



## GRUPO VIII

### GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO- GSE

#### FILOSOFIA ADOTADA PELA CEEE-D PARA O ATERRAMENTO DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS “INDOOR”

Telló, M.(\*)  
CEEE-D

Dias, G. A. D  
UFRGS

Stefano C. R.  
CEEE-D

Bauer, G. A. T.  
CEEE-D

## RESUMO

Subestações Isoladas a Gás (GIS) são uma opção interessante devido ao pouco espaço que ocupam. O projeto do sistema de aterramento de uma GIS torna-se um desafio devido à menor área que ocupam e aos elevados níveis de curto-circuito. Considerando o espectro de frequências que pode existir em uma GIS, e o elevado nível das correntes de curto-circuito concebeu-se um sistema de aterramento formado por dois subsistemas: **AP**- Aterramento de Potência e **AE**- Aterramento de Equipotencialização. Medições realizadas em uma SE GIS “indoor” indicaram que o valor máximo de tensão de toque produzido na instalação foi inferior a 1,2 Volts.

## PALAVRAS-CHAVE

Sistema de Aterramento SE GIS “indoor”; Compatibilidade Eletromagnética; Subestações Isoladas a Gás, GIS.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

As SE's GIS são usualmente instaladas em regiões urbanas, devido à pequena área que ocupam, o que lhes conferem, além da elevada confiabilidade, a característica de apresentarem um reduzido impacto ambiental. Contudo, o controle dos potenciais produzidos devido a defeitos envolvendo a terra, tornar-se fator importante no dimensionamento do sistema de aterramento de tais SE's.

Os fabricantes de SE's GIS apresentam recomendações para o aterramento do equipamento, devendo o projetista compatibilizar esse aterramento com o aterramento dos demais equipamentos da instalação.

Isto posto, de uma forma geral, o projeto do sistema de aterramento de SE's GIS é caracterizado pela existência de dois sistemas, a saber: aterramento para controle dos potenciais produzidos por correntes de curto-circuito envolvendo a terra (60 HZ) e o aterramento para controle dos transitórios rápidos, da ordem de MHz, que se propagam como ondas eletromagnéticas dentro da estrutura da própria GIS, devido a chaveamentos. Ainda, nos pontos de transição da GIS com o ambiente externo (p. ex.: conexões com as LT's), transitórios rápidos podem ser induzidos no sistema de aterramento, produzindo elevados valores de diferença de potencial que, por sua vez, podem gerar potenciais perigosos.

Pelo exposto, verifica-se a necessidade de projetar um sistema de aterramento que controle os potenciais gerados, tanto para faltas à terra, quanto para os transitórios gerados. Significa dizer que o sistema de aterramento concebido para a SE GIS deve “funcionar” para a frequência industrial (faltas à terra) e para as altas frequências (transitórios eletromagnéticos).

Considerando o espectro de freqüências que pode existir em uma SE GIS “indoor”, concebeu-se um sistema de aterramento formado pelos seguintes subsistemas: AP - Aterramento de Potência (ou de Referência) e AE - Aterramento de Equipotencialização.

Neste trabalho não será abordado o subsistema caracterizado pelos dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas. Isto posto, o AP é formado por condutores de cobre e pela malha de terra principal da SE. Por sua vez, o AE é formado por um reticulado de condutores metálicos embutido no concreto de cada piso do prédio. O subsistema de aterramento AE é conectado à malha de terra principal, instalada no solo. Ou seja: a conexão entre os AP e o AE é feita no solo, não havendo conexão entre esses subsistemas ao longo da edificação. Os subsistemas citados serão comentados na seção seguinte.

## 2.0 - SUBSISTEMAS DE ATERRAMENTO DE SE'S GIS “INDOOR” OU ABRIGADAS

A Figura 1, apresenta a filosofia adotada para o aterramento de SE's GIS “indoor”.

