

Grupo de Estudo de Desempenho de Sistemas Elétricos (GDS)

#### RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Dalton De Oliveira C. Do Brasil - ONS  
Ricardo Penido D. Ross - CEPEL  
Roberto Vaisman - CEPEL

#### 1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base nos 32 informes técnicos apresentados no Grupo GDS observa-se que há temas de diversas áreas que estão despertando interesse e discussão no âmbito de desempenho de sistemas elétricos de potência, dentre eles pode-se citar:

- ü Modelos, ferramentas e análise do desempenho de sistemas de potência: Dos 32 informe recebidos, 11 abordam este tema, demonstrando o aumento do interesse por parte dos participantes. Vários destes informes abordam modelos dinâmicos e transitórios associados a geração renovável: eólicas e fotos voltaicas. Outros apresentam sistema para análise de perturbações no sistema e para avaliação da qualidade de energia;
- ü Qualidade de Energia: Notadamente o tema de qualidade de energia no âmbito da conexão de geração renovável - eólica ou foto voltaica no sistema nacional foi um dos temas que despertou maior interesse, sendo objeto de quase a totalidade dos 9 informes classificados neste grupo;
- ü Descargas atmosféricas: dos 6 informes relativo a este tema, destaca-se aqueles enfocando aprimoramento dos métodos e modelagem para avaliação do desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, a busca por obtenção mais precisa dos parâmetros influentes neste fenômeno e o registro de experiência operativa de linhas de transmissão existentes;
- ü Transitórios eletromagnéticos, sobretensões de manobra e coordenação de isolamento: neste tema os 5 informes versaram sobre estudos de transitórios no sistema interligado nacional associados a a inserção de uma linha de 1000 kV, análise de ressonância envolvendo linhas paralelas, coordenação de isolamento em subestação compacta e análise de transitórios de frente muito rápida. Também a modelagem de cabos subterrâneos foi objeto de um informe;
- ü Campos Elétrico e Magnético e Compatibilidade Eletromagnética: neste tema foram enquadrados 2 artigos sobre campos elétrico e magnético, sendo um sobre técnicas de blindagem do campo magnético de linhas subterrâneas e outro sobre discussão sobre a regulamentação da ANEEL sobre campos elétrico e magnético.

#### 2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os 32 informes técnicos do Grupo GDS foram classificados em 5 categorias, em função do conteúdo técnico dos mesmos, conforme relacionado a seguir

- ü Modelos, ferramentas e análise do desempenho de sistemas de potência: 10 informes;
- ü Qualidade de Energia: 9 informes;
- ü Descargas Atmosféricas: 6 informes;
- ü Transitórios eletromagnéticos, sobretensões de manobra e coordenação de isolamento: 5 informes;
- ü Campos Elétrico e Magnético e Compatibilidade Eletromagnética: 2 informes.

#### 2.1 232 Qualidade da Energia Elétrica

- 89 - ANÁLISE DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA REDE DE OPERAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
- 121 - O MONITORAMENTO DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO POR MEIO DE UMA ALOCAÇÃO PRÁTICA E DIRETA DE MONITORES DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA
- 173 - SISTEMA DE SINCRONIZAÇÃO TRIFÁSICO COM ALTA REJEIÇÃO A SUB E INTER-HARMÔNICOS
- 190 - MODELO DINÂMICO DE FILTRO ATIVO PARA A COMPROVAÇÃO DE SUA EFICÁCIA NA MÉDIA TENSÃO PARA A REDUÇÃO DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS
- 291 - DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA GRÁFICA DESTINADA À VISUALIZAÇÃO DE ÁREAS DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM DETERMINADAS PELOS LIMITES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS DO PONTO DE CONEXÃO DE FONTES RENOVÁVEIS
- 338 - AS DIFICULDADES ENFRENTADAS NO PROJETO DE FILTROS FRENTE ÀS BAIXAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS PROVOCADAS PELOS PARQUES

