



MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO EM SUBESTAÇÕES COM MALHAS CONECTADAS A CABOS PARA-RAIOS: DESAFIOS E SOLUÇÃO

Tema: Sistemas de Medição

Autores: Alexander Barros Lima - alexander.lima@ufpe.br, Márcio Evaristo Brito - marcio.evaristo@ufpe.br, Leonardo Rodrigues Limongi - leonardo.limongi@ufpe.br, Zanoni Lins - zanoni.lins@gmail.com, Paulo José Coelho Canavezi - paulo@montrel.com.br, Rogério de Lima e Sá – rogerio.limas@neoenergia.com

Co-Autores: José Antonio de Souza Brito - jbrito@neoenergia.com, Isabela Nóbrega Cunha - isabela.nobrega@neoenergia.com, Victor Borba Lins - victor.lins@neoenergia.com

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco - NEOENERGIA Pernambuco

Resumo

A medição precisa da resistência de aterramento em subestações energizadas representa um desafio técnico significativo devido à influência de correntes desviadas pelos cabos para-raios, nos casos em que há uma conexão direta de tais cabos com a malha. Este trabalho apresenta uma metodologia inovadora que permite realizar essas medições sem a necessidade de desconexões operacionais, utilizando um equipamento desenvolvido especificamente para essa finalidade. A abordagem combina análises teóricas, simulações computacionais e medições experimentais realizadas em subestações energizadas, destacando a importância da compensação das correntes desviadas pelos cabos para-raios visando a garantia de resultados confiáveis. Nos ensaios de campo foi utilizado um equipamento que incorpora uma tecnologia de compensação das correntes que fluem pelos cabos para-raios, tornando possível se determinar de maneira precisa a resistência de aterramento ao isolar apenas a corrente efetivamente dispersa no solo. Os resultados demonstraram que erros significativos, da ordem 80%, podem ocorrer caso as correntes desviadas não sejam devidamente consideradas, o que pode comprometer diagnósticos e decisões de manutenção. A solução proposta mostrou-se eficiente. Além disso, a inovação tecnológica do equipamento utilizado está alinhada às necessidades normativas e técnicas do setor, contornando as limitações das metodologias convencionais. Os benefícios incluem maior confiabilidade nas medições, economia de recursos e maior segurança operacional, consolidando-se como uma solução prática e essencial para engenheiros e técnicos.

1. Introdução

As subestações desempenham uma função estratégica no desenvolvimento econômico e social das sociedades modernas, ligando as linhas de transmissão às redes de distribuição, com o objetivo de assegurar um fornecimento de energia contínuo e seguro aos consumidores. Nesses locais, um componente que se destaca é a malha de aterramento, por ser essencial para a garantia da continuidade operacional dos equipamentos e, também, da segurança dos trabalhadores locais. Devido à sua relevância, a condição operacional do aterramento precisa ser avaliada não apenas durante os procedimentos de comissionamento, mas, também, com alguma periodicidade na condição em que a subestação (SE) já está operando. Usual-

mente, um parâmetro utilizado como indicativo de desempenho da malha é a resistência de aterramento. É comum, também, assumir que a resistência não seja superior a 10 Ω . Porém, esse valor pode facilmente ser excedido nas situações em que o solo local e o espaço físico da SE são desfavoráveis (POPOVIC, 2000). Neste caso, uma solução mitigadora é a conexão dos cabos para-raios (CPR) na malha de aterramento. Com isso, parte da corrente de curto-circuito é direcionada para fora da SE, através do CPR, na ocorrência de falhas (GATTA, GERI, et al., 1998; GATTA, LAURIA, et al., 2005). Consequentemente, haverá a uma redução dos efeitos térmicos nos condutores do aterramento e, também, das tensões de toque e de passo desenvolvidas.

Em determinadas situações, pode ser vantajoso direcionar parte da corrente de falha para fora da SE por meio do CPR. Contudo, essa prática impõe dificuldades adicionais aos métodos de medição da resistência de aterramento, uma vez que o CPR também desvia parte da corrente injetada pelo equipamento de medição da resistência de aterramento (EMR) para fora da SE. Caso essa condição não seja tratada de forma adequada, os resultados podem apresentar erros significativos (ZENG, HE, et al., 2005; SOBRAL, SANTOS e MUKHEDKAR, 1988). A Norma ABNT NBR 15749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) e o guia IEEE Std 81 (INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS, 2012) abordam, em certa medida, os cuidados necessários para se realizar medições nesse cenário. Particularmente, a norma brasileira apresenta, em seus anexos, técnicas aplicáveis em medições de subestações. No entanto, chama a atenção o fato de as técnicas apresentarem limitações. Nesse sentido, o Método da Queda de Potencial com correntes de baixa frequência é indicado tanto para instalações energizadas quanto desenergizadas. É importante ressaltar, contudo, que sua aplicação exige que a malha de aterramento seja desconectada de outros elementos do sistema, como o CPR e neutros, condição essa de pouca viabilidade prática. Na perspectiva, talvez, de mitigar essa dificuldade, a norma menciona, muito brevemente, a possibilidade de se utilizar equipamentos que operem em frequências mais altas, na faixa de algumas dezenas de quilohertz. Neste caso, a impedância indutiva do CPR já seria suficientemente elevada para minimizar o desvio da corrente de medição para fora da SE. Atualmente, a frequência de 25 kHz vem sendo mais frequentemente utilizada para essa finalidade. A despeito de tal condição, pesquisas recentes destacam que correntes de frequência mais alta ressaltam os efeitos reativos relacionados não apenas ao CPR, mas, também, aqueles associados à geometria reticulada e dimensões expressivas dos condutores das malhas (PANICALI e BARBOSA, 2021; PANICALI e BARBOSA, 2021; BARBOSA, 2023; MOURA, 2023; BARBOSA, LIMA, et al., 2023). Nestas condições, a resposta do aterramento pode se distanciar significativamente daquela na qual a malha é submetida a correntes na frequência da rede (60 Hz). Diante disso, o uso de correntes em frequências mais baixas, próximas a frequência da rede, mostra-se mais adequada nesta aplicação.

Este trabalho está inserido nesse contexto, apresentando resultados obtidos por meio de simulações e medições realizadas em subestações. O equipamento utilizado, desenvolvido no âmbito do Projeto de P&D ANEEL PD-00043, fases lote pioneiro e inserção de mercado, resultou da parceria firmada entre Neoenergia, Montrel Tecnologia e Universidade Federal de Pernambuco. Denominado AMT600, este equipamento foi amplamente testado com sucesso em condições reais de operação em campo, demonstrando sua eficácia, confiabilidade e prontidão para uso em missões e aplicações práticas. Tais características o qualifica com a nota máxima (TRL 9) na escala Technology Readiness Levels (TRL), proposta pela NASA para indicar o grau de maturidade de uma tecnologia em projetos (BANKE; MANNING). Portanto, as análises realizadas neste trabalho, visam validar a eficiência da metodologia proposta e demonstrar como a inovação pode superar as limitações das técnicas convencionais, contribuindo para a segurança e a eficácia das operações em subestações.