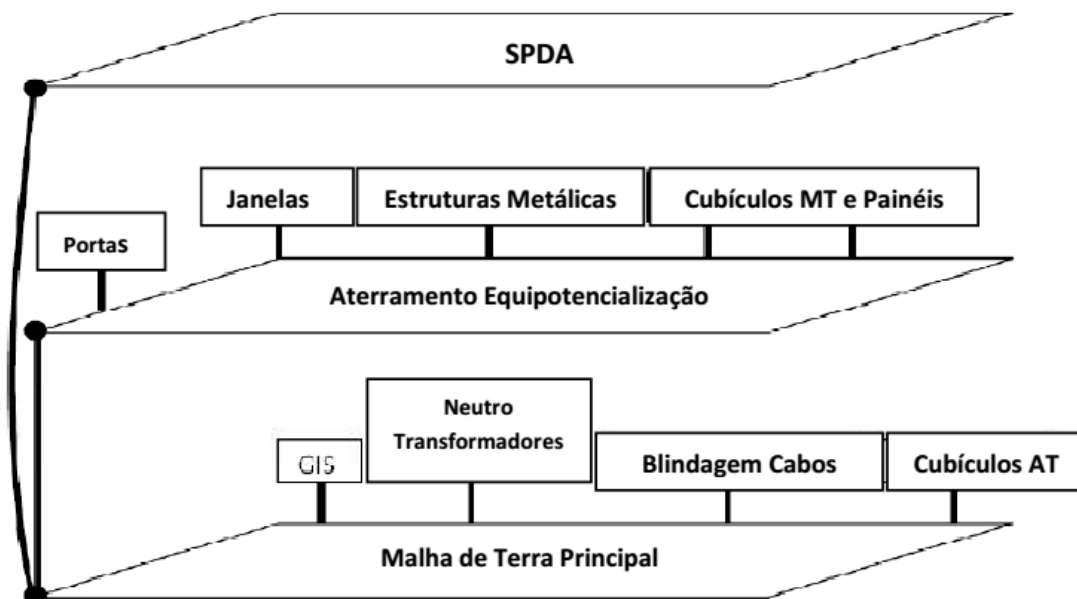


FIGURA 1 - Concepção do Sistema de Aterramento de SE's GIS “indoor”.

A configuração típica, na CEEE-D, de prédios onde são instaladas SE's GIS “indoor”, apresenta três níveis (pavimentos). No primeiro nível existem os cabos de AT e MT (sala de cabos) e, geralmente os bancos de capacitores. No segundo nível estão instalados: painéis de controle medição e proteção (sala de relés), cubículos de MT (sala de cubículos), transformadores de força (sala de transformadores), GIS (sala da GIS) e baterias e retificadores (sala de serviços auxiliares). No terceiro nível estão instalados os equipamentos de refrigeração e incêndio.

### 2.1 Aterramento de Potência (AP)

O AP é formado pela malha de terra principal da SE, a qual é instalada no solo abaixo das fundações do prédio da SE, bem como pelos condutores que interligam os aterramentos dos equipamentos sujeitos à circulação de correntes de falta a terra à malha principal. A malha de terra principal é formada por retículos de condutores de cobre. Ainda, considerando que em todos os pavimentos do prédio existem equipamentos que estão sujeitos à circulação de correntes de curto-circuito envolvendo a terra, a conexão entre tais equipamentos e a malha principal é feita através de condutores de cobre. Tais condutores, em cada pavimento, apresentam trechos embutidos no concreto e podem conectar-se à malha principal descendo através do interior de colunas de sustentação do prédio, ou de forma aparente ao lado das colunas citadas. A Figura 2 apresenta o percurso de um cabo de cobre pertencente ao AP, o qual parte ficará embutido no concreto e parte tem seu percurso aparente instalado ao lado de uma coluna da edificação.



FIGURA 2 - Conductor do Aterramento de Potência (AP).

## 2.2 Aterramento de Equipotencialização (AE)

O objetivo do AE é o de garantir que não surgirão potenciais perigosos, quando da ocorrência de defeitos envolvendo à terra (potenciais de toque e passo), bem como minimizar os efeitos devidos à existência de chaveamentos rápidos que possam surgir na instalação. O AE é formado por um reticulado de condutores metálicos, embutido no piso de cada pavimento da edificação. A Figura 3 mostra o AE em uma SE GIS “indoor”.



FIGURA 3 – Aterramento de Equipotencialização (AE).

A conexão do AE, entre os diversos pavimentos da edificação, pode ser feita através de cabos de aço, ou através de barras de aço (“rebars”), embutidos nas colunas de sustentação do prédio da SE.

Ao AE estão conectados os elementos metálicos que não estão sujeitos à circulação de corrente, tais como: marcos de portas e janelas metálicas, corrimãos de escadas, carcaças de alguns equipamentos, etc..

É importante salientar que AE é conectado à malha principal da SE somente no solo, não havendo conexão física entre o AP e o AE no interior da edificação. Ou seja, os subsistemas de aterramento referentes aos cabos do AP e ao AE são conectados somente na malha principal da SE, instalada no solo.

### 3.0 - SUBSISTEMAS DE ATERRAMENTO DE SE'S GIS "INDOOR" OU ABRIGADAS

Essa seção destina-se a apresentar os principais passos que caracterizam o projeto do sistema de aterramento de uma SE GIS "indoor". Os principais dados da SE, utilizada nesse estudo de caso, são:

- Potência Instalada: 2 x 50 MVA – 69/13,8 kV
- Corrente de curto-circuito fase-terra em 69 kV: 24,5 kA
- Corrente malha – solo: 1,76 kA

Em geral, o conceito adotado para SE's GIS é o de que o sistema de aterramento deve limitar os efeitos dos gradientes de potencial gerados na superfície do solo. Portanto, os fabricantes de GIS consideram que o equipamento está adequadamente aterrado quando a diferença de potencial entre as partes metálicas da GIS e outras estruturas metálicas na SE, não excede a faixa de tensão entre 65V a 130 V, durante a ocorrência de faltas (1). O intervalo de tensões indicado, corresponde a tempos de duração da falta de 0,8s a 3,2s, para pessoas com massa de 50 kg, e de 1,46s a 5,8s para pessoas com massa de 70 kg. A Figura 4 apresenta os limites da tensão de toque como função do tempo, para SE's GIS.

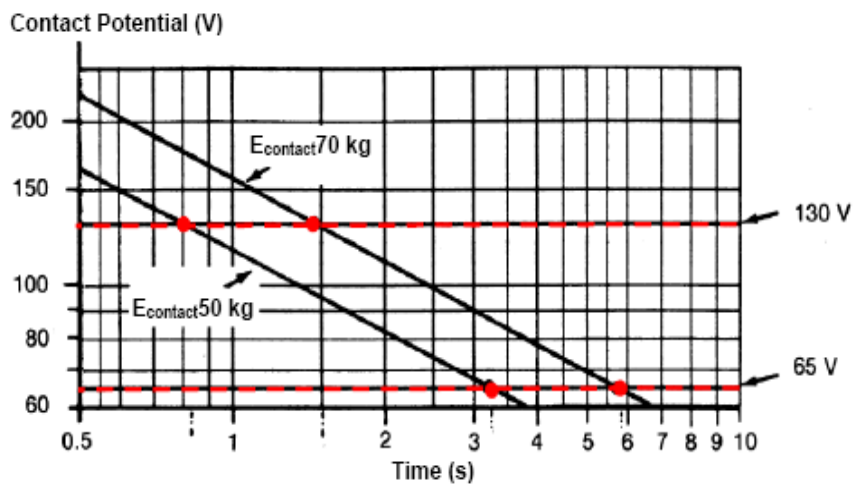


FIGURA 4 – Limites de Potências de Toque para contato metal-metal (1).

#### 3.1 Projeto da Malha de Terra Principal

O projeto da malha principal da SE GIS é o mesmo de uma Subestação Isolada a Ar (2). Contudo, de acordo com a concepção adotada, tal malha é uma referência para os potenciais que surgirão no interior da SE. Ou seja: considerando que o AE está conectado à malha principal, o gradiente de potencial no interior da instalação será controlado pelo AE. Assim, na ocorrência de um defeito envolvendo a terra, a corrente de falta será dissipada pela malha principal e as diferenças de potencial esperadas entre a malha principal e o AE serão pequenas garantindo, dessa forma, a segurança pessoal no interior da SE. A Figura 5 mostra a disposição dos condutores de uma malha principal e os correspondentes gradientes de potencial na superfície do solo.

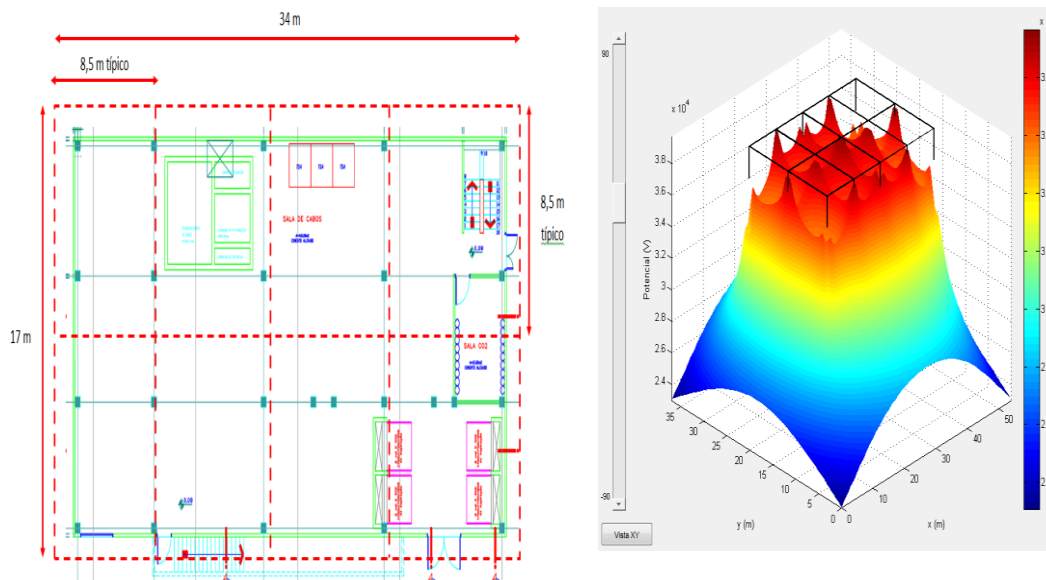


FIGURA 5 – Malha principal e os potenciais na superfície do solo.

### 3.2 Aterramento de Equipotencialização (AE)

O AE tem duas funções: controlar os potenciais devidos aos transitórios rápidos que ocorrem no chaveamento da GIS e controlar os potenciais gerados na superfície do piso de concreto no interior do prédio, quando de faltas à terra. A Figura 6 apresenta o AE, de um dos pavimentos do prédio da SE, embutido no concreto.

O ideal é que o AE fosse formado por uma placa metálica de cobre instalada em todos os pavimentos do prédio da SE. Tal placa tornaria inviável o empreendimento devido ao seu elevado custo. Portanto, uma malha formada por pequenos retículos de condutores metálicos, pode ser menos efetiva, se comparada a uma chapa de cobre, mas apresenta desempenho semelhante e é de menor custo.

A questão que se impõem, para o AE, é o de determinar a dimensão do reticulado da malha embutida no piso de concreto, tal que apresente um comportamento semelhante à de uma placa metálica. Ou seja: o critério para a determinação do tamanho do reticulado do AE é o de determinar o valor de impedância desse reticulado e compará-lo com a impedância de uma chapa metálica. Isto posto, a idéia é a de determinar a impedância de um reticulado de condutores, apresentando diferentes dimensões, e comparar o resultado obtido com a impedância de uma placa metálica. Assim, determinaram-se as impedâncias para reticulados de condutores (Zgrid) tendo dimensões de 20cmx20cm, 15cmx15cm e 10cmx10cm (3), (4). Determinou-se, também, a impedância que uma chapa teria (Zplate).