## EÓLICOS

- 339 - DEFINIÇÃO DAS CAPACIDADES NOMINAIS DE BANCOS DE CAPACITORES CONSIDERANDO DISTORÇÕES DE TENSÃO ELEVADAS NA REDE BÁSICA
- 379 - METODOLOGIA BASEADA EM MEDIÇÕES E NO USO DE FILTROS ATIVOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS RESPONSABILIDADES SOBRE AS DISTORÇÕES HARMÔNICAS RELATIVAS À CONEXÃO DE NOVAS INSTALAÇÕES AO SIN
- 446 - COMPARATIVO ENTRE TÉCNICAS DE BLINDAGEM DE CAMPO MAGNÉTICO DE LINHAS SUBTERRÂNEAS QUANTO AO FATOR DE REDUÇÃO DESTES CAMPOS, A AMPACIDADE DA LINHA E OS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO
- 477 - DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

**2.2 233 Modelos e ferramentas para análise de desempenho de sistemas de potência**

- 16 - DIFASE - SISTEMA COMPUTACIONAL DE APOIO AO OPERADOR NO DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO
- 60 - MODELO DE UM SISTEMA PREDITIVO DE OCORRÊNCIA DE FALTA
- 68 - RESULTADOS DE ESTUDOS TÉCNICOS PARA A INSERÇÃO DE UMA LINHA DE 1.000 KV NA REDE TRONCO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO
- 136 - DESEMPENHO DE LINHA DE ALTA TENSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: ESTUDO DE CASO DE UMA LINHA DE 69 KV DA ENERGISA MINAS GERAIS
- 161 - REPRESENTAÇÃO DE MODELOS RACIONAIS NO PROGRAMA ATP
- 257 - DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA COM A PRESENÇA DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA
- 271 - REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE PARQUES EÓLICOS PARA ESTUDOS DINÂMICOS: COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO
- 331 - MODELAGEM DA LT SUBTERRÂNEA 230 KV BRASÍLIA SUL - BRASÍLIA GERAL PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS COM O ATP
- 357 - ESTRATÉGIA PARA O USO EFICIENTE DO MÉTODO DE AJUSTE VETORIAL PARA A OBTENÇÃO DE MODELOS REDUZIDOS DE REDES ELÉTRICAS
- 409 - AVALIAÇÃO DO USO DA INERCIÁ SINTÉTICA DE PARQUES EÓLICOS PARA MITIGAR EVENTOS DE GRANDES VARIAÇÕES DE FREQUÊNCIA NO SISTEMA
- 412 - AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO HÍBRIDA EM MÚLTIPLAS ESCALAS DE TEMPO
- 449 - ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS USANDO SINCRÓFASORES
- 485 - ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE PLANTAS PV-EÓLICAS ATRAVÉS DE MODELOS DINÂMICOS
- 505 - FERRAMENTA COMPUTACIONAL EM FDTD PARA CÁLCULO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS FRENTE ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

**2.3 234 Descargas atmosféricas, sobretensões transitórias e coordenação de isolamento**

- 5 - ESTIMATIVA DO BUFFER EM LINHAS DE TRANSMISSÃO A PARTIR DE UM MODELO DE ALTURA DO CENTRO DE CARGA NEGATIVA EM TEMPESTADES
- 14 - ANÁLISE DE RESSONÂNCIA ENVOLVENDO LINHAS PARALELAS E REATORES - CASO DO TRONCO 500 KV ADRIANÓPOLIS - CACHOEIRA PAULISTA
- 255 - REDUÇÃO DA TENSÃO INDUZIDA POR DESCARGA ATMOSFÉRICA NA CADEIA DE ISOLADORES DE TORRE DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA MELHORIA DO ATERRAMENTO.
- 278 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LPM (LEADER PROGRESSION MODEL)
- 333 - SOLUÇÕES DE COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO EM SUBESTAÇÕES COMPACTAS INTEGRADAS - SECI.
- 364 - DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: CONTRIBUIÇÕES DO GRUPO BRASILEIRO DO CIGRE GT4-BR01
- 384 - COMPARAÇÃO DE TRANSIENTES DE MANOBRA VFT'S OBTIDOS ATRAVÉS DE MODELAGEM COM MEDIÇÕES EM CAMPO EM SIG'S

