



**17 a 22 de outubro de 1999  
Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil**

**GRUPO X  
SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)**

**DIFICULDADES NO CUMPRIMENTO DOS CRITÉRIOS PARA MITIGAÇÃO DAS  
INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS NA UHE DE SALTO CAXIAS**

*Ronni M. Campaner\**  
Intertechne-Leme-Engevix-Esteio

*Thutomu Fujino*  
COPEL

**RESUMO**

*Este IT dá ao leitor uma visão de contexto quanto aos motivos que levaram à utilização de critérios para mitigação das IEMs na UHE de Salto Caxias. Este IT descreve a forma de apresentação do documento de critérios. Os critérios foram publicados no IT “Controle de Interferências e CEM na Usina e na SE de Salto Caxias da Copel” no XIV SNPTEE. Na fase de detalhamento de projeto surgiram dificuldades. Este IT descreve algumas dificuldades e apresenta as soluções adotadas. Como conclusão são apresentadas sugestões, amadurecidas com as dificuldades encontradas, de gerenciamento de projetos do ponto de vista da CEM.*

**PALAVRAS CHAVE**

Interferência eletromagnética, compatibilidade eletromagnética, usina hidrelétrica.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os benefícios advindos do uso de equipamentos digitais em usinas e subestações já estão bastante difundidos. Na prática os benefícios do uso desta tecnologia têm se confirmado. A confiabilidade e a disponibilidade de tais equipamentos têm se mostrado cada vez mais satisfatórias. Por este motivo, decidiu-se pela aplicação, em larga escala, de equipamentos com tecnologia digital na usina hidrelétrica de Salto Caxias. Os sistemas de controle e proteção foram estruturados com base em equipamentos digitais.

O bom funcionamento da usina tornou-se extremamente dependente do desempenho satisfatório dos sistemas digitais. Este fato aguçou a consciência da

necessidade de tomar-se providências severas para reduzir o risco de interferências eletromagnéticas (IEM).

Decidiu-se, então, pela contratação de um consultor especificamente para o assunto compatibilidade eletromagnética (no caso o mesmo consultor que na ocasião já estava prestando auxílio na definição da filosofia do sistema de aterramento da usina hidrelétrica de Salto Caxias). Formou-se, a seguir um grupo de trabalho para a definição dos critérios para a mitigação das interferências e a compatibilidade eletromagnética (CEM) na usina hidrelétrica de Salto Caxias. Os trabalhos transcorreram ao longo de um ano.

O resultado dos trabalhos foi um extenso relatório técnico dividido em duas partes. A primeira parte, inteiramente teórica, tratou do assunto compatibilidade eletromagnética por uma óptica diferente da que tradicionalmente se vê na literatura especializada. O relatório propunha a utilização do método das ondas tráfegantes (utilizado no modelamento de fenômenos de propagação de ondas em sistemas de potência) para a análise de problemas de compatibilidade eletromagnética. A segunda parte do relatório tratava de recomendações práticas. Estas recomendações práticas nortearam o projeto das instalações elétricas e estabeleceram os requisitos a serem impostos aos fornecedores de equipamentos, além de terem a finalidade de orientar os supervisores de montagem dos equipamentos na Obra.

Infelizmente por ocasião do início dos trabalhos havia casos em que fornecedores de equipamentos da usina já haviam sido contratados. Por isso alguns dos critérios, que se pensou como sendo os ideais em termos de compatibilidade eletromagnética eram

reconhecidos, no texto do próprio relatório, como sendo de difícil implementação em tais casos.

Como referência bibliográfica ao leitor, os resultados dos trabalhos de elaboração do referido relatório técnico foram resumidamente publicados no informe técnico (IT) "Controle de Interferências e Compatibilidade Eletromagnética na Usina e na SE de Salto Caxias da Copel" no XIV SNPTEE, em Belém do Pará, em 1997, ver referência bibliográfica (1).

A seguir ordena-se em itens uma coletânea de dificuldades encontradas durante a implementação dos critérios de compatibilidade eletromagnética estabelecidos no referido relatório técnico.

## **2.0 - A FILOSOFIA DO SISTEMA DE ATERRAMENTO**

Os trabalhos realizados em termos de compatibilidade eletromagnética foram os mais abrangentes possíveis. Englobaram inclusive a filosofia do sistema de aterramento (que já havia sido objeto de estudos anteriores para a elaboração de outros documentos de projeto). Os estudos relativos à compatibilidade eletromagnética apenas referendaram aquela filosofia.