2. Desenvolvimento

2.1 Fundamentação Teórica

Os equipamentos de medição da resistência de aterramento nacionais (terrômetros) normalmente processam a relação tensão/corrente na perspectiva de que toda a corrente de medição é direcionada ao aterramento sob teste (AST). Entretanto, nos casos em que a medição é realizada em malhas conectadas ao CPR, a corrente de medição (I_m) se divide em duas componentes: a parcela que se dispersa no solo dentro da SE (I_g) e a parcela que deixa a SE, através do CPR, em direção aos aterramentos das torres das linhas de transmissão (I_{CPR}), como apresentado na Figura 1.

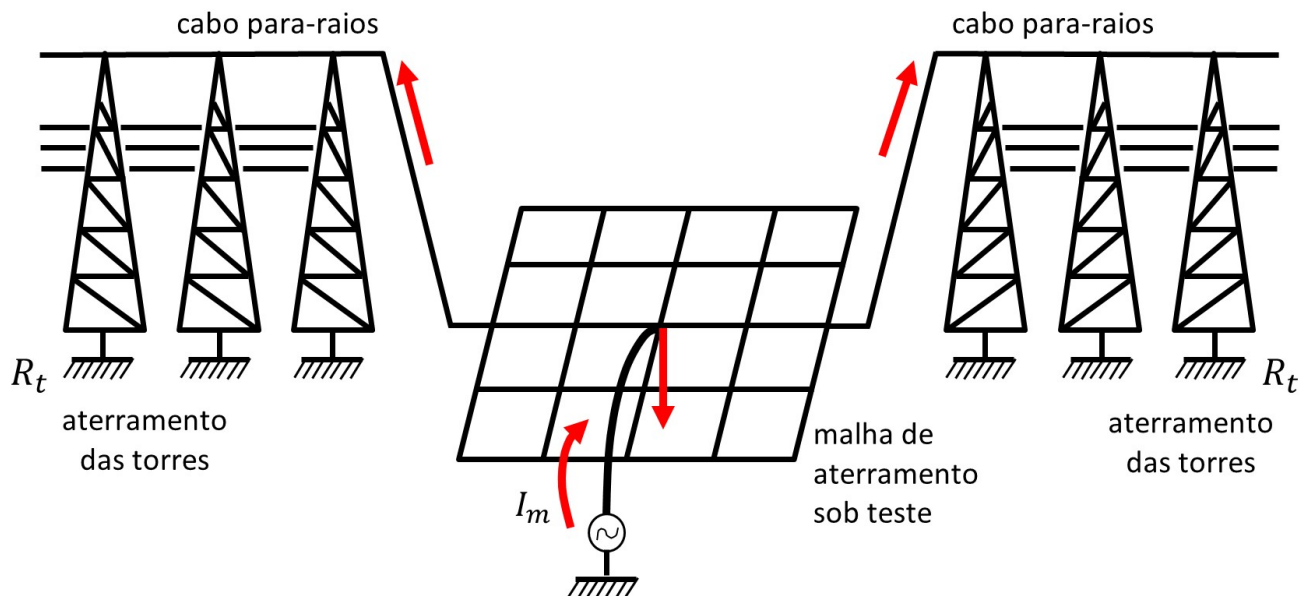


Figura 1 – Distribuição da corrente de medição em subestações com CPR conectados ao AST.

Como, de fato, a tensão desenvolvida no aterramento é devida apenas a uma parcela da corrente de medição, o equipamento indicará um valor de resistência que não expressa a realidade do aterramento. Neste caso, a resistência percebida pelo EMR corresponderá ao equivalente da resistência R_g (AST) em paralelo com a impedância externa Z_{ext} , como apresentado na Figura 2. É importante observar que a impedância externa à SE (Z_{ext}) tende a valores cada vez menores, à medida que a quantidade de linhas conectadas à malha aumenta. Consequentemente, a corrente I_{CPR} aumenta, de modo que os valores apresentados pelo EMR se distanciam cada vez mais da realidade associada ao AST.

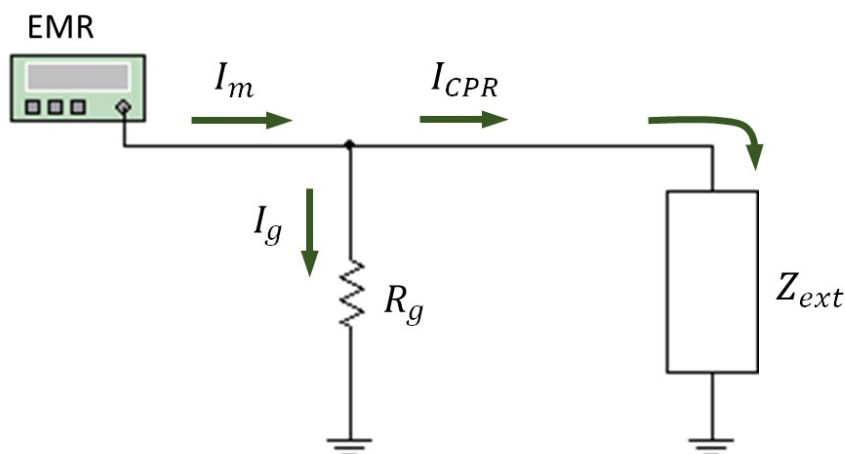


Figura 2 – Circuito simplificado do arranjo de medição.

A avaliação do impacto da conexão malha-CPR durante a medição da resistência de aterramento foi realizada por meio de simulação, utilizando-se um modelo disponível na literatura (BARBOSA, 2023; BARBOSA, LIMA, et al., 2023; BARBOSA, LIMA, et al., 2024). As simulações foram realizadas no PSPICE. Para determinar os valores dos parâmetros indutância e capacitância do CPR, foi utilizada a ferramenta power_lineparam do Matlab. O raio e a resistência do CPR foram definidos a partir de consultas à catálogos de fabricantes (DIS-ETE-005 - Cordoalhas para Rede de Distribuição e Linhas de Subtransmissão - REV 01, 2019), assumindo-se os valores de 4,4 mm e 2 Ω /km, respectivamente. Em relação à altura das estruturas, foi estabelecido o valor de 30 m, baseado nas informações disponíveis em (DIS-ETE-013 - Postes de Concreto Armado para Linhas de Subtransmissão - REV 0, 2019). Por fim, foi adotado um comprimento de 300 m para os vãos entre as torres.

