

# Malhas de Aterramento do Sistema Elétrico da Concessionária Manaus Energia S.A.: Estudos de Casos

J.T.D.Alkmin, N.S.Campelo, R.C.R.Souza, A.C. de Melo Jr., L.C. Cordeiro, E.C. da Paz, D.S. Paz Jr., A.F. Aragão, NEFEN/UFAM

## RESUMO

O presente trabalho faz uma abordagem generalizada sobre sistemas de aterramento, tomando-se como estudos de casos, um determinado arranjo de malha de aterramento de rede de distribuição aérea de energia elétrica, da concessionária local, analisando-se os valores típicos de resistividade do solo, valores de resistência de aterramento simulados e os valores reais encontrados, após a implementação da malha. Finaliza-se com observações obtidas em campo, dos valores de resistência de aterramento do sistema de distribuição e dos valores verificados nas instalações do consumidor.

## PALAVRAS-CHAVE

Malhas de aterramento, redes de distribuição, resistividade elétrica aparente do solo, sistema elétrico.

## I. INTRODUÇÃO

O projeto de um sistema de aterramento, seja ele constituído desde um pequeno sistema com malha de aterramento simples em linha, ou de pequeno porte, até aos mais complexos, compostos de grandes malhas de significativa extensão, requer efetivamente o cálculo da resistência de aterramento e dos potenciais na superfície do solo, sendo que este sistema de aterramento é elaborado com o objetivo de ser um elemento ativo no circuito, devido às necessidades de segurança das pessoas, em contato ou próximas às partes condutoras, e manter a continuidade do sistema elétrico. A realização de um sistema de aterramento tem como uma das premissas básicas, determinar o menor valor possível da resistência de aterramento, não permitindo que sejam ultrapassados os valores de potenciais que originam correntes capazes de provocar fibrilação ventricular.

Todavia, é importante observar uma perfeita conexão entre o sistema elétrico em questão e a terra (sendo o solo um elemento condutor), através de um sistema de aterramento que seja viável e econômico e não coloque em risco pessoas, equipamentos e animais.

Este trabalho foi financiado integralmente pela Manaus Energia S.A. (ciclo P&D 2000-2001).

Todos os autores são professores e discentes vinculados ao Núcleo de Eficiência Energética (NEFEN), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) (e-mail do coordenador: ncampelo@ufam.edu.br).

Nesta oportunidade, são apresentados estudos de casos relativos aos valores da resistência de aterramento, das malhas do sistema de distribuição da concessionária Manaus Energia S.A., em alguns alimentadores, medindo-se a referida grandeza, no ponto de instalação da malha de um transformador, em duas condições: quando conectada ao sistema (resistência de aterramento equivalente) e quando desconectada do sistema (resistência de aterramento pontual de malha específica).

## II. METÓDOS APLICADOS

Os métodos adotados nestes estudos de casos são de aplicação direta e imediata, ilustrando-se, a seguir, os principais tópicos necessários para o desenvolvimento do trabalho:

- Estudo da resistividade do solo no local da construção do sistema de aterramento, com o uso do resistivímetro Syscal Jr., de leitura digital, fabricado pela *Íris Instruments*, utilizando-se do método de Schlumberger [1];
- Estratificação do solo em duas, três e quatro camadas, com a utilização do programa computacional Tecat Pro IV;
- Simulação da resistência de aterramento para diversos arranjos, através do programa computacional Tecat Pro IV, tendo-se como referência, a malha de terra preliminar definida em projeto;
- Construção da malha de aterramento definida em projeto em diversas etapas, com a colocação dos eletrodos verticais, sua interligação com eletrodos horizontais, sendo medida a resistência de aterramento da malha em questão, em cada uma de suas etapas, convergindo a construção da malha de projeto para a configuração obtida na simulação computacional, que otimizasse o sistema de aterramento;
- Medição da resistência de aterramento nas diversas etapas da construção da malha de aterramento, utilizando-se de um terrômetro MT-100 WAF, da Megabrás Instrumentos, devidamente calibrado e aferido;
- Comparação dos valores da resistência de aterramento, obtidos através da simulação com uso do Tecat Pro IV, e os valores reais efetivamente medidos em campo.