Decidiu-se por exemplo pela não instalação de malhas de aterramento no canal de fuga, no canal de aproximação da tomada d'água e na barragem, e pela interligação das ferragens civis entre blocos de concreto armado por meio de condutores de cobre.

Quando os documentos de projeto iniciais chegaram à Obra, o pessoal encarregado da execução imediatamente informou a falta das referidas malhas de aterramento, acreditando num provável descuido no projeto ao invés de uma não inclusão intencional. Houve a necessidade de um pronunciamento oficial da área de projetos, confirmando a não existência da malha de aterramento em questão.

A simples interligação de ferragens civis, em substituição às malhas de aterramento instaladas em leitos rochosos como no canal de fuga, suscitou questionamentos como: este procedimento é ou não suficiente?; qual o efeito da corrosão galvânica do ferro em contato com o cobre? É interessante notar que, a corrosão galvânica não era motivo de preocupação em obras cujo projeto se baseou em critérios convencionais, embora o contato do ferro com o cobre sempre existisse. Todas as questões foram respondidas. A interligação das ferragens tinha como objetivo a equalização de eventuais potenciais elétricos entre os blocos de concreto armado (que não

necessitam ser interligados por questões civis). A intensidade de corrente elétrica que circulará pelas ferragens já havia sido calculada na fase de projeto básico e foram tomadas precauções para minimizá-la. A corrosão galvânica não é significativa devido à grande quantidade de ferro existente nas estruturas.

## **3.0 - DETALHES DE PROJETO**

A adoção de técnicas inovadoras impõe a necessidade de se dedicar especial atenção a detalhes aparentemente insignificantes.

Para reduzir a intensidade de corrente que circulará pelas malhas de aterramento e ferragens estruturais durante um eventual curto-circuito para a terra, criaram-se caminhos preferenciais para a circulação da corrente. Por exemplo, criaram-se interligações intencionais "reforçadas" entre os cabos-guarda das linhas e os neutros dos transformadores elevadores.

Como os cabos-guarda da linha de transmissão em 525 kV são ligados à malha de aterramento da subestação (isolada a gás) e o neutro do transformador elevador é ligado à malha de aterramento da casa de força, e como os blocos de concreto armado destas duas estruturas não são interligados no projeto civil, foram previstos cabos de cobre interligando o cabo-guarda ao neutro do transformador elevador. Como esta é uma solução não convencional, tal interligação não foi feita durante a fase inicial de concretagem. A omissão foi detectada pela área de projetos e o problema foi resolvido pela Empreiteira com alguma dificuldade a mais, uma vez que os blocos estruturais já estavam concretados.

## **4.0 - NÍVEIS DE SEGREGAÇÃO PARA VIAS DE CABO**

Um dos critérios adotados foi o estabelecimento de níveis de segregação de cabos, com base nos atributos de função e de intensidade de energia. Ou seja, foram criadas vias de cabos independentes para cabos com diferentes funções ou diferentes níveis de intensidade de energia. Foram estabelecidos cinco níveis de segregação de cabos (um para cabos de controle associados à equipamentos de controle digital, quase sempre entradas analógicas ou entradas digitais de 24 V@8mA; um para cabos associados à equipamentos de controle convencional, quase sempre acionamentos na tensão de 125 V em corrente contínua; um para cabos de força quase sempre para alimentação de motores em 440 V em corrente alternada, um nível para cabos de iluminação e aquecimento na tensão de

220 V; e um nível para cabos de telefonia e telecomunicações). A quantidade de níveis de segregação poderia ter sido maior ou menor. Na época cinco níveis pareciam ser adequados.

Na prática, cinco níveis tornaram-se um complicador. Infelizmente o término dos trabalhos de estabelecimento dos critérios de compatibilidade eletromagnética se deu tardiamente, se levado em conta o cronograma da Obra. Muitos dos "block-outs" nas paredes, destinados a passagens das vias de cabos, que já constavam do projeto civil, sendo que muitos deles já estavam executados na Obra, mostraram-se insuficientes para cinco níveis de segregação. Caminhos alternativos tiveram que ser criados; furos nas lajes tiveram que ser feitos.

Outro requisito, relativo ao nível de segregação correspondente aos cabos de controle, foi que, para estes cabos, deveriam ser utilizadas eletrocalhas com tampa. Entretanto, durante a elaboração do projeto executivo observou-se que o uso de vários tipos de vias de cabos iria complicar tanto o projeto quanto a montagem e o processo de compra dos materiais. Foi então decidido que todos as eletrocalhas deveriam ser tampadas independente do nível de segregação (uniformizando os critérios).

Devido ao uso de tampas nas eletrocalhas, o enchimento destas passou de um simples controle de projeto para uma obsessão dos projetistas e dos executores na obra.

## 5.0 - SALAS CRÍTICAS

Três salas foram consideradas "críticas" por possuírem muitos equipamentos de controle e proteção com tecnologia digital fundamentais para a usina. Foram elas: Sala de Controle das Unidades Geradoras 1 e 2, Sala de Controle das Unidades Geradoras 3 e 4, e Sala de Painéis da Subestação. Assim sendo, a tais salas foi dado um tratamento especial. Para elas previu-se como critério:

- uso de placas de material semicondutor nos pisos falsos;
- uso de malha densa (isto é, uma malha de aterramento com células de 5 x 5 cm);
- cabos organizados em chicotes no interior do piso falso;
- blindagem nas paredes e teto.

## 5.1 - Piso Falso

Encontrou-se dois fornecedores de pisos vinílicos com as características desejadas, porém um deles não se interessou pelo fornecimento devido à pequena quantidade que seria necessária. O outro era simplesmente um vendedor de um produto fabricado na Suíça.

O piso propriamente dito também representou uma dificuldade, pois a maioria das metalúrgicas não tinha experiência com o tipo de piso elevado que se pretendia utilizar. Para garantir a continuidade elétrica do piso elevado com as placas semicondutoras, a solução dada por uma metalúrgica local foi a utilização de suportes niveladores ("macaquinhos"), sobre os quais foi colocada uma treliça de chapas de ferro e sobre a treliça uma chapa lisa de ferro. Por cima desta última chapa foram colados os revestimentos vinílicos semicondutores.

A montagem dos painéis elétricos nas salas produziram riscos no revestimento vinílico e os suportes metálicos empenaram.

Na obra foi decidido, então, cobrir os revestimentos vinílicos com papelão e outros materiais durante a fase de montagem. Os suportes metálicos foram reforçados com "macaquinhos" extras.

## 5.2 - Malha Densa

A malha deveria ser especialmente fabricada, uma vez que não foi encontrada no mercado uma malha de cobre que atendesse ao requisito de 5 x 5 cm de célula. Optou-se por utilizar uma malha de ferro composta por células com as dimensões especificadas, denominada "Telcom", normalmente aplicada em obras civis. Consultando os fabricantes, encontrou-se as seguintes dificuldades:

- a quantidade necessária poderia ser antieconômica para o fabricante;
- como seria necessário um ponto de solda a cada 5 cm, a bitola do ferro não poderia ser muito pequena; isto trouxe dificuldades para lidar com a malha;
- a maior largura da malha que o fabricante conseguia fazer era inferior à largura da sala.

Outra dificuldade que surgiu foi a interferência física entre a malha densa e os "macaquinhos" do piso falso.

Os "macaquinhos" poderiam não ficar em equilíbrio estável ao serem instalados sobre a malha densa.

Quanto à largura da malha densa, a solução foi sobrepor as malhas e soldá-las (em alguns pontos) na Obra. Quanto ao equilíbrio estável dos "macaquinhos", a solução foi utilizar cimento de regularização sobre a malha densa.

### 5.3 - Chicotes

A utilização de chicotes no interior do piso falso é inviável devido à quantidade e seção transversal dos cabos, além de trazer dificuldades para manutenção, inclusão de novos cabos ou retirada de cabos não utilizados. A solução foi o caminhamento dos cabos paralelamente uns aos outros (em forma de fitas), inclusive o cabo de aterramento (que deveria ficar no centro do chicote). Quando necessário, foram dispostos também em camadas. É necessário ressaltar que, infelizmente, esta solução não foi possível de ser executada para todos os casos (principalmente em painéis de controle convencional e em painéis de proteção, onde a quantidade de cabos é bastante significativa); nestas situações o critério teve que ser abandonado.

### 5.4 - Blindagem das Paredes

A blindagem das paredes por chapas soldadas era viável porém de difícil execução. Adotou-se, então, lambris pré-fabricado em alumínio. As chapas deste lambris foram sobrepostas.

A montagem do lambris previa a utilização de um perfilado de fixação das chapas. Isto fazia com que as chapas ficassem distanciadas da parede, impedindo a fixação de painéis, tomadas, interruptores, etc.

A solução foi a colocação de uma placa de madeira fixada na parede por trás do lambris, nos locais onde se previu a fixação de quaisquer dispositivos.

## **6.0 - CABOS DE ALIMENTAÇÃO DE CORRENTE CONTÍNUA**

Foi estabelecido o critério de que os cabos de alimentação de corrente contínua deveriam ser blindados e os condutores positivo e negativo deveriam estar no mesmo cabo. Devido a este critério, e à necessidade de atendimento de um requisito de queda de tensão bastante rigoroso, a seção transversal dos cabos resultou muito grande. Houve, então, muita dificuldade no lançamento e no manuseio destes cabos.

## **7.0 - CABOS COM DUPLA BLINDAGEM**

Para os cabos de sinais destinados aos painéis contendo equipamentos de controle digital estabeleceu-se que deveriam possuir blindagens por par (ou terno) e coletiva (também denominada de blindagem global ou então de blindagem geral).

Embora constantes de alguns catálogos, os fabricantes não tinham este tipo de cabo em suas linhas de produção. Para o primeiro lote a ser adquirido não houve fornecedores interessados. Foi necessária uma reunião com os possíveis fornecedores para viabilizar um fornecimento especial. Isto obviamente gerou custos e atrasos. Os fabricantes pedem no mínimo 90 dias para entrega de encomendas especiais. Este tempo tem que ser considerado no cronograma de projeto e execução da Obra. Alguns lotes de cabos tiveram que ser importados, isto porque o prazo de entrega era menor, mesmo que o carregamento viesse de navio.

## **8.0 - DIFICULDADES COM FORNECIMENTO DE EQUIPAMENTOS**

Algumas empresas fornecedoras de equipamentos e serviços passaram por reformas profundas em função de métodos gerenciais em voga (qualidade total, reengenharia, globalização), que resultaram, quase sempre, na redução do quadro de funcionários e na terceirização de serviços e fornecimentos.

O que aconteceu, então, foi que alguns fornecedores subcontrataram serviços e fornecimentos de algumas empresas que não possuíam experiência em usinas hidrelétricas, e portanto desconheciam as características particulares destes ambientes, principalmente no que tange às interferências eletromagnéticas. A consequência foi o aparecimento de algumas impropriedades no conteúdo original de alguns projetos apresentados.

Além disso, para um mesmo problema de compatibilidade eletromagnética, vários fornecedores

apresentaram proposições distintas quanto à técnica a ser adotada como possível solução. Isso ocorreu também porque muitos fabricantes possuíam seus próprios procedimentos já esquematizados quanto à compatibilidade eletromagnética. Assim os requisitos e as soluções implementadas por vários fabricantes tornaram-se diferentes entre si e diferentes dos critérios preconizados para o projeto das instalações elétricas de Salto Caxias. Houve então a necessidade de um extenso trabalho no sentido de obter-se uma convergência dos critérios. É claro que para isso houve a cooperação das partes envolvidas, pois freqüentemente havia a necessidade de tomar-se providências como: incluir barra de aterramento de blindagens de cabos, blocos terminais, conectores, aumentar o tamanho de calhas internas aos painéis, etc.

Um dos pontos mais comuns era a não previsão de utilização de cabos de sinal aos pares, ou seja conduzindo o positivo e o negativo (ou o condutor de retorno) contiguamente em um par trançado. A exigência do uso de pares ou ternos trançados implica em aumento do número de blocos terminais, do tamanho das régua, das eletrocalhas, e até dos painéis, com o conseqüente aumento do custo (o que deixava os fabricantes reticentes ao atendimento do requisito, com razão). Custos foram motivos de longas discussões, uma vez que os contratos com os fornecedores não possuíam clara e especificamente os requisitos quanto à compatibilidade eletromagnética.

Outro ponto de discussão foi a incompreensível resistência de alguns fabricantes em comprovar, por meio de certificados, declarações de conformidade ou relatórios de ensaios, o atendimento de requisitos de compatibilidade eletromagnética normatizados internacionalmente. Aparentemente houve uma dificuldade de comunicação. Quando tais documentos eram solicitados pela primeira vez era comum o envio de certificados da série ISO-9000. Explicando-se e insistindo-se, alguns fabricantes informavam que tratava-se de informações confidenciais da empresa (provavelmente acreditando que estávamos solicitando o relatório técnico de construção que o fabricante deve possuir quando pretende colocar a marca CE em seus equipamentos, pois neste relatório constam soluções tecnológicas de cada fabricante). Mas, para nossa satisfação, depois de algum diálogo, a grande maioria dos fornecedores enviaram certificados de homologação de ensaios ou declarações de conformidade com as normas internacionais de compatibilidade eletromagnética.

## 9.0 - CONCLUSÃO

Ao nosso ver, o estabelecimento de critérios de compatibilidade eletromagnética deve se dar na fase inicial de projeto (projeto básico), juntamente com os demais critérios (como os critérios para o dimensionamento dos sistemas auxiliares em corrente contínua e corrente alternada, critérios de projeto quanto à filosofia do sistema de controle e de proteção, etc.).

Os critérios de compatibilidade eletromagnética devem estabelecer a quantidade mínima de exigências necessárias para garantir a compatibilidade eletromagnética entre equipamentos eletrônicos com o ambiente. É importante ter-se em mente o nível de suportabilidade intrínseca dos equipamentos às perturbações.

Não devem ser estabelecidas exigências somente para as instalações mas também para os equipamentos. Estes devem ser (ou ter sido) testados segundo os mais severos níveis de perturbações estabelecidos nas normas técnicas internacionais aplicáveis. Por outro lado, os mesmos equipamentos devem produzir os menores níveis de perturbações eletromagnéticas conforme também estabelecido em normas internacionais. Arquiteturas de sistemas digitais devem considerar tecnologias como I/O distribuídos, redes de campo, e quaisquer outros artifícios visando a transdução de sinais de baixo nível de energia para sinais menos susceptíveis a perturbações eletromagnéticas.

É importante que o documento relativo aos requisitos de compatibilidade eletromagnética seja apresentado em uma linguagem simples e que contenha um grande número de exemplos ilustrados por meio de figuras ou desenhos tão próximos do real quanto possível. As dificuldades encontradas, em Salto Caxias, se deveram principalmente à desinformação. O relatório técnico produzido para Salto Caxias foi muito extenso e muito teórico, desestimulando a leitura do mesmo. É importante também a criação de detalhes típicos de instalação e textos com instruções práticas acessíveis às pessoas que farão a montagem de equipamentos e das instalações elétricas.

Quanto ao número de níveis de segregação de sinais, este deve ser tão pequeno quanto possível. Deve ser bem avaliada a necessidade de usar-se paredes blindadas e piso elevado. Caso sejam adotados, deve-se prever os dispositivos fixados nas paredes e deve-se especificar pisos elevados reforçados. Quanto às malhas densas, deve-se verificar se podem ser utilizadas células de 10 x 10 cm. Deve-se avaliar

também o uso de supressores de surtos nas linhas de alimentação ou sinal.

Devem ser analisados não somente os critérios, mas seus impactos no projeto como um todo. Um exemplo é o uso de cabos em pares torcidos; esta providência aumenta custos, porém sua eficácia é bastante boa.

Devem ser levados em consideração no cronograma geral de projeto e execução os prazos exigidos pelos fabricantes para entrega de produtos especialmente encomendados.

Os critérios preferencialmente devem seguir as recomendações dos fabricantes dos equipamentos digitais de supervisão, controle e proteção. Para os demais fornecedores (como os fornecedores da turbina e do gerador) devem ser estabelecidos critérios uniformes e casados com os critérios do fornecedor do sistema de controle digital. Como, para muitos fornecedores, painéis elétricos e outros dispositivos são itens periféricos, não haverá, em geral, problemas no atendimento aos critérios de compatibilidade eletromagnética, desde que estabelecidos nos documentos de contrato de maneira clara e objetiva.

## 10.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) SOBRAL, S. T., OLIVEIRA, J. A., SÉRIO, A. J., TESSMER, O., CAMPANER, R. M. Controle de Interferências e Compatibilidade Eletromagnética na Usina e na SE de Salto Caxias da Copel. Belém do Pará, Brasil, XIV SNPTEE - GSU / 23 (1997).
- (2) GARCIA, C. M., PORTELLA, K. F., Determinação da Resistividade Elétrica de Concreto e Ensaio de Corrosão. LAC - Laboratório Central de Pesquisa e Desenvolvimento. Curitiba, Paraná, Brasil (1997).
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Eletrotécnica e Eletrônica Interferências Eletromagnéticas - Terminologia (1981) - NBR 5464. Brasil.

## 11.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

RONNI MARCIO CAMPANER - 19/fev./1970 - graduado em engenharia industrial elétrica com ênfase em eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR) em 1995 - Atualmente faz parte da equipe de projetos da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, atuando na área de controle digital.

## 12.0 - AGRADECIMENTO

O autor (R.M. Campaner) agradece ao Eng. Moacir de Oliveira pelas sugestões para a melhoria do entendimento do texto deste IT.