**2.4 235 Compatibilidade eletromagnética**

- 461 - RECOMENDAÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL REFERENTE À EXPOSIÇÃO HUMANA AOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA

**3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS****3.1 - ANÁLISE DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA REDE DE OPERAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

COSTA, T.R.V.D.(1); SOUSA, F.G.G.D.(1); JUNIOR, P.G.(1); CASTRO, A.D.A.(1); CUSTODIO, S.R.D.M.(1); BARBOSA, R.P.(1); SILVA, J.M.M.D.(1); NASCIMENTO, C.J.F.D.(1); - ANEEL(1);

Desde o início de 2016, a Aneel vem adotando a abordagem de regulação responsiva nas atividades de fiscalização dos serviços públicos de transmissão e distribuição de energia elétrica. Desde então, observou-se uma drástica redução no número de notificações aos agentes regulados, contudo, acompanhada de um aumento expressivo de atividades de monitoramento, análise e acompanhamento de problemas setoriais. No caso dos desligamentos forçados ocorridos na Rede Básica, adotou-se uma estratégia de análise das causas dos desligamentos das instalações com maiores números de defeitos recorrentes. A partir dessa análise, é possível estabelecer os defeitos recorrentes, o que permite estruturar planos de melhorias específicos para cada padrão de defeito e instalação. O trabalho tem potencial de reverter a tendência atual de aumento de desligamentos forçados no SIN.

Perguntas e respostas:

A) 1) Por favor, detalhem melhor as diversas categorias apresentadas na figura 4.

A base de dados utilizada para análise de desligamentos forçados é oriunda do sistema SIPER, operado e mantido pelo ONS. Dessa forma, buscou-se categorizar os Planos de Melhorias solicitados de acordo com a classificação contida no SIPER. Essa classificação passa por um processo de consistência que pode durar até 90 dias, sendo considerada a melhor informação disponível acerca dos desligamentos forçados.

B) 2) É possível relatar porque foram priorizados estes 62 casos de um universo com uma média móvel de cerca de 250 desligamentos forçados em um período de 12 meses?

Em verdade, conforme ilustra a Figura 3, a análise contemplou 1.142 desligamentos forçados em um período de 12 meses e não 250 desligamentos. Os desligamentos analisados ocorreram em 78 diferentes instalações (LTs ou Subestações). Após minuciosa análise\* concluiu-se pela solicitação de planos de melhorias para 39 instalações, que acrescidos dos planos associados a campanhas de fiscalização, totalizaram 62 planos. Importante destacar o alinhamento da metodologia a pirâmide de compliance (ver Fig. 1) já que se partiu de um universo de cerca de 1500 instalações da Rede Básica monitoradas, sendo selecionadas 78 (apenas ~5%) instalações para análise e consideradas para planos de melhorias apenas 39 instalações, demonstrando a seletividade do processo. \*Relatório disponível em: [http://www.aneel.gov.br/avisos-e-comunicados/-/asset\\_publisher/xVhS2p1F8dhn/content/analise-do-desempenho-de-instalacoes-de-transmissao/656808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Favisos-e-comunicados%3Fp\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_xVhS2p1F8dhn%26p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-3%26p\\_p\\_col\\_count%3D1](http://www.aneel.gov.br/avisos-e-comunicados/-/asset_publisher/xVhS2p1F8dhn/content/analise-do-desempenho-de-instalacoes-de-transmissao/656808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Favisos-e-comunicados%3Fp_id%3D101_INSTANCE_xVhS2p1F8dhn%26p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-3%26p_p_col_count%3D1)

C) 3) Os autores citam os desligamentos com causas indeterminadas. É mencionado que alguns agentes não estão enviando para o ONS informações. A ANEEL permitirá o repasse à tarifa relativa a investimentos em sistemas de monitoração, oscilógrafos e registradores de perturbação de maneira a melhorar as informações destes agentes? Por que acreditam que haverá 70% de redução destas causas?

A ANEEL entende que a correta identificação das causas de desligamentos fazem parte da prestação do serviço adequado e, portanto, uma obrigação prevista em

contrato. Não há qualquer previsão de receita adicional associada a quaisquer das ações previstas nos planos de melhorias, salvo nos casos em que se identificou a necessidade de obras de ampliações e reforços, situação em que a concessionária deve seguir os ritos ordinários do planejamento setorial. Com relação a redução de 70% nos desligamentos sem causa determinada, a fiscalização mantém a convicção de que a meta será atingida e até superada. A constatação se baseia no diagnóstico da análise que identificou as falhas de procedimento como principal fator para classificação indeterminada de desligamentos. Conforme será visto na apresentação, a redução real de desligamentos sem causa determinada segue trajetória de queda acentuada.

### 3.2 - O MONITORAMENTO DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO POR MEIO DE UMA ALOCAÇÃO PRÁTICA E DIRETA DE MONITORES DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

OLESKOVICZ, M.(1);GOMES, D.P.S.(1);JR, J.C.M.V.(1);BOTTURA, F.B.(1);LIMA, J.R.(2); - USP(1);CEPISA(2);

Este trabalho apresenta uma metodologia de alocação estratégica e eficiente de monitores de qualidade da energia elétrica para viabilizar um adequado monitoramento dos Afundamentos de Tensão (ATs) em Sistemas de Distribuição (SDs). A metodologia propõe uma solução de alocação prática e direta, transpondo-se a necessidade de um processo de otimização específico. Um SD brasileiro de 89 nós, pertencente a uma concessionária de energia regional, foi modelado e utilizado para testes. Os resultados foram validados através do Método de Monte Carlo, revelando que de 93% a 100% dos ATs originários dos curtos-circuitos considerados foram adequadamente monitorados.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os sistemas de distribuição de MT costumam ser radiais. Um curto-circuito que leve a um afundamento expressivo da tensão ocasionará a abertura de todo alimentador ou de algum religador. Neste contexto o que se pretende com a verificação dos afundamentos de tensão dentro do próprio tronco?

Como bem colocado, a depender da severidade do curto-circuito manifestado, e também da sua proximidade à Subestação de Média Tensão (SMT), o Afundamento de Tensão (AT) poderá ser expressivo, e, dependendo da duração da ocorrência, levar à abertura de todo o alimentador, ou mesmo a atuação do religador instalado no sistema. Observa-se, contudo, que esta severidade estará muito atrelada à origem (local) do defeito, e da sua iteração com todo o Sistema de Distribuição (SD) até o ponto de medição. Em outras palavras, quanto mais próximo à origem do defeito, mais o AT, objetivo desta pesquisa, será pronunciado. Também é importante comentar que um grande número de possíveis falhas não resultará em uma corrente de falta de maneira a sensibilizar os dispositivos de proteção do alimentador, ficando assim, sustentadas por longo tempo ou até atingirem os valores nominais de atuação. No mesmo sentido, relembra-se que a grande maioria das situações de curtos-circuitos manifestados nos sistemas elétricos de potência é de natureza aleatória, monofásica e transitória. E que a localização da ocorrência do curto-circuito, bem como as demais características do SD, irá influenciar e muito na propagação e na caracterização dos ATs sobre o sistema. É importante notar que todo o monitoramento proposto nesta pesquisa é voltado para garantir a observação dos ATs, e estes podem ser caracterizados por uma tensão remanescente variando de 0,1 p.u. a 0,9 p.u., com durações que, conceitualmente, permitem classificá-los como instantâneos (0,5 ciclo à 30 ciclos), momentâneos (30 ciclos à 3 s), e temporários (3 s à 1 min), definidos com base na frequência fundamental do sistema (60 Hz). Ou seja, mesmo quando da atuação de um religador sobre o sistema, a sequência de religamentos poderá extinguir a situação de falta transitória manifestada, mas caracterizará uma sequência de ATs que poderão ser adequadamente registrados pelos medidores alocados de forma otimizada, e que não necessariamente serão monitorados por um único medidor alocado na SMT. Ainda mais, espera-se que os medidores alocados pelo método apresentado sejam sensibilizados de forma distinta à origem do defeito. Sendo assim, um dos principais produtos do esquema de monitoramento proposto é o histórico resultante dos ATs registrados sobre o SD monitorado. Situações essas que poderão resultar em relevantes indicativos sobre pontos fracos e/ou que mereçam atenção sobre o sistema.

B) 2) Em alguns casos são percebidos afundamentos de tensão no sistema de distribuição devido a processos e manobras ocorridas dentro de consumidores de maior porte, ou ainda em alimentadores em paralelo. Como estes tipos de afundamentos serão percebidos caso se instale o sistema de medição da QEE cujo método foi abordado neste IT?

Recorrendo à resposta anterior, os autores acreditam que quanto mais próximo um medidor instalado sobre o SD estiver da origem do problema (curtos-circuitos, chaveamento de grandes blocos de cargas, etc.), mais sensível estará o medidor idealmente alocado para registrar o evento. Bem como apresentado no artigo, o método é direcionado a sistemas radiais, sendo a área de observação de cada medidor definida pelos nós a jusante da sua instalação. Ou seja, se o AT for causado por uma carga num ponto terminal, o monitor mais próximo da falta terá a maior precisão na medição do mesmo. Contudo, no tocante a resposta do sistema de monitoramento proposto, é importante lembrar que os pontos terminais também são considerados como nós na análise da alocação otimizada e qualquer AT criado em suas localizações terá observação garantida, caso nenhum dos artifícios para a redução dos investimentos citados no trabalho seja utilizado. Já em relação a alimentadores em paralelo, esta análise foge do escopo do trabalho. O objetivo da pesquisa desenvolvida até o momento pressupõe que a mesma metodologia, para a alocação dos medidores em um alimentador principal, poderá ser aplicada de forma independente a outros alimentadores partindo da mesma SMT. Finalmente, vale ressaltar que tal consideração é de extrema importância e será observada na continuidade da pesquisa.

C) 3) Por favor, comentem a respeito da resistência de falta e sua influência nos algoritmos considerados tanto no sistema de 34 nós como no sistema 86 nós.

A metodologia aplicada aos sistemas testes (34 e 89 nós) adotou os tipos de falta de menor severidade possível que causassem ATs, ou seja, os curtos-circuitos que resultassem nas menores quedas de tensão ao longo do alimentador. A principal justificativa para a consideração de tais distúrbios na construção da matriz de tensão durante a falta está relacionado ao fato de que estes causam os ATs mais difíceis de serem observados pelo sistema de monitoramento, uma vez que as quedas de tensão ao longo do alimentador são proporcionais a corrente de falta manifestada. Neste sentido, o tipo de falta que gerou os menores ATs registrados foram as faltas monofásicas (fase-terra). Em relação à escolha da resistência de falta utilizada nos curtos-circuitos, um critério análogo à escolha do tipo de curto-circuito foi adotado. Para tanto, o maior valor possível de resistência de falta capaz de provocar ATs nos nós dos circuitos testes foi considerado. Sendo assim, uma vez garantido o monitoramento para altas resistências de falta, espera-se conservar o monitoramento quando resistências de falta menores forem evidenciadