

PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE TRANSDUTOR PARA IDENTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO DESEMPENHO DE PARA-RAIOS APLICADO AO SISTEMA ENCAPSULADO DE MEDIÇÃO A TRANSFORMADOR A SECO

Marcello Barbosa Félix¹, Regis Pinheiro Landim²

¹ Ampla, Rio de Janeiro, Brasil, mbfelix@ampla.com

² Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, rplandim@inmetro.gov.br

Resumo: Atualmente, o estado da arte em medição de energia elétrica para clientes de porte industrial e comercial são os chamados Sistemas Encapsulados de Medição a Transformador a Seco (SEMTS). Este sistema de medição vem sendo utilizado por empresas concessionárias de energia elétrica de grande porte em todo país, para fins de faturamento e principalmente no combate ao furto de energia. Com o aumento escalar de instalação destes equipamentos na rede de distribuição das concessionárias, as avarias ganharam um capítulo a parte, quando se trata de custo de manutenção. Neste sentido, estudos preliminares da Ampla Energia e Serviços, apontam para as sobretensões, como sendo os maiores ofensores do SEMTS. Oportunamente, este artigo visa apresentar uma proposta de desenvolvimento de um transdutor que irá diagnosticar e monitorar, remotamente, os para-raios que compõem o SEMTS, como subsídio e controle da manutenção preditiva da empresa. Adicionalmente, foi identificada a viabilidade técnica de implantação da proposta, bem como definido o tipo de técnica para a medição da degradação dos para-raios.

Palavras-chave: SEMTS, medição de energia, para-raios, transdutor.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Encapsulado de Medição a Transformador a Seco (SEMTS) é um sistema de medição [3] utilizado por algumas empresas concessionárias de energia elétrica brasileiras para faturamento e principalmente no combate ao furto de energia. O objetivo do uso destes equipamentos é atender (medir e monitorar) unidades consumidoras de porte industrial e comercial. Tais consumidores são definidos pela Resolução Aneel N.º 414/10 como “unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição (...)” [8], ou simplesmente clientes do Grupo A.

Para atender estes clientes, a Ampla disponibiliza equipamentos projetados adequadamente, para serem instalados tanto em redes de distribuição de 11,4 kV quanto em 13,8 kV. Em termos construtivos, o SEMTS (figura 1) é composto basicamente por: três transformadores de corrente – TCs, para redução dos níveis de corrente elétrica e permitindo uma medição segura dos seus valores; três transformadores de potencial – TPs, para redução dos níveis

de tensão elétrica, permitindo uma medição segura dos seus valores; uma estrutura metálica para montagem e encapsulamento dos TCs e TPs; uma caixa para medição, que contempla um medidor eletrônico, um módulo de comunicação – telemetria – para o envio remoto dos dados da medição e uma chave de aferição, para conexão entre os equipamentos e auxílio na manutenção. O SEMTS [11] ainda possui três para-raios do tipo polimérico, que estão acoplados externamente a ele, para proteção do sistema com um todo.

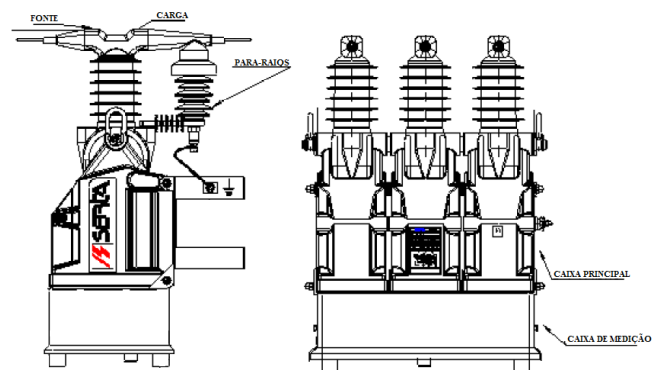


Fig. 1: SEMTS [11]

A utilização deste equipamento pelas distribuidoras de energia elétrica no Brasil ganhou proporções escalares, nos últimos anos. Porém, os problemas com avarias, que até então não eram expressivas, passaram a ser proporcionalmente relevantes devido ao custo de manutenção e/ou substituição. Com base em exames preliminares, as causas que mais têm contribuído para as avarias dos SEMTS foram as sobretensões. Neste sentido, os para-raios assumem papel indispensável como elemento de proteção de cada equipamento, das pessoas e do próprio sistema onde está inserido.