Na Figura 3 são apresentados gráficos com as curvas do módulo da impedância equivalente (Z_{eq}) versus resistência do AST (R_g), sendo Z_{eq} a impedância paralela entre Z_{ext} e R_g (ver Figura 2). Foram consideradas duas condições distintas: a) uma linha conectada à malha; b) três linhas conectadas à malha. Além disso, a resistência do AST varia entre 1 Ω e 10 Ω e a resistência do aterramento de cada uma das torres (R_t) varia entre 20 Ω e 100 Ω . É importante ressaltar que cada uma das curvas está associada a um valor de R_t . Para a situação em que há apenas uma linha conectada à malha, os resultados indicam que quando a resistência R_g é pequena (cerca de 1 Ω) a corrente desviada pelo CPR é relativamente pequena, qualquer que seja o valor da resistência R_t das torres. Contudo, o erro relativo aumenta significativamente à medida que a resistência da SE aumenta (Figura 3a). Para a situação em que a malha está conectada a três linhas, o cenário é mais ainda mais crítico. Isso porque, o aumento do número de linhas favorece o desvio da corrente de medição através do CPR. Os resultados apresentados na Figura 3b evidenciam que o erro já não é desprezível mesmo quando a resistência da malha é menor que 1 Ω . Para além desse valor, os erros passam a ser significativos à medida que a resistência da malha aumenta, indicando que a corrente que passa pelo CPR exerce uma influência bastante expressiva nos resultados.

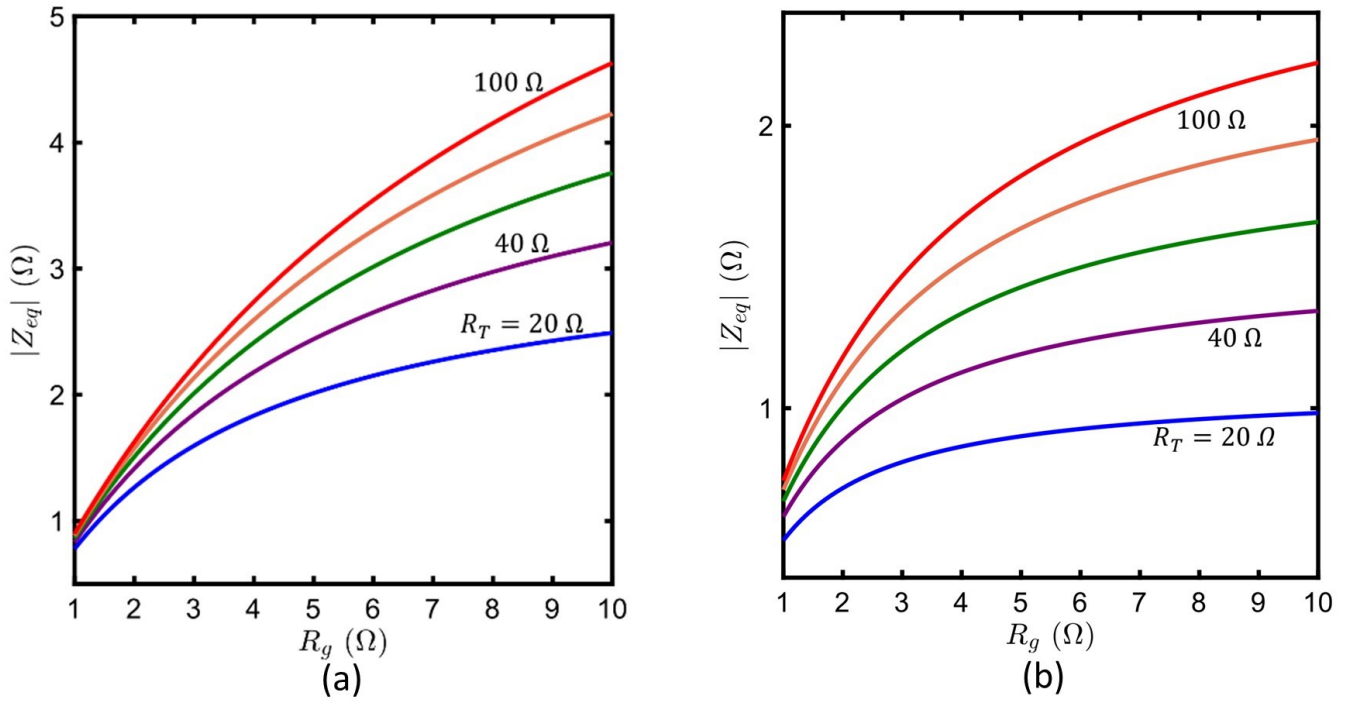


Figura 3 – Módulo de Z_{eq} vs R_g , com (a) uma linha conectada à malha e (b) três linhas conectadas à malha. De modo geral, portanto, os resultados das simulações evidenciam existir uma estreita relação entre o erro produzido durante as medições com os parâmetros R_g e quantidade de linhas conectadas nas malhas. Nesse sentido, é importante ressaltar alguns aspectos de ordem prática: i) quando a medição em uma SE é programada, não se tem conhecimento prévio do valor de R_g , de modo que é impossível inferir sobre a qualidade dos resultados que serão obtidos, ainda que a malha esteja conectada a apenas uma linha; ii) quando a malha está conectada a várias linhas, o erro será significativo, ainda que a resistência de aterramento das torres seja relativamente alta.

Considerando tais aspectos e, também, o fato de que a desconexão dos CPRs é uma ação de pouca ou nenhuma viabilidade prática, fica evidente a necessidade de se utilizar alguma outra técnica que viabilize a determinação da resistência do AST de maneira confiável. Nesse sentido, o AMT600 (Figura 4a), desenvolvido no P&D ANEEL PD-00043-0121/2021 - Sistema de Medição da Resistência de Aterramento em Subestações Usando Fonte de Injeção de Corrente - Cabeça de Série E Lote Pioneiro", com suporte financeiro da Neoenergia e parcerias com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Montrel Tecnologia, é um equipamento desenvolvido para uso específico em subestações sob condições diversas (resistência de aterramento, tensões de passo e toque e continuidade elétrica), representando uma inovação tecnológica significativa. Além disso, conta com o acessório AMT600-Compensador (Figura 4b) que utiliza sondas de corrente tipo pinça e bobinas de Rogowski para viabilizar a medição das correntes que fluem pelos cabos para-raios durante os procedimentos de medição da resistência do AST. Essas medições são incorporadas ao processamento final, garantindo que a resistência de malha seja determinada apenas pela corrente que efetivamente é direcionada para o AST, mitigando, assim, os erros associados aos desvios.



(a)



(b)

Figura 4 – AMT600 (a) e o acessório Compensador de correntes (b).

Na Figura 5 é apresentada a representação esquemática do procedimento usado para a medição das correntes de compensação. É importante ressaltar que, usualmente, essa medição acontece após o levantamento da curva característica com os valores das resistências aparentes. Como exemplo, está sendo apresentada a curva da Figura 6, obtida em condições de campo. Essa é uma condição importante, pois, o levantamento desta curva garante que o circuito de corrente, constituído pelo AST, cabos e hastes de corrente, já se encontra devidamente ajustado.