### III. ESTUDO COM MALHAS DE ATERRAMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO DA MANAUS ENERGIA S.A.

O monitoramento das malhas de aterramento do sistema de distribuição de energia da Concessionária foi realizado em duas condições: quando a malha estivesse efetivamente interligada ao sistema e quando não estivesse. Para tanto, foi necessária uma programação para que estes estudos fossem realizados; tal fato seria concretizado, quando um determinado alimentador fosse desenergizado, para manutenção ou provável ampliação. Para realização do evento, foi mantido contato com o departamento do COD (Centro de Operações da Distribuição), da Manaus Energia S.A., onde foi determinado para o dia 15/12/2002, domingo, uma paralisação do alimentador F-8, com origem na subestação de Flores, ao longo da avenida Constantino Nery. Os serviços no alimentador compreendiam a transferência do consumidor Ambev, para nova configuração do sistema, e a instalação de um banco de capacitores. Na mesma data, na avenida Torquato Tapajós, até a confluência do anel viário do viaduto com destino ao bairro da Cidade Nova, havia outro serviço a ser executado, que era a recapitação do alimentador F-4, também com origem na subestação de Flores. Nesta oportunidade, o clima estava ameno, com chuvas esparsas e solo úmido. Mesmo assim, foi possível realizar na avenida Constantino Nery a análise de uma malha de aterramento, que foi construída para atendimento do banco de capacitores; tal malha era constituída de quatro hastes de  $f\ 5/8"$  x 2,40 metros, interligados entre si com condutor de cobre nu, com seção de  $35\text{ mm}^2$ , inclusive para a descida dos pára-raios e conexões com as massas dos capacitores e do neutro.

As Tabelas 1 e 2 mostram os valores das resistividades elétricas aparentes ( $\rho_a$ ) e das várias camadas estratificadas ( $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ ), além das espessuras das camadas ( $h_1, h_2, h_3$ ).

Na construção da malha de aterramento para o banco de capacitores, foram realizadas medições da resistência de aterramento, para os arranjos de uma e duas hastes, sem os condutores de interligação, bem como na configuração final da malha, sendo então comparadas com os valores da resistência de aterramento, simulados com a ferramenta computacional (condição disponível de acordo com as características de solo, obtidas na sondagem realizada). Foram medidas as resistências de aterramento da malha na sua concepção final, para as duas situações, interligada ao sistema e quando não interligada.

De posse dos dados obtidos com a estratificação do solo para a sonda da Constantino Nery, no ponto considerado, observa-se que são baixos os valores da resistividade do solo; logo, para se ter um resultado otimizado para a resistência de aterramento, não seria necessária uma malha de aterramento com grande número de hastes verticais, interligadas entre si com condutor de cobre nu. De fato, isto ocorre na prática, pois a malha construída com quatro hastes e interligada entre si com cabo de cobre nu resultou em valores médios de  $12,50\ \Omega$ , muito próximo do valor médio simulado, que indicou um resultado igual a  $12,81\ \Omega$ , quando considerada somente a malha não conectada ao sistema. Após

a conexão da malha de aterramento ao cabo de descida dos pára-raios, às conexões das massas do banco de capacitores, e ao neutro da rede de baixa tensão, realizaram-se mais duas medidas, cujos valores de resistências de aterramento tiveram uma redução muito pequena, da ordem de 8 % do valor de resistência de aterramento, quando na condição de malha desconectada do sistema de distribuição.

Todavia, o fato pode ser melhor compreendido, quando se averiguou as características da rede de distribuição nesta área em questão, observando-se que o neutro não era contínuo, como também não era interligado à malha da subestação de origem do alimentador. A Tabela 3 ilustra os valores medidos e os simulados para a sonda em questão.

Uma outra abordagem, realizada no sistema de distribuição da Manaus Energia, foi a de se analisar o valor de resistência de aterramento de uma malha do sistema, por exemplo, de um ponto com transformador, e os valores da resistência de aterramento dos consumidores adjacentes a este ponto, no intuito de se verificar as características das influências do aterramento impulsivo no secundário, quanto à tensão entre neutro e terra no consumidor.

Para tanto, foram feitas cinco medições de resistência de aterramento de um transformador e dois consumidores alimentados em baixa tensão, sendo o transformador interligado no alimentador F-4, situado na avenida Torquato Tapajós, conforme referência anterior. A potência do equipamento era de 30 kVA, localizado no poste 5-F-4-13 (07); os ensaios foram realizados quando da desenergização do alimentador.

Ressalta-se ainda que por restrições construtivas e limitações da fiscalização dos serviços no alimentador, não foi possível obter o valor da resistência de aterramento da malha do sistema em questão, quando desconectada do sistema, todavia, os valores obtidos são suficientes para análises preliminares.

**TABELA 1**

**Resistividade aparente das sondas da Constantino Nery e Torquato Tapajós. Data: 15/12/2002.**

Distância (m)	Sonda Constantino Nery $\rho_a$ ( $\Omega \times m$ )	Sonda Torquato Tapajós $\rho_a$ ( $\Omega \times m$ )
1	88,40	137,70
2	102,80	168,10
3	87,30	192,20
4	95,60	223,50
5	94,90	256,80
6	98,70	292,20
7	101,00	317,10
8	102,10	336,20
9	101,00	343,50
10	100,80	354,60
15	99,80	284,70
20	106,50	221,30
25	-	146,00
30	-	47,40
35	-	26,60
40	-	381,60
45	-	181,90
50	-	26,80

TABELA 2

## Estratificação do solo em camadas, das sondas da Constantino Nery e Torquato Tapajós

Sondas	2 Camadas			3 Camadas			4 Camadas			$\eta_1(\mu)$					
	$\rho_1 \Omega \times m$	$\rho_2 \Omega \times m$	$h_1(m)$	$\rho_1 \Omega \times m$	$\rho_2 \Omega \times m$	$\rho_3 \Omega \times m$	$h_1(m)$	$h_2(m)$	$\rho_1 \Omega \times m$		$\rho_2 \Omega \times m$	$\rho_3 \Omega \times m$	$\rho_4 \Omega \times m$	$h_1(m)$	$h_2(m)$
Constant. Nery	91,2	103,9	2,1	87,7	99,9	176,9	0,8	26,6	80,9	124,2	71,6	103,0	0,5	1,1	1,6
Torquato Tapajós	220	15,0	10,1	60,9	682,9	17,7	0,5	4,4	115,9	199,4	1000	173,4	0,5	3,1	3,7

TABELA 3

## Resistências de aterramento para a malha da sonda da Constantino Nery

Arranjo	Valores Medidos			Valores Simulados		
	1ª Leitura	2ª Leitura	Média Leitura	2 Camadas	4 Camadas	Média
Malha	$\Omega$ (ohms)	$\Omega$ (ohms)	$\Omega$ (ohms)	$\Omega$ (ohms)	$\Omega$ (ohms)	$\Omega$ (ohms)
R 1 Haste	67,00	70,00	68,50	37,74	45,06	41,40
R 2 Haste	70,00	69,00	69,50	20,87	26,24	23,55
R 4 HasteC/ Cabo	12,00	13,00	12,50	11,15	14,48	12,81
R Malha Desconectada	12,00	13,00	12,50	11,15	14,48	12,81
R Malha Conectada	12,00	11,00	11,50	Medições realizadas com solo úmido		

Foi efetuada uma sondagem para os dois pontos em questão, um na Constantino Nery e outro na Torquato Tapajós, com a finalidade de se obter as resistividades elétricas aparentes do solo para estas localidades, bem como proceder à estratificação em duas, três e quatro camadas destes pontos.

De posse dos valores de resistência de aterramento medidas no local e dos valores resultantes da simulação feita para a sonda do local considerado, observa-se que a resistência de aterramento medida do transformador é bem próxima dos valores simulados, para uma configuração típica com quatro hastes, interligadas com condutores de cobre nu, situação esta que caracteriza os módulos de malhas de aterramento da concessionária.

Para o caso dos consumidores, quando os valores são referidos ao neutro conectado, obtêm-se valores de resistência de aterramento maiores que os valores obtidos no transformador. Quando se desconecta o neutro dos consumidores, as resistências de aterramento assumem um valor bem mais alto, ocorrendo uma discrepância significativa para o consumidor 1. Esta situação pode ser caracterizada por um rompimento do condutor de interligação malha-carcaça, da caixa de medição ou até mesmo a corrosão efetiva entre condutor-haste do aterramento do consumidor.

Os outros valores de resistência de aterramento medidos estão coerentes entre os dados obtidos com a medição e os valores encontrados com a simulação, podendo ocorrer desvios percentuais de até 50 % para mais ou para menos.

De uma forma geral, as condições apresentadas tanto pelo sistema quanto pelos consumidores, atendem aos requisitos necessários em favor da segurança do consumidor [2]. As Tabelas 4 e 5 ilustram, respectivamente, os valores de resistência de aterramento medidas no local, e os dados de resistência de aterramento definidas na simulação computacional, para a sonda da Torquato Tapajós, na área considerada neste estudo.

TABELA 4

## RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO SISTEMA E DO CONSUMIDOR DO ALIMENTADOR F 4

Resistência	Conectado $\Omega$ (ohms)	Desconectado $\Omega$ (ohms)	Obs.
Sistema Trafo	23	-	Solo Seco
Consumidor 1 BT	38	1065	Solo Seco
Consumidor 2 BT	56	125	Solo Seco

TABELA 5

Valores de resistência de aterramento para a sonda da Torquato Tapajós

Resistência da Malha	Valores Simulados			Valores Médios $\Omega$ (ohms)
	2 Camadas $\Omega$ (ohms)	3 Camadas $\Omega$ (ohms)	4 Camadas $\Omega$ (ohms)	
R 1 Haste	87,21	92,68	70,06	83,31
R 2 Haste	45,96	109,73	41,85	65,84
R 3 Hastecom cabo	27,35	42,98	25,11	31,81
R 4 Hastecom cabo	24,24	35,25	23,26	27,58
R 5 Hastecom cabo	17,76	30,69	16,95	21,80
R 6 Haste	15,18	27,29	14,74	19,07
R 8 Haste	12,11	24,21	12,46	16,26
R 10 Haste	9,66	19,61	9,95	13,07
R 12 Haste	7,82	19,03	8,51	11,78
R 16 Haste	6,25	14,34	6,89	9,16

## IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nas investigações realizadas no âmbito do sistema de distribuição de energia da concessionária, observou-se, de forma generalizada, que o neutro da rede não é multi-aterado, pois não se interliga efetivamente à malha de aterramento na origem da fonte (subestação), no entanto, pode-se considerá-lo com predominância de neutro contínuo, ocorrendo, contudo, diversas situações de descontinuidade do neutro.

Outra verificação feita no sistema de distribuição da

concessionária, foi a dificuldade no acesso ao ponto para a inspeção e medição da resistência de aterramento, apresentando tais situações em diversos pontos investigados.

Observa-se ainda que não é prática usual a realização de medições de resistência de aterramento das malhas do sistema de distribuição.

A partir dos dados obtidos no estudo realizado, tanto os valores medidos como os indicados nas simulações com a ferramenta computacional, aliadas às verificações efetuadas no sistema de malha de aterramento da rede de distribuição de energia elétrica, capacitam e permitem descrever algumas recomendações típicas:

- Para o caso de malhas de aterramento para sistema de distribuição com neutro multi-aterrado, a resistência de aterramento da malha em questão pode assumir um valor qualquer, pois os aterramentos ficarão todos interligados e se auxiliam mutuamente [3];
- Procurar efetivar de alguma forma na área urbana de distribuição de energia, o sistema de neutro contínuo e multi-aterrado;
- Estabelecer alguns procedimentos básicos para a construção de malhas de aterramento para distribuição, definindo sistematicamente profundidade da malha, tipo de conexão, ponto de inspeção, padronização dos materiais, etc., e seguindo os métodos preconizados neste trabalho;
- Estabelecer procedimentos para efetuar medições da resistência de aterramento das malhas do sistema.

Desta forma, pode-se contribuir efetivamente, para subsidiar a tomada de decisão dos departamentos de engenharia e planejamento da concessionária, em relação às ações necessárias para serem implementadas no sentido da otimização das malhas de aterramento, do sistema elétrico da rede distribuição.

## V. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar o seu agradecimento aos Srs. Engenheiros Alcyr de Pinho Corrêa e Paulo Jorge Valente Caxeixa, da Manaus Energia S.A., gerentes do projeto P&D, cujo conteúdo gerou este artigo, pelo apoio recebido durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- [1] *ABNT Medição da Resistividade do Solo*, ABNT NBR 7117/1981.
- [2] C.L.S. Pinto, "Comportamento do aterramento de sistemas e equipamentos de distribuição sob impulso", Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de São Paulo – EP/USP, São Paulo SP, 1999.
- [3] D.S.F. Gomes, F.F. Macedo e S.M. Guilliod, "Aterramento e proteção contra sobretensões em sistemas aéreos de distribuição", *Coleção Distribuição de Energia Elétrica*, vol. 7, Eletrobrás, Niterói, RJ, 1990.