Inexoravelmente os SEMTS estão submetidos a estas condições em campo. Porém, até então, não há uma base de dados suficientemente robusta que indique estatisticamente o tipo preponderante de sobretensão, que atinge direta ou indiretamente, os para-raios do equipamento, provocando sua degradação ou mesmo defeitos irreparáveis. Tais condições, além de comprometer a estabilidade do SEMTS, dificultam o apontamento de esforços para mitigar o impacto sofrido com a queima do equipamento como um todo.

Por esse motivo, surge a necessidade de se desenvolver um dispositivo, cuja técnica promova o diagnóstico e monitoramento remoto dos para-raios do SEMTS, em detrimento, seja do nível de degradação ou de falhas irreversíveis desses elementos de proteção. A técnica proposta está baseada em ultrassom, ainda não explorada no meio científico para esta aplicação.

O monitoramento remoto a ser empregado nos para-raios será absorvido pela própria telemetria do SEMTS. Não sendo necessárias modificações de *software* ou *hardware*. O diagnóstico da degradação dos para-raios utilizará a técnica de emissão acústica (ultrassom). Uma vez que, no caso proposto, não deve haver contato elétrico entre o dispositivo (a ser desenvolvido) e cada elemento de proteção.

A partir da utilização desse dispositivo, a empresa passará a atuar de forma preditiva, otimizando os recursos alocados para manutenção e consequentemente diminuindo os custos de utilização do equipamento.

2. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sobretensões

Conceitualmente a sobretensão é uma tensão que varia com o tempo, cujo valor de crista extrapola o valor de pico da tensão máxima de operação do equipamento ou sistema elétrico ao qual está inserido.

Pode-se dizer que as sobretensões, incidentes nos para-raios, são originadas por fontes externas e internas. Predominantemente, as sobretensões externas são produzidas por descargas atmosféricas. As sobretensões de origem interna são causadas por perturbações do próprio sistema, como curtos-circuitos e chaveamentos em manobras.

De acordo com a norma NBR 6939/99 [2], as sobretensões são caracterizadas por classes, segundo sua forma, duração e tipo sobre o dispositivo de proteção. Usualmente, as sobretensões são classificadas como *Temporárias*, *de Manobra* e *Atmosféricas* [1]. Para fins desta pesquisa, todos estes tipos de sobretensão serão considerados.

2.2 Para-raios

Os para-raios são dispositivos de proteção massivamente utilizados pelas concessionárias do setor de distribuição de energia elétrica. Tais elementos, são responsáveis por escoar surtos de tensão, das mais diversas ordens, à terra. Protegendo, dessa forma, linhas de transmissão, subestações e redes de distribuição.

Atualmente, os para-raios constituídos de óxido de zinco (ZnO) são os mais frequentemente empregados pelas distribuidoras. Essa decisão se deve ao fato da não-linearidade do elemento resistivo de que é formado, denominados varistores.

Por sua vez, os varistores podem ser considerados como a “alma” dos para-raios. São constituídos, além do ZnO, pequenas parcelas de outros óxidos metálicos, tais como alumínio, bismuto, antimônio e manganês.

Os para-raios de ZnO são elementos de estrutura simples. Sua composição básica consta de uma coluna de

varistores, encapsulados em um tubo de fibra de vidro e este acondicionado em um invólucro isolante. Na extremidade inferior, há um “desligador automático” que atua desconectando-se do corpo do para-raios, quando da incidência de descargas atmosféricas, isolando-o do sistema ou do equipamento onde está acoplado.

Existem dois tipos de para-raios empregados em redes de distribuição, ambos constituídos de óxido de zinco (ZnO), são eles: Com invólucro de porcelana e aqueles com cobertura polimérica (figura 2).

Usualmente, os envoltos em porcelana são exclusivamente aplicados nas redes de distribuição, propriamente ditas.