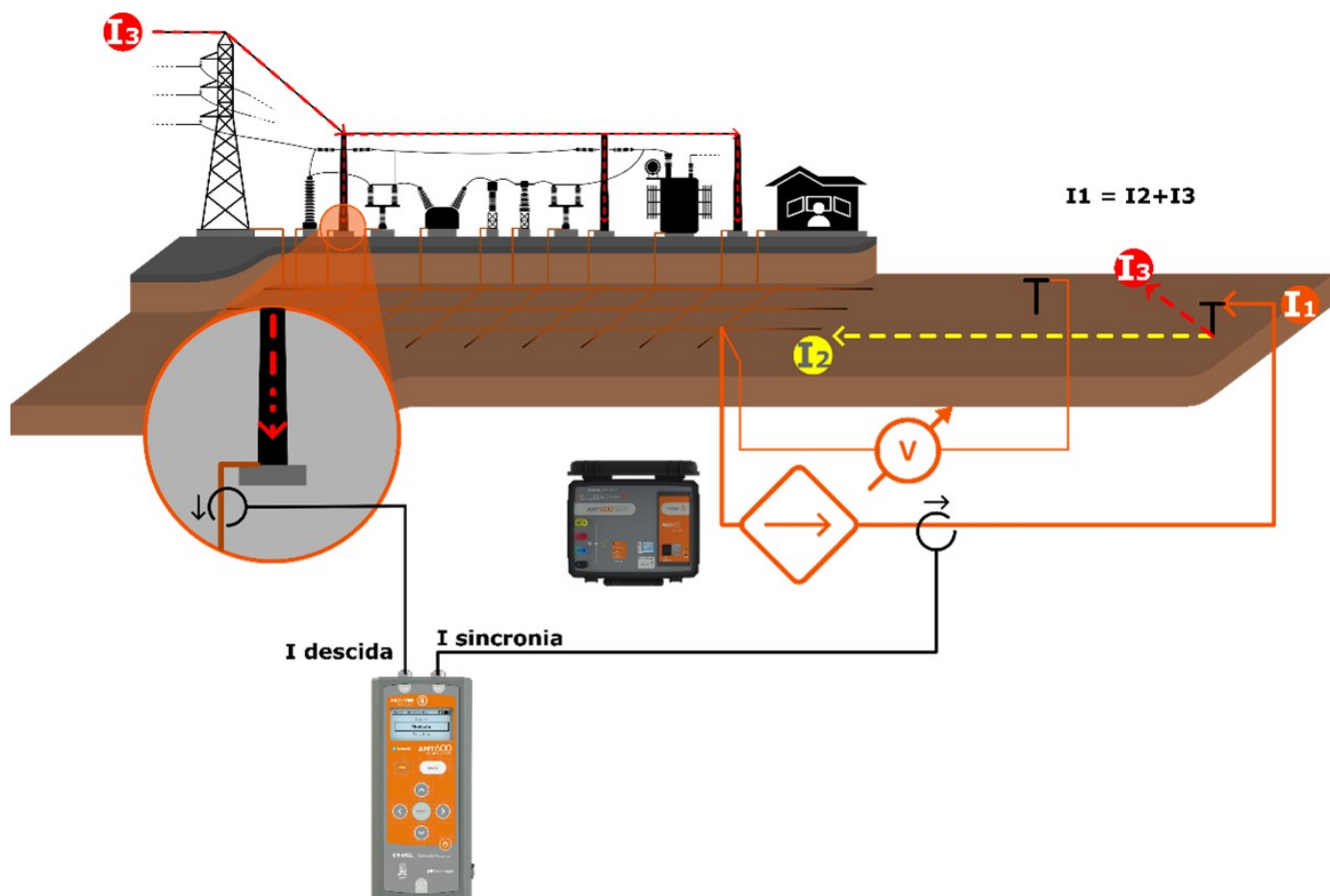


Figura 5 – Representação esquemática da medição da corrente de compensação.

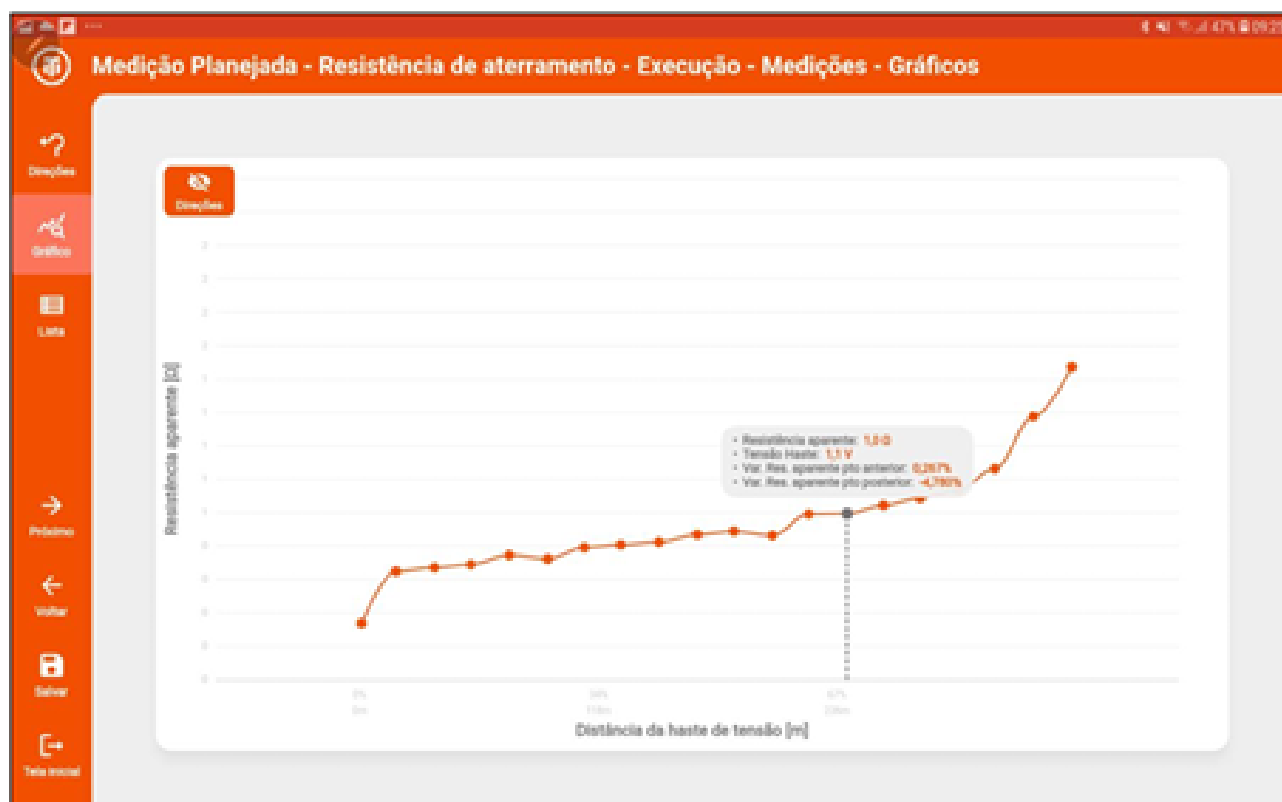


Figura 6 – Curva característica das resistências aparentes medidas.

Para se determinar a corrente de compensação total, o AMT600-Compensador mede a corrente fasorial que passa em cada um dos CPR. Para isso, o AMT600 injeta a corrente de medição I_1 (I_m da Figura 1 e Figura 2) no sistema e mede a corrente I_3 (I_{CPR} da Figura 1 e Figura 2) que passa pelo CPR, utilizando-se pinças de corrente (ver Figura 5). Este procedimento é repetido em todos os cabos de descida conectados à malha. O acessório compensador armazena todos os valores individualmente de forma que ao final dos procedimentos, os valores armazenados serão processados em uma mesma base. A seguir, são apresentados os resultados de medições realizadas em subestações energizadas.

2.2 Medições em subestações

2.2.1 Subestação Limeira-06

A SE Limeira-06, localizada em Limeira/SP, possui um ramal de entrada de 138 kV com circuito duplo e cabos para-raios que se conectam ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) da SE (Figura 7a). Já o SPDA é conectado à malha de aterramento através de 6 cabos que descem rentes aos postes, como mostra a Figura 7b. Na Figura 7c, verifica-se o AMT600 durante as medições. Considerando as dimensões aproximadas da malha, sua maior dimensão corresponde a sua diagonal, de cerca de 70 m. De acordo com (INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS, 2012), o eletrodo auxiliar de corrente deve ser posicionado a uma distância equivalente a cinco vezes esse valor, correspondendo a cerca de 350 m. Entretanto, devido às condições locais, o eletrodo de corrente foi posicionado a uma distância de, aproximadamente, 290 m da malha de aterramento.

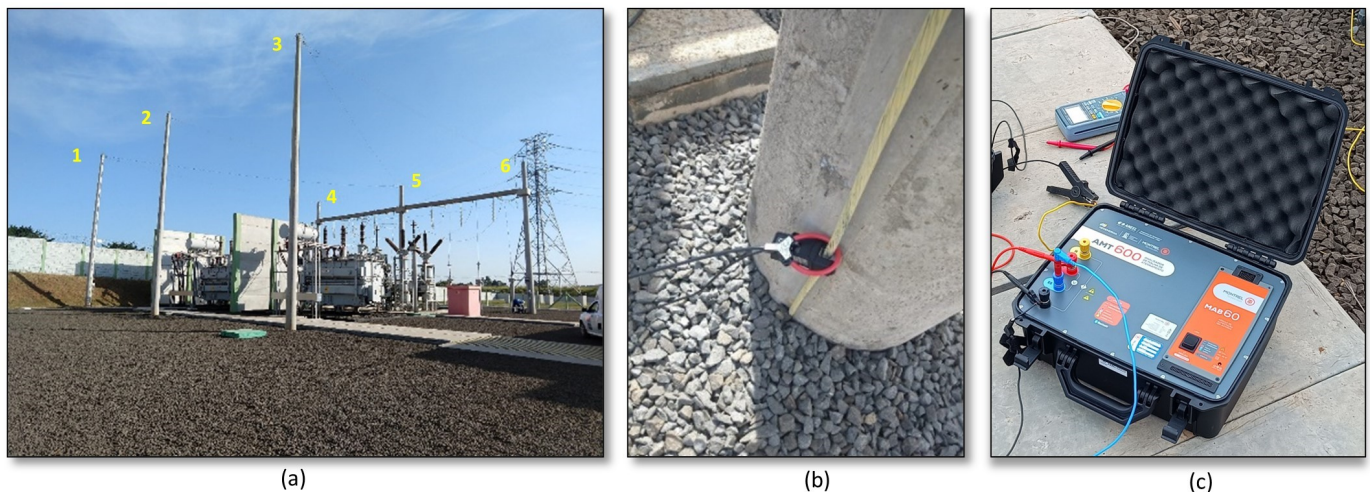


Figura 7 – SE Limeira: (a) ramal de entrada, mostrando as chegadas dos cabos PR; (b) uma descida do cabo PR e sondas de corrente; (c) AMT600 em campo realizando a injeção de corrente e as medições. Na Figura 8 é apresentado o acessório utilizado para a medição das correntes que fluem pelos CPRs, onde se verifica a utilização de sondas de corrente conectadas ao equipamento. Antes de proceder com as medições, realizou-se uma verificação dos níveis de correntes, na frequência da rede, já presentes nos cabos. Os valores variaram entre 88 mA e 641 mA. Para não haver interferências dessas correntes nas medições, o AMT600 injetou correntes nas frequências de 80 Hz, 90 Hz e 100 Hz. Na Figura 9 são destacados os resultados obtidos no equipamento em uma das descidas, onde se verifica a medição da amplitude e da fase da corrente. A amplitude da corrente é dada em pu (por unidade), tendo como valor base, a corrente total injetada pelo AMT600.



Figura 8 – Medição da corrente de compensação, SE Limeira-06.



Figura 9 – Medição da corrente de compensação com o AMT600-Compensador.

Na Tabela 1, são apresentados apenas os valores das correntes obtidas em 80 Hz (lases e $\tilde{\theta}_{ces}$), devido à similaridade com os valores obtidos nas demais frequências. Para fins de comparação, as correntes também foram medidas com o osciloscópio Yokogawa DL850, sendo os valores também apresentados na Tabela 1 (Iosc e $\tilde{\theta}_{sc}$), onde se verifica existir boa concordância de resultados. No geral, a diferença entre os valores foi inferior a 10%.

Tabela 1 – Correntes e ângulos de fase obtidas em 80Hz com o AMT600 e um osciloscópio.

Descida	I_{aces} (pu)	I_{osc} (pu)	ϕ_{aces} (°)	ϕ_{osc} (°)
1	0,02204	0,02165	3,9	4,2
2	0,01970	0,01950	16,6	16,4
3	0,05904	0,04721	32,7	27,4
4	0,10374	0,10363	-26,7	-24,1
5	0,07031	0,07138	-30,8	-28,4
6	0,05849	0,05714	-31,0	-23,0
Total	0,3029	0,3004	-14,09	-13,41

Na Figura 10 são apresentadas as curvas de resistências aparentes obtidas nas medições, com e sem a compensação das correntes que fluem através do CPR, onde se verifica claramente a influência das correntes desviadas pelos CPRs. Quando as correntes não são compensadas, os valores de resistência são consideravelmente menores, com erros que chegam ao patamar de 70%.

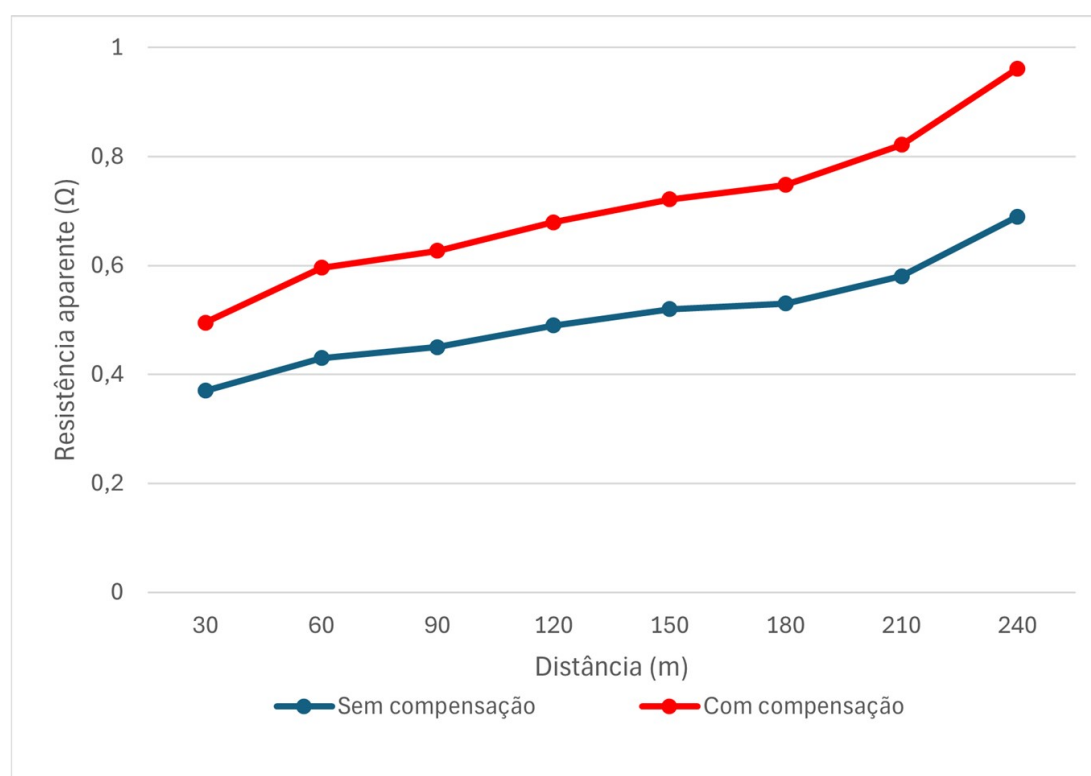


Figura 10 – Curvas características de resistência aparente.

Com base nos resultados apresentados, foi realizada uma simulação considerando o aumento da quantidade de linhas conectadas à malha. Foram consideradas situações em que a quantidade de linhas com CPR conectadas à malha aumentaria para 2, 3 e 5. As curvas obtidas de resistências aparentes são apresentadas na Figura 11, onde se verifica o efeito da redução dos valores das resistências à medida que se aumenta a quantidade de linhas. Isso ocorre devido à redução da impedância externa à SE e, consequentemente, ao aumento da corrente desviada.

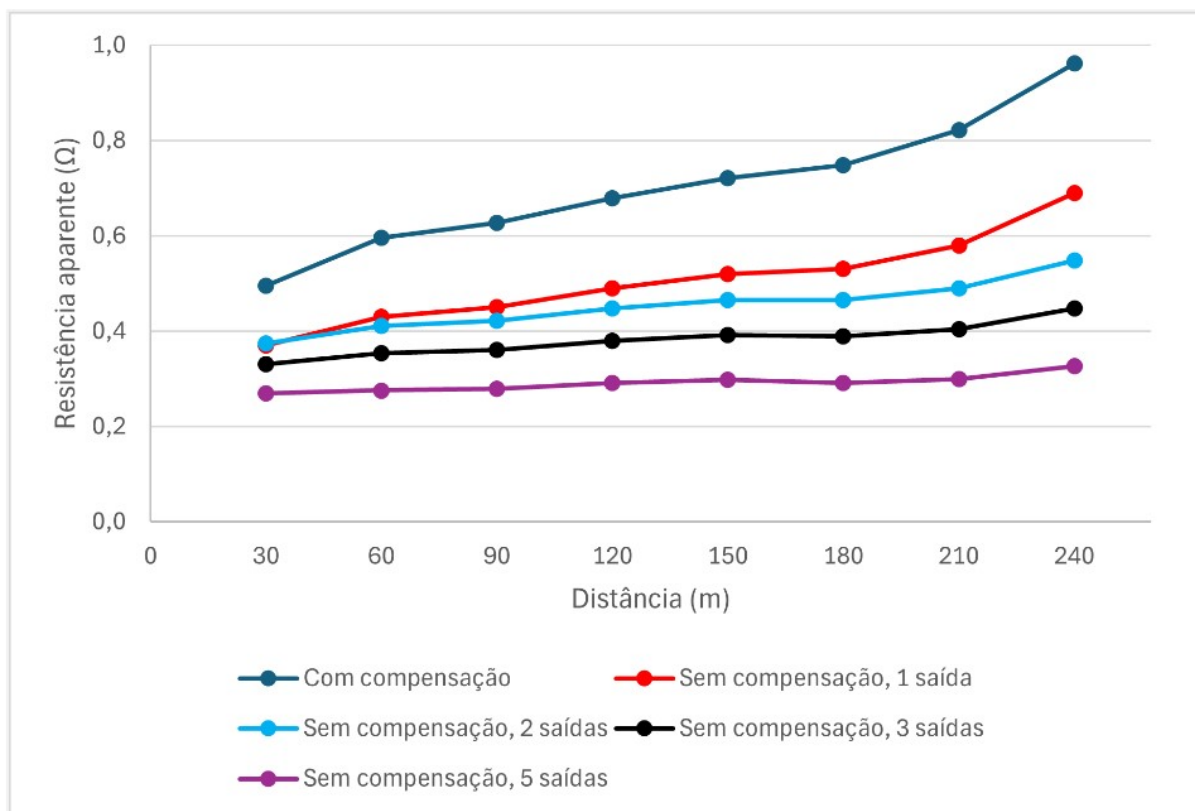


Figura 11 – Curvas características de resistência aparente.

2.2.2 Subestação Santa Gertrudes-01

A SE Santa Gertrudes-01, localizada em Santa Gertrudes/SP possui um ramal de entrada de 138 kV com o SPDA conectado à malha por meio de oito descidas. Considerando as características construtivas aproximadas da malha, sua maior dimensão é de cerca de 70 m. Assim, de acordo com (INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS, 2012), o eletrodo auxiliar de corrente deve ser posicionado a pelo menos 350 m da malha. Neste caso, foi possível instalar o eletrodo de corrente a, aproximadamente, 370 m da malha. Na Figura 12, é apresentado o AMT600 e seu acessório compensador de corrente, instalado em uma das descidas.



Figura 12 – SE Santa Gertrudes-01: equipamento de medição e acessório para medição das correntes de CPR.

Tal como no caso anterior (SE Limeira-06), antes de proceder com as medições, realizou-se uma verificação dos níveis de correntes presentes, na frequência industrial, circulando pelos cabos. Os valores variaram entre 129 mA e 4,109 A. Para evitar a influência dessas correntes no processamento das medições de resistência, o AMT600 injetou correntes nas frequências de 80 Hz, 90 Hz e 100 Hz. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos apenas em 80 Hz, devido, mais uma vez, a similaridade com os dados obtidos nas demais frequências. Além disso, nessa tabela também são apresentados os dados obtidos com o osciloscópio Yokogawa DL850, onde se verifica a boa concordância dos valores obtidos com ambos os equipamentos.

Tabela 2 – Correntes e ângulos de fase em 80Hz. AMT600 vs. Osciloscópio.

Descida	I_{aces} (pu)	I_{osc} (pu)	ϕ_{aces} (°)	ϕ_{osc} (°)
1	0,00469	0,00553	107,4	104,2
2	0,02324	0,02344	32,4	32,8
3	0,00269	0,00277	122,6	117,1
4	0,04544	0,04547	2,1	4,3
5	0,00894	0,00924	22,6	20,5
6	0,08294	0,08309	-28,9	-26,3
7	0,04266	0,04216	-36,6	-33,4
8	0,06590	0,06506	-26,4	-24,0
Total	0,24662	0,24740	-16,62	-13,88

Na Figura 12 são apresentadas as curvas de resistências aparentes, com e sem a compensação das correntes. Nelas se verifica, tal como no caso avaliado anteriormente, a ocorrência de diferenças entre os valores obtidos. Como esperado, a não compensação das correntes leva a valores menores devido à influência da impedância externa. Na avaliação deste caso, a diferença entre os valores obtidos chegou a 80%, evidenciando que os erros podem ser bastante significativos se os devidos cuidados com a compensação da corrente não forem considerados.

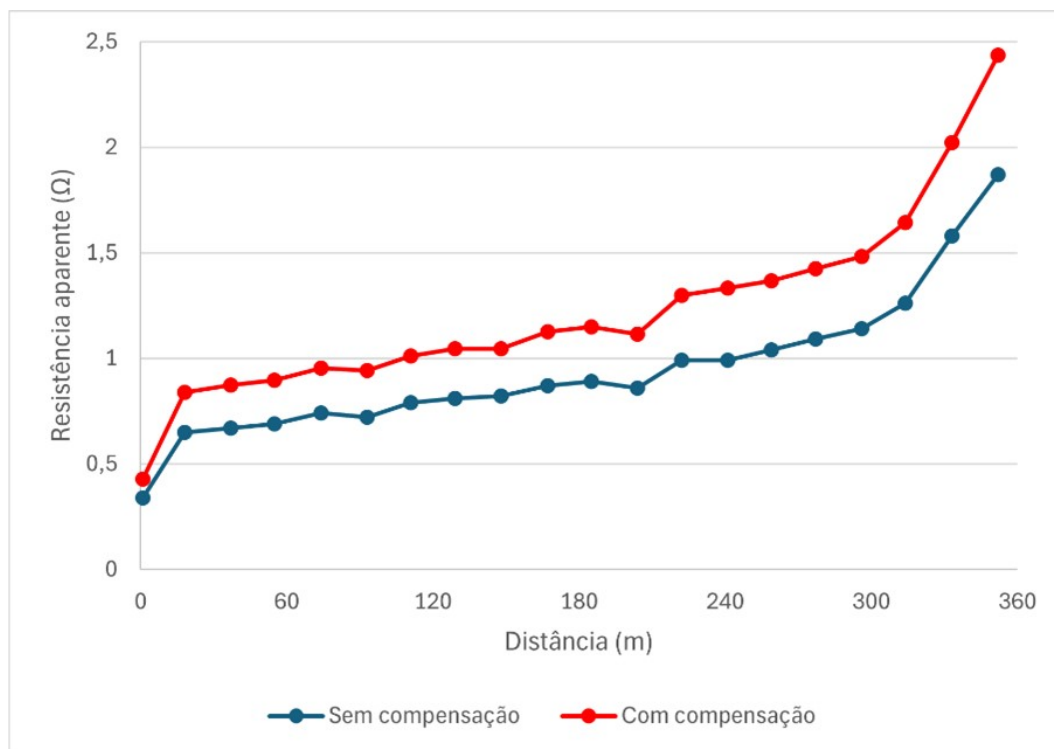


Figura 13 – Curvas características de resistência aparente.

Assim como no caso anterior, foi realizada uma simulação com o objetivo de se avaliar o efeito do aumento da quantidade de linhas conectadas à malha através dos seus respectivos CPRs. Novamente, considerou-se a adição de 2, 3 e 5 linhas. Os resultados são apresentados na Figura 14, de onde se verifica discrepâncias bastante significativas na comparação entre as curvas de resistências aparentes. A redução nos valores ocorre devido à impedância externa equivalente se tornar menor à medida que o número de conexões aumenta.

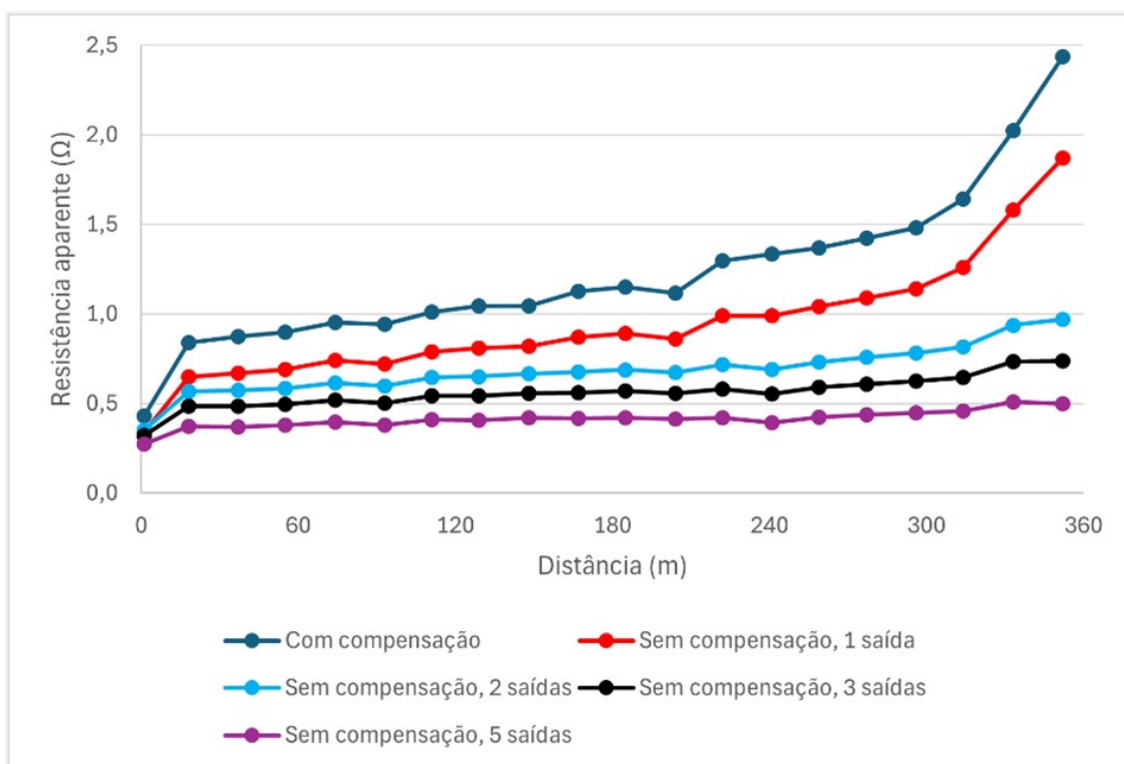


Figura 14 – Curvas características de resistência aparente.

3. Conclusão

A medição da resistência de aterramento em subestações energizadas encerra considerável complexidade em razão da diversidade de fatores que necessitam ser considerados para a sua realização, incluindo a influência de correntes desviadas pelos cabos para-raios. Apesar dos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, este tema continua sendo um desafio para engenheiros e técnicos da área, particularmente sob condições de campo. Os resultados deste trabalho evidenciam que lacunas normativas e limitações dos métodos convencionais ainda afetam a precisão das medições, destacando a necessidade de se avançar em relação as normas vigentes atuais. Além disso, os resultados obtidos mostraram que as correntes desviadas podem constituir até 30% da corrente total injetada pelos equipamentos de medição. A falta de compensação dessas correntes pode levar a erros significativos, com discrepâncias nos valores de resistência aparente que chegaram a 80% casos práticos apresentados. Esse impacto pode comprometer diagnósticos e decisões de manutenção, além de aumentar os riscos operacionais. A incorporação de técnicas de compensação de corrente, como as utilizadas no AMT600, permitiu mitigar tais erros, resultando em medições mais confiáveis e representativas. O uso do equipamento AMT600 traz, também, benefícios operacionais e econômicos importantes. A tecnologia incorporada neste equipamento possibilita a realização de medições sem a necessidade de desconectar os cabos para-raios, o que pode reduzir significativamente os tempos de parada e os custos operacionais. Além disso, a maior confiabilidade nos resultados evita intervenções desnecessárias, economizando recursos humanos e materiais, além de aumentar a segurança das subestações.

Ademais, as análises realizadas neste trabalho ressaltam, ainda, a importância de se reavaliar e desenvolver normas técnicas mais detalhadas para medições em subestações com cabos para-raios conectados,

considerando os avanços tecnológicos disponíveis. Assim, este trabalho contribui não apenas para a compreensão técnica dos desafios na medição da resistência de aterramento em subestações energizadas, mas também para a definição de práticas mais seguras, eficazes e alinhadas com a engenharia moderna.

4. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro, p. 49. 2009.

BANKE, Jim. Technology Readiness Levels Demystified. **National Aeronautics and Space Administration (NASA)**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/aeronautics/technology-readiness-levels-demystified/>>. Acesso em: 28 nov 2024.

BARBOSA, Ericles et al. **Evaluation of the use of high-frequency currents in measuring the grounding resistance of substation grounding grids**. 2023 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS). Brasília: [s.n.]. 2023. p. 1-7.

BARBOSA, Ericles et al. Influence of Overhead Ground Wires at Substation Grounding Grids Resistance Measurement. **Ground2023 & 10th LPE**, Belo Horizonte/MG, May. 2023.

BARBOSA, Ericles M. Avaliação do uso de Correntes de 25 kHz na Medição da Resistência de Aterramento de Malhas de Subestações. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

BARBOSA, Ericles M. et al. Influência da conexão do cabo para-raios no aterramento de uma subestação na medição da resistência de malha. **Cuadernos de Educación y Desarrollo (CED)**, 16, ago 2024.

DIS-ETE-005 - Cordoalhas para Rede de Distribuição e Linhas de Subtransmissão - REV 01. **Normas e Padrões**, 2019. Disponível em: <<https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/normas-e-pa>>. Acesso em: 7 mar. 2024.

DIS-ETE-013 - Postes de Concreto Armado para Linhas de Subtransmissão - REV 0. **Normas e Padrões**, 2019. Disponível em: <<https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/normas-e-pa>>. Acesso em: 6 mar. 2024.

GATTA, Fabio et al. An Equivalent Circuit for the Evaluation of Cross-Country Fault Currents in Medium Voltage (MV) Distribution Networks. **Electric Power Systems Research - Electrical Energy Systems**, v. 8, n. 2, p. 81-90, April 1998.

GATTA, Fabio M. et al. Performance of the Common Grounding System during ground faults. **CIRED 2005 - 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution**, Turin, Italy, 2005. pp. 1-5.

INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS. IEEE Std 81-2012: **IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a grounding system**. New York, p. 86. 2012.

MANNING, Catherine G. Technology Readiness Levels (TRL). **National Aeronautics and Space Administration (NASA)**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>>. Acesso em: 28 nov 2024.

MOURA, Matheus A. M. S. **Resistência de aterramento de malhas reticuladas submetidas a correntes elétricas nas frequências de terrômetros comerciais**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2023.

PANICALI, Antonio R.; BARBOSA, Celio F. Criteria for using 25 kHz grounding meters to measure grounding grids. **Ground 2020/2021 & 9th LPE**, Belo Horizonte/Brazil, jun. 2021.

PANICALI, Antonio R.; BARBOSA, Celio F. Effect of the integration path on grounding measurements. **Electric Power Systems Research**, v. 194, mai. 2021.

POPOVIC, Ljubivoje M. Efficient reduction of fault current through the grounding grid of substation supplied by cable line. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 15, n. 2, p. 556-561, April 2000.

SOBRAL, S.T.; SANTOS, J.J. H.; MUKHEDKAR, D. A proposal for ground measurement techniques in substations fed exclusively by power cables. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 3, n. 4, p. 1403-1409, Oct. 1988.

ZENG, Rong et al. Influence of overhead transmission line on grounding impedance measurement of substation. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 20, n. 2, p. 1219-1225, April 2005.