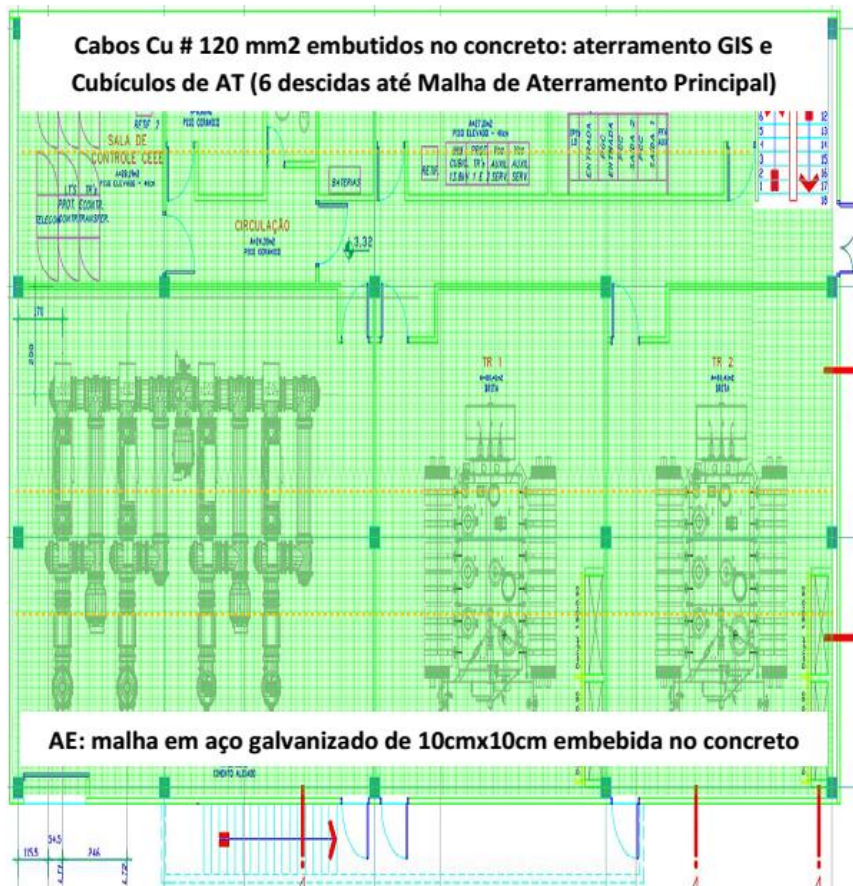


FIGURA 6 – Aterramento de Equipotencialização.

A Figura 7 mostra a relação Zgrid/Zplate para as dimensões de quadrículas acima citadas.

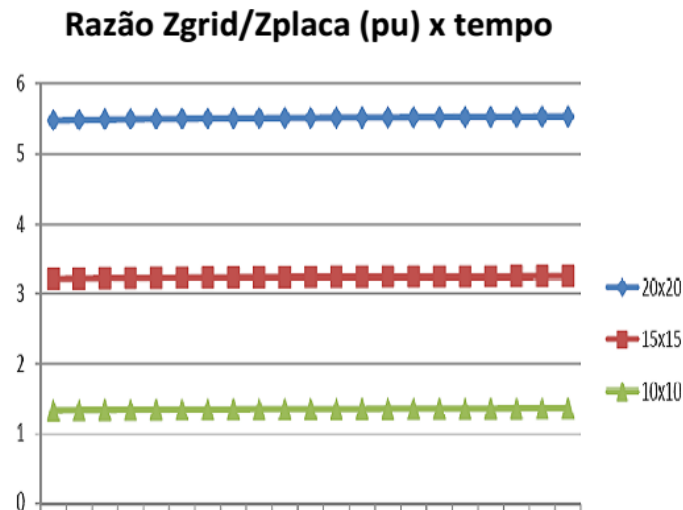


FIGURA 7 – Razão Zgrid/Zplate x tempo.

A Figura 7 indicou que a relação Zgrid / Zplate que se aproxima da unidade é a de uma quadrícula que apresenta dimensão de 10cmx10cm. Assim, está sendo utilizado no AE de SE's GIS "indoor", da CEEE-D, reticulado de condutores com dimensão de 10cmx10cm.

#### 4.0 - MEDIÇÕES PARA AVALIAR O SISTEMA DE ATERRAMENTO

Procedeu-se a medições para avaliar o desempenho do sistema de aterramento concebido. Assim, na SE Menino Deus, instalada no parque elétrico da CEEE-D, foi utilizado o método da queda de potencial para fazer circular uma corrente que simulasse a corrente de falta a terra. O equipamento utilizado, no ensaio, foi o modelo CPC 100, da OMICRON e 3,5 A foi o valor da corrente que fluiu entre a malha de terra principal da SE sob teste e o eletrodo de corrente. A Figura 8 apresenta o esquema de medição utilizado.

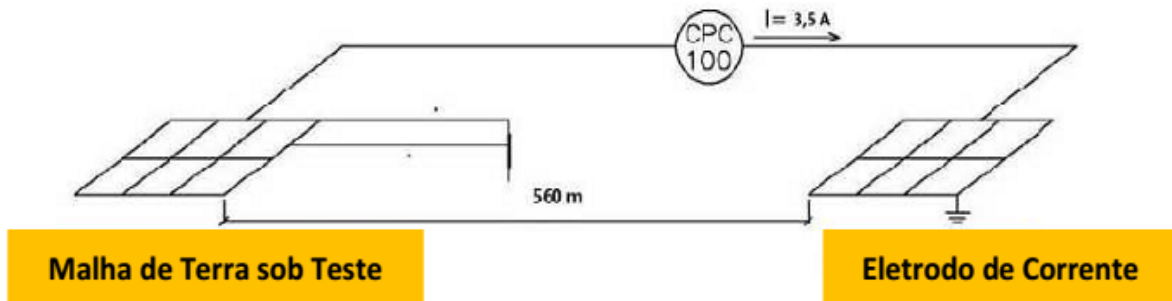


FIGURA 8 – Esquema de medição utilizado em SE GIS “indoor”.

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos nas medições de potencial de toque, os quais foram realizados em diversos pontos no interior da SE GIS “indoor”, sob teste.

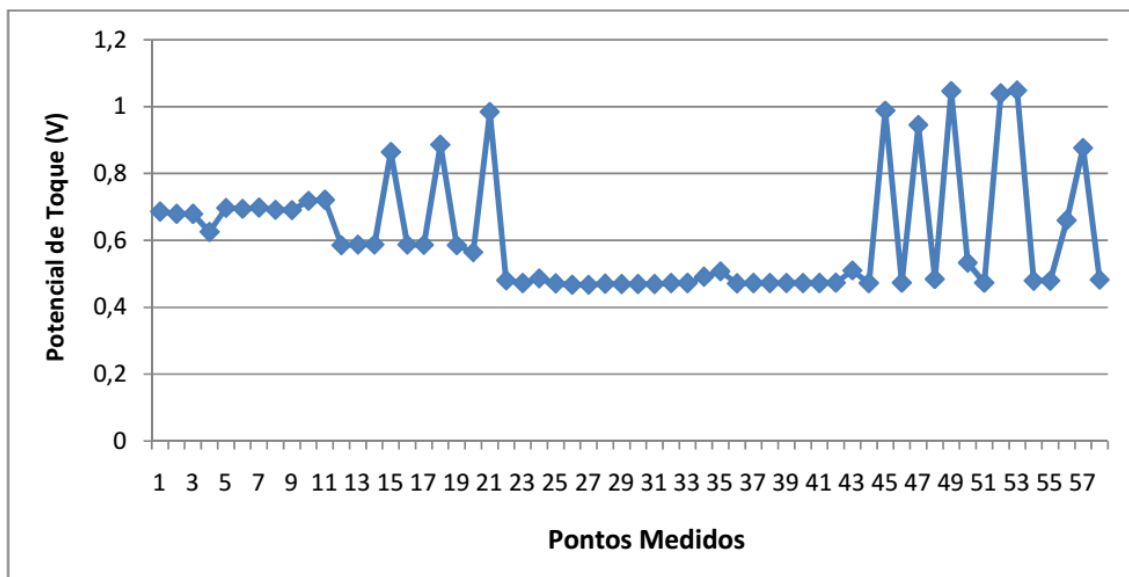


FIGURA 9 – Medição dos potenciais de toque em pontos no interior da SE.

A figura 9 indica que a maior diferença de potencial verificada foi de 1,15 Volts.

#### 5.0 - CONCLUSÃO

É importante comentar que devido ao fato de os subsistemas de aterramento estarem conectados unicamente no solo, não existem diferenças de potencial importantes entre eles, quando da ocorrência de faltas à terra ou transitórios eletromagnéticos gerados pela GIS. Ou seja: na ocorrência de um evento “todo o aterramento sobe junto e desce junto, em relação a um ponto qualquer fora do sistema de aterramento da SE”.

Outra observação importante é a de que a malha de terra principal “funciona” como uma referência à terra para os potenciais no interior da edificação não sendo necessário determinar, no seu dimensionamento, se esse subsistema de aterramento produzirá tensões de toque e passo inferiores aos preconizados pela norma, pois a função de controlar os potenciais gerados é do AE, o qual tem comportamento o mais próximo possível de uma chapa metálica.

Nas SE's GIS "indoor" implantadas, na CEEE-D, medições foram realizadas, confirmando a inexistência de diferenças de potencial importantes entre os subsistemas de aterramento concebidos. Além das medições de potenciais, medições referentes à continuidade dos subsistemas de aterramento também foram realizadas. Ao sistema de aterramento concebido para SE's GIS "indoor" pode ser agregado subsistema de aterramento adicional, como por exemplo o SPDA da edificação. Assim, o AE e o SPDA são conectados SOMENTE a malha de terra principal, instalada no solo.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding – IEEE Std. 80-2000.
- (2) Heppe, R. J., "Computation of Potential at Surface Above an Energized Grid or Other Electrode". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 6, pp. 1978-1989, November 1979.
- (3) Gupta, B. R., Singh, V. K., "Impulse Impedance of Rectangular Grounding Grid". IEEE Transactions on Power delivery, No. 1, pp. 214-217, January 1992.
- (4) Hyltén-Cavallius, N. R., Gao, T. N., "Floor Net Used as ground Return in High-Voltage Test Areas". IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, Vol. PAS-88, No. 7, pp. 996-1004, July 1969.

## 7.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

**Marcos Telló** nasceu em Ijuí, RS, em 1956. Graduiu-se em Engenharia Elétrica (PUCRS (1981), possui mestrado (UFSC 1996) e Doutorado (UFRGS 2000). É Professor Titular da Faculdade de Engenharia da PUCRS/Departamento de Engenharia Elétrica. Também atua como Engenheiro Eletricista na CEEE-D, no Departamento de Projeto de Subestações da Transmissão/Divisão de Obras. É autor principal de 03 livros, na sua área de interesse, bem como possui artigos publicados no Power System Research e no IEEE Transactions on Magnetics, entre outros. Participa de vários grupos de pesquisa, no Brasil.

**Guilherme A. D; Dias**, nasceu em Porto Alegre, RS, em 1950. Graduiu-se em Engenharia Elétrica (1975) e obteve os títulos de Mestre (1996) e Doutor (2001) todos pela UFRGS. Atualmente, realiza Pós-Doutorado na UFRGS. Foi Professor Titular da PUCRS, por mais de 30 anos, bem como Engenheiro Eletricista do Grupo CEEE, também por mais de 30 anos. Atualmente é diretor da DDIAS Assessoria Empresarial e realiza consultoria principalmente nas áreas relacionadas com aterramento elétrico, descargas atmosféricas e Subestações de AT e EAT.

**Guilherme André Tomasi Bauer**, nasceu em Florianópolis, SC, em 1985. Em 2009 graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFSC e ingressou como Engenheiro Eletricista, na CEEE Distribuição. Na CEEE atua na área de projetos de subestações estando, atualmente, lotado no Departamento de Projetos da Transmissão/Divisão de Obras/CEEE-D.

**Carlos Roberto Stefano**, nasceu em 28 de janeiro de 1959. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela PUCRS (1982) e ingressou como Engenheiro Eletricista, na CEEE, em 1985. Na CEEE atuou e, ainda atua, na área de projetos de subestações, estando atualmente lotado no Departamento de Projetos da Transmissão.