Os para-raios do tipo polimérico, têm tensão nominal de 12 kV a 27 kV, corrente nominal de descarga de 5 kA, composto por blocos varistores de alta tensão de óxido de zinco (para a função de para-raios propriamente dita), com desligador automático (para proteção de sobre-correntes na redes de distribuição), e têm até 500 mm de altura [4].



Fig. 2: Para-raios Poliméricos [9].

Nos SEMTS são utilizados os para-raios poliméricos, por motivo de leveza e forma de fixação, além de outros aspectos.

Alguns estudos realizados e divulgados no meio acadêmico, apontaram uma série de falhas que podem ocorrer em para-raios poliméricos à ZnO. De certa forma, estes estudos contemplaram, suficientemente, ao que pode ser observado em campo.

A seguir, serão descritas os principais defeitos analisados.

- *Perda de estanqueidade*: caracterizada pela perda de isolamento físico entre o meio ambiente e o meio interno do para-raios, possibilitando a troca de gases entre eles.
- *Entrada de umidade*: podem originar de duas causas. A primeira por problemas de fabricação, ocorrendo durante o fechamento do mesmo. A outra seria a perda de estanqueidade ou falha na vedação do equipamento. O principal problema causado pela umidade é a ocorrência de descargas parciais.
- *Poluição superficial*: A poluição superficial é um problema observado, não somente nos para-raios, mas também em grande parte de equipamentos e estruturas, como é o caso de isoladores e buchas de equipamentos em geral. Esse tipo de falha pode provocar o surgimento de bandas secas na superfície de porcelana. Estas bandas secas, em resumo, provocam aquecimento excessivo em uma região

limitada do para-raios e a influência na distribuição de tensão ao longo da coluna de varistores.

- *Degradação de varistores*: Essa degradação pode ser provocada por seu envelhecimento precoce. Nestas condições os varistores podem contribuir para que um para-raios entre em processo de avalanche térmica, cuja condição é intrínseca aos elementos no fim da sua vida útil.
- *Desalinhamento da coluna ativa*: é resultado, geralmente, do transporte e armazenamento inadequado do equipamento, mas pode decorrer também de uma falha de montagem do mesmo.
- *Distribuição irregular de tensão*: Nos para-raios, ela se caracteriza pela ocorrência de níveis mais altos de tensão para varistores próximos ao terminal de alta tensão, enquanto que os varistores mais próximos do terminal aterrado são submetidos a níveis menores de tensão.

2.3 Técnicas de Diagnóstico e Monitoramento Preditivo Existentes

Por definição as técnicas de monitoramento preditivo, são aquelas que podem ser executadas com o para-raios em funcionamento.

As técnicas mais difundidas no meio acadêmico para monitoramento e diagnóstico da degradação de para-raios são: termografia e medição da corrente de fuga. Resumidamente, a seguir, estão descritas tais metodologias.

A termografia é uma técnica que basicamente utiliza-se de imagem do objeto de inspeção (para-raios) para monitorar e diagnosticar seu estado físico-térmico. Esta técnica visa identificar partes aquecidas do elemento. As informações obtidas devem ser analisadas por técnicos com certa experiência, a fim de hierarquizar serviços de manutenção. Tem sido frequentemente aplicada por empresas concessionárias e sua principal vantagem está na questão de ser uma técnica não-destrutiva e não-invasiva, pois são realizadas em distância segura.

Uma dificuldade de utilização do método se baseia na determinação, com exatidão, do valor de temperatura diante do qual um dado para-raios pode ser considerado defeituoso. Além disso, outras precauções devem ser tomadas, como, por exemplo, evitar medições durante períodos do dia de maior insolação, ajustar o fator de emissividade do aparelho sobre o objeto-alvo. É um método que pode ser utilizado em todos os tipos de para-raios

Outro método para monitoramento e diagnóstico da degradação de para-raios é a medição corrente de fuga.

Em regime permanente, circula internamente ao bloco de varistores uma corrente de fuga, de valor desprezível, sob tensão normal de operação do sistema [6]. Observa-se que esta corrente é decomposta em uma parcela resistiva e outra capacitiva. A componente resistiva, de característica não-linear, trás informações sobre o estado físico do bloco de varistores dos para-raios [1].

Quando os valores da componente resistiva da corrente de fuga extrapolam os limites máximos pré-estabelecidos pelos fabricantes, indica o final da vida útil do para-raios. A técnica pode ser exemplificada em duas modelagens. Uma apresentada por [6] e outra por [1].

A proposta de [6] usa uma rede de sensores sem fio (padrão ZigBee), baseados na indução eletromagnética de uma tensão que é diretamente proporcional à intensidade de corrente que se deseja medir. Para efetuar a medição, capta-se a intensidade do campo magnético gerado pela corrente de fuga em torno do fio que o conecta à terra e sequencialmente, faz-se o condicionamento e processamento do sinal e extrai-se a informação desejada.

O modelo utilizado por [1] foi concebida segundo a evolução natural de métodos anteriores, que tratavam da medição de correntes de primeira e terceira ordem. Segundo [1], a técnica de compensação tem sido considerado o mais eficaz e exato existente. De acordo com a técnica, correntes harmônicas de terceira ordem geradas pelos harmônicos na tensão do sistema são eliminados, restando a componente de terceira ordem gerada pelo próprio para-raios. O método está segue a determinação d corrente resistiva de terceiro harmônico, obtida a partir da diferença entre a corrente total do terceiro harmônico e a corrente capacitiva de terceiro harmônico. A corrente total de terceiro harmônico é obtida diretamente, a partir da transformada de Fourier da corrente total medida. A corrente capacitiva de terceiro harmônico é determinada indiretamente por medição de campo elétrico.

Não obstante, o emprego da técnica proposta neste trabalho pretende superar as dificuldades encontradas no monitoramento e diagnóstico da degradação de para-raios tanto pelo método de termovisão, quanto a complexidade da medição da componente resistiva da corrente de fuga.

Atualmente a Ampla utiliza a termografia como meio de detecção diagnóstico de partes aquecidas (pontos quentes), utilizando-se das imagens aliada a experiência de técnicos em suas análises.

3. JUSTIFICATIVA

A Ampla, como toda empresa privada, precisa garantir sua saúde financeira para poder continuar prestando serviços com qualidade aos seus clientes. Para a empresa, as avarias nos SEMTS têm sido uma preocupação a mais quando o assunto é custeio de manutenção. Com a utilização deste sistema de medição em larga escala, os problemas com avarias passaram a ter peso expressivo; os gastos contabilizados com a manutenção corretiva e de emergência nestes sistemas de medição têm chegado a cifras na ordem de milhares de reais. Além disso, as avarias nestes equipamentos trazem grandes transtornos a clientes de porte industrial e comercial, quando isto leva à interrupção (mesmo que temporária) no fornecimento de energia.

Neste contexto, foram realizados estudos preliminares, que apontaram os surtos de tensão advindos do próprio sistema e as descargas atmosféricas como sendo os maiores ofensores dos SEMTS. Somado a esses fenômenos, foram feitas algumas medições da resistência de aterramento nos equipamentos instalados em campo, constatando-se alta impedância. Fato que pode ter contribuído para as avarias. Sobre este último ponto, a empresa vem adotando medidas corretivas e preventivas através de programas específicos, a fim de eliminar tais condições.

A motivação para este trabalho está baseada na observação do aumento de queimas principalmente no período do verão.

Informações sobre o índice isocerâmico extraídas do Portal do ELAT [10] viram confirmar a elevada incidência de descargas atmosféricas em toda área de abrangência da Ampla.

Neste contexto, foram observadas três situações em campo, descritas a seguir, que justificam um estudo mais acurado sobre as condições de operação e disponibilidade dos para-raios dos SEMTS.

A proposta ora apresentada está sendo desenvolvida dentro do Programa de Mestrado Profissional em Metrologia e Qualidade do Inmetro, para atender a uma demanda da Ampla Energia e Serviços S.A., tendo como foco o diagnóstico e monitoramento remoto dos para-raios, cuja expectativa é a diminuição de queima dos SEMTS provocadas por surto de tensão e descargas atmosféricas. Para isso, serão adotados procedimentos metroológicos sobre os quais a participação do Inmetro terá grande valia na execução de ensaios e validação do método.

3.1. Estudo de casos

Os três casos, a seguir, irão caracterizar a situação-problema, considerando que as causas das avarias demonstradas nas imagens, tenham sido por surto de tensão, originadas do próprio sistema ou descargas atmosféricas.

No primeiro caso (figura 3), o SEMTS explode. Nessa condição a telemetria para de enviar os dados e surge necessidade da visita *in loco*, para substituição do equipamento, pois geralmente houve perda total.

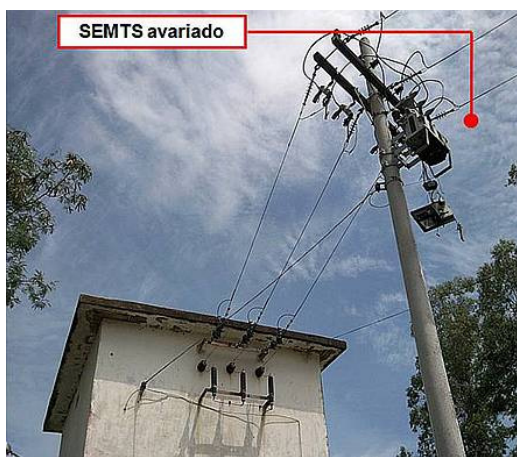


Fig. 3: Caracterização da explosão do SEMTS.

No segundo caso, constatou-se que somente o para-raios (fase C) está danificado.

Nestas condições o sistema de monitoramento do SEMTS permanece funcionando normalmente, mas é percebido pelo operador que o para-raios daquela unidade está fora de operação. Dessa forma, aquele equipamento passa a ficar vulnerável. Mais uma vez, somente uma verificação local seria capaz de identificar o problema.



Fig. 4: Caracterização de um para-raio avariado (fora de operação).

O terceiro caso é o mais crítico. Pois, mesmo indo a campo não é possível identificar visualmente se algum para-raios está danificado, após uma descarga. Além disso, assim como no caso anterior, o sistema de monitoramento não detecta essa situação.



Fig. 3: Caracterização da explosão do SEMTS.

Como pode ser visto, nos três casos houve deslocamento a campo. Porém, fica evidenciada, nos dois últimos casos, a necessidade de se desenvolver uma forma preditiva para monitoramento e diagnóstico da degradação dos para-raios aplicados ao SEMTS.

4. PROPOSTA DO PROJETO

A proposta aqui apresentada visa integrar o conjunto de para-raios ao sistema de monitoramento remoto já existente no SEMTS. Para isso, será necessário desenvolver um dispositivo que faça o papel de diagnosticar o estado físico dos para-raios enviando os dados obtidos através de transdutores à telemetria. Denominamos esse dispositivo de **Transdutor de Identificação da Degradação de Para-raios (TIDP)**.

Basicamente, este TIDP irá sensoriar, medir e registrar o físico-estrutural do para-raios e enviar um dado sinal ao módulo de comunicação (telemetria). Dessa forma, as degradações do bloco de varistores bem como aspectos externos estariam contemplados no monitoramento remoto para tomada de decisão em tempo real.

Ao final do processo, este controle gera uma ordem de serviço para equipe de manutenção, que poderá acompanhar a sua execução através de um coletor móvel. O diagrama de bloco a seguir representa, na seguinte ordem cronológica, o funcionamento do sistema de monitoramento remoto do para-raios proposto:

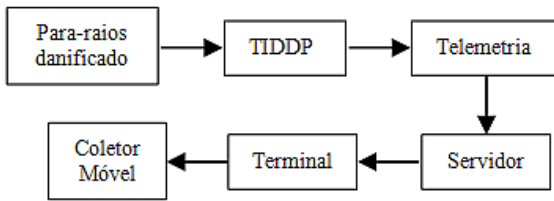


Fig. 3: Diagrama de bloco do monitoramento remoto do para-raios.

5. METODOLOGIA

Inicialmente foi feita uma análise do módulo de telemetria para identificar as possibilidades de envio de informação. Com isto, verificou-se a viabilidade técnica de utilização do sistema de telemetria existente, sem a necessidade de nenhuma alteração no seu projeto.

