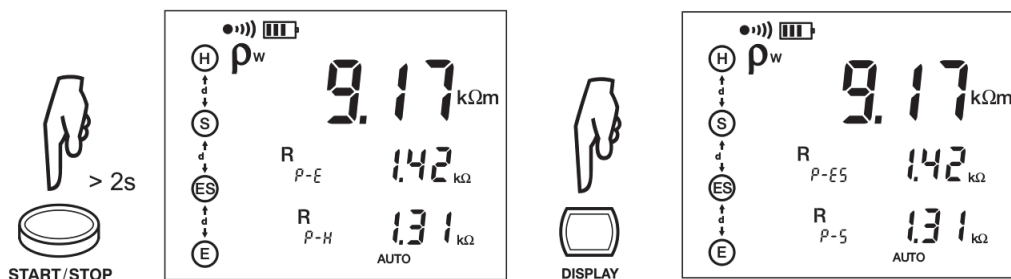
- (a) Para modificar as centenas (de metros), pressione o botão  $\blacktriangle$  até que o dígito desejado ser mostrado (0-9).
- (b) Para selecionar ou modificar as dezenas, pressione o botão  $\blacktriangleright$  e depois o botão  $\blacktriangle$  até que o dígito desejado seja mostrado (0-9).

- (c) Para selecionar e modificar as unidades e dezenas em uma unidade, aperte o botão ► e depois o botão ▲ até que o dígito desejado seja mostrado (0.0-9.9).
- (d) Para encerrar a programação da distância, pressione o botão **2nd** e depois o botão **DISTANCE**.
5. Inicie a medição pressionando o botão **START/STOP**.



**Figura 2.8** – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

6. Para que os parâmetros da medição sejam apresentados, deve-se pressionar o botão **DISPLAY** algumas vezes. O equipamento apresentará no *display* parâmetros:  $\rho_w$ ,  $R_{S-ES}$ ,  $d$ ,  $U_{S-ES}$ ,  $I_{H-E}$ ,  $U - Act$  ( $U_{S-ES}$  e sua frequência,  $U_{H-E}$  e sua frequência). Para medir as resistências dos eletrodos auxiliares **H(Z)** e **S(Y)**, ou se a resistência dos eletrodos é muito elevada, inicie a medição pressionando, por mais de 2 segundos, o botão **START/STOP**. Assim, o *display* apresentará  $R_{P-E}$  e  $R_S$ , depois  $R_{P-ES}$  e  $R_{P-S}$ .



**Figura 2.9** – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

7. O terrômetro fornece diretamente o valor da Resistividade pelo método de Wenner ( $\rho_w$ ). No entanto, anote o valor resistência  $R_{S-ES}$  (que aparece no *display* do

terrômetro) na Tabela 2.4, para que possa, posteriormente, calcular a resistividade pelas Equações 2.2 e 2.7. Compare esses dois valores com o valor de resistividade  $\rho_W$  fornecido pelo terrômetro. **OBS.:** O método padrão do Terrômetro é de Wenner. Contudo, se no *display* do terrômetro o símbolo da resistividade for  $\rho_S$ , isso significa que o terrômetro está realizando as medições de resistividade utilizando o método de Schlumberger. Para modificar o método de cálculo do terrômetro para o método Wenner ( $\rho_W$ ) siga o procedimento apresentado no Anexo II.

**Tabela 2.4** – Resistências medidas no terreno, nas direções (linhas imaginárias) de A a F.

<b>d (m)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>

### 2.7.6 Análise das Medições e Comentários

Para cada um dos valores de espaçamento a utilizados que compõem a Tabela 2.4, calcule a resistividade do solo por meio das duas equações apresentadas anteriormente, a simples (Eq. 2.2) e a completa (Eq. 2.7). Além disso, calcule o erro percentual existente entre o uso dessas equações. Compare os valores obtidos pelas duas equações com os valores de resistividade  $\rho_W$  fornecidos pelo terrômetro.

Por fim, utilize o *software* descrito no Anexo I - TecAt Plus 5.2<sup>©</sup> de modo a obter a estratificação do solo de acordo com o número de camadas desejado. Apresente os valores sob a forma de tabela.

Faça as suas considerações sobre o experimento.

# Capítulo 3

## Anexo I

### TecAt Plus 5.2<sup>©</sup>

Os solos, em sua maioria, não são homogêneos e, sim, formados por diversas camadas com resistividades diferentes. Estas camadas são geralmente horizontais e paralelas à superfície. Como consequência, da variação de resistividade nas camadas do solo, tem-se a variação na dispersão da corrente (SOTILLE; HIRAKAWA, 2008). Ademais, a resistividade do solo destaca-se pelo grau de variação dentro de limites bem amplos, além de possuir extrema importância em problemas envolvendo a terra como condutor de retorno, como por exemplo, problemas de aterramento, proteção contra descargas atmosféricas, condução de corrente e interferências eletromagnéticas (GODOY; FRAGA, 2011).

Desse modo, define-se estratificação do solo como sendo a divisão do solo em camadas horizontais, determinando suas profundidades e as respectivas resistividades que o compõe.

O TecAt Plus 5.2<sup>©</sup> é uma solução completa para projetos de malha de terra, cobrindo a estratificação da resistividade do solo, resistência de malha e análise de potenciais em solos de até 4 camadas. Para estratificar a resistividade do solo em 2, 3 ou 4 camadas, entra-se com os dados em campo - até 32 espaçamentos e 8 linhas - e seleciona-se o número de camadas. É permitida a alteração para diversas configurações, como para o modelo usado (Wenner ou Schlumberger) e para a formulação (Equação simples ou completa).

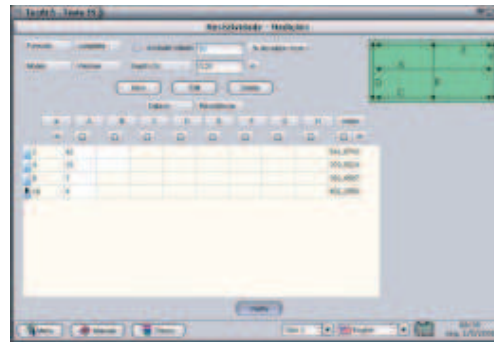


Figura 3.1 – Datos de resistividad.



# Capítulo 4

## Anexo II

### Modificando o Método de Medição da Resistividade

1. Posicione o seletor de função para  $\rho$ .
2. Pressione o botão **Hz/OPTIONS**. Em seguida a palavra "AUTO" vai piscar no display.

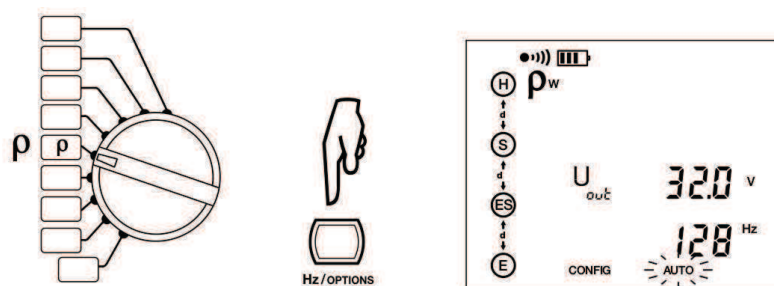


Figura 4.1 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

3. Pressione o botão **Hz/OPTION** novamente. O índice "w" de  $\rho_w$  irá piscar.
4. Pressione o botão  $\blacktriangleright$  para mudar o método para Schulumberger.
5. Para confirmar e sair, pressione o botão **Hz/OPTION** duas vezes.

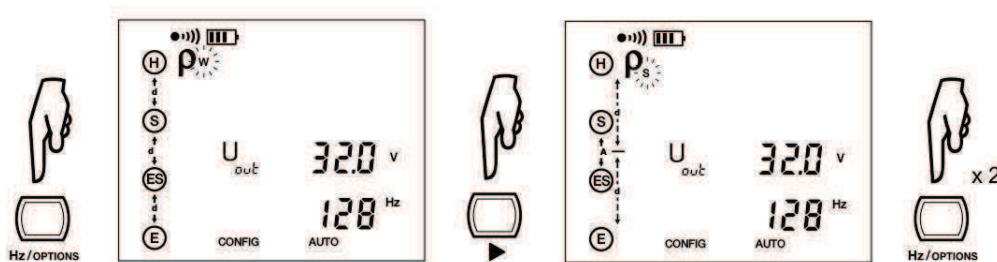


Figura 4.2 – (AEMC INSTRUMENTS, 2014).

Para retornar ao método Wenner, basta repetir esse mesmo procedimento.

O último método selecionado (Wenner ou Schulumberger) é guardado na memória quando o equipamento é desligado.

# Referências Bibliográficas

- AEMC INSTRUMENTS. *User Manual: Digital Ground Resistance and Soil Resistivity Tester*: Model-6472. Dover, USA, 2014. 89 p.
- GODOY, A. V.; FRAGA, F. N. *Projeto de Sistemas de Aterramento: Dimensionamento da Malha de Terra para Baixas Frequências*. [S.l.], 2011.
- IEC Std. 479-1. : Effects of current passing through the human body grounding. [S.l.], 1984.
- IEEE Std. 80. : IEEE guide for safety in ac substation grounding. [S.l.], 2000.
- IEEE Std. 81. : IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system. [S.l.], 1983. 3 p.
- KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. *Aterramento Elétrico*. [S.l.]: Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 2002.
- MEDEIROS, S. F. *Fundamentos de Medidas Elétricas*. 6. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1981. 244 p.
- NBR-5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. [S.l.], 2005.
- SINAES. : Enade-2008:prova de engenharia grupo II. [S.l.], 2008. 36 p.
- SOTILLE, C. A.; HIRAKAWA, W. *Critério para Projetos e Procedimentos para Execuções de Aterramentos de Redes Aéreas e Subestações de Distribuição*. [S.l.], 2008.
- SOUZA JÚNIOR, H. dos S. *Simulação, em Ambiente Computacional, do Método de Wenner e Obtenção do Resistência de um Sistema de Aterramento Usando FDTD*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, Belém do Pará, 2007.
- TAGG, G. F. *Earth resistances*. [S.l.]: G. Newnes Ltda, 1964.
- VISACRO, S. F. *Aterramentos Elétricos*. [S.l.]: G. Newnes Ltda, 2002.
- WENNER, F. A. *A Method of Measuring Earth Resistivity*. [S.l.], 1916. v. 12.