Em seguida, foram analisados alguns tipos de técnicas para a medição da degradação de um material. Devido ao alto risco de queima do TIDP (devido ao nível de tensões e correntes envolvidas), o pré-requisito principal para a escolha da técnica foi a necessidade de isolamento elétrico. Por este motivo, decidiu-se pela utilização de técnicas de ultrassom.

Foram realizadas avaliações de algumas técnicas de ultrassom tais como ToFD, Phased Array e Ondas guiadas. Porém, a técnica mais adequada a proposta do projeto é a de emissão acústica. Tal método foi escolhido, entre outras vantagens, pela facilidade na determinação de características físicas de materiais e possuir alta capacidade de penetração, permitindo localizar descontinuidade profundas no material.

Será feita, nas etapas subsequentes, a modelagem do para-raios e um programa de simulação, a fim de avaliar e validar a proposta. O programa desenvolvido será utilizado, também, na parte experimental da proposta.

Algumas amostras de para-raios com diferentes e conhecidos graus de degradação serão utilizados no desenvolvimento e calibração do TIDP. Também serão necessários ensaios em algumas amostras (para-raios), para aquisição dos dados gerados pelo ultrassom.

Para validação do método, será construído um protótipo do transdutor, que será submetido a ensaios em laboratório. Tal teste contemplará a integração entre os componentes; para-raios, transdutor e telemetria. Ao final, será proposta a miniaturização do transdutor.

Após as medições, será definido um ponto crítico (valor medido) de degradação do para-raios. Este ponto indicará que aquele elemento deverá ser substituído preditivamente. Essa informação será veiculada por radiofrequência via telemetria, para a equipe de manutenção.

6. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma proposta para solucionar os problemas devido a surtos de tensão e descargas atmosféricas que provocam avarias nos SEMTS, cujos gastos contabilizados com a manutenção corretiva e de emergência têm chegado a cifras na ordem de milhares de reais, e que trazem grandes transtornos a clientes de porte industrial e comercial, quando isto leva à interrupção (mesmo que temporária) no fornecimento de energia.

Foi identificada a viabilidade técnica de implementação da proposta, bem como definido o tipo de técnica para a medição da degradação de um para-raios.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos senhores Cláudio Rivera Moya, Angelo Salvatore Pirrone, Luiz Gustavo Braga Taboada, Ricardo Correa Lima e toda equipe do Processo Grandes Clientes da Ampla, e aos Sr. Ademir Martins de França e Samuel C. Valle (Inmetro), que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAUJO, C. P. Daniel; MARTINS, J. A. L. Alvaro; SILVA, Nilton S. **A Experiência da CEMIG em Monitoramento e Diagnóstico de Pára-Raios**. Santa Catarina, 2010. Simpósio.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6939: **Coordenação do Isolamento – Procedimento 10** – Projeto de Revisão da NBR 6339/87. Rio de Janeiro, 1980.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2009)**. 1ª Edição Brasileira. Rio de Janeiro, 2009.
- [4] _____. **Regulamento Técnico Metrológico: referente à Portaria Inmetro N° 159**. Rio de Janeiro, 2007.
- [5] LIRA, G. R. S., et al. **Técnica de Monitoramento e Diagnóstico de Pára-Raios a ZnO utilizando Mapas Auto-Organizáveis**. Santa Catarina, 2010. Simpósio.
- [6] MACEDO, E. C. T., et al. **Rede de Sensores Sem Fio Aplicada ao Diagnóstico de Para-Raios de ZnO**. Santa Catarina, 2010. Simpósio.
- [7] MEDEIROS, A. C. Rex, et al. **Monitoramento e diagnóstico de para-raios a ZnO usando redes neurais artificiais**. Paraíba, 2009. Congresso.
- [8] BRASIL. Resolução Normativa Aneel N.º 414. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada..** Disponível em: www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf. Acesso em: 01 de julho de 2011.
- [9] www.delmar.com.br. Acesso em: 4 de abril de 2011.
- [10] www.inpe.br/webelat/homepage. Acesso em: 01 de julho de 2011.
- [11] www.sertatransformadores.com.br. Acesso em: 4 de abril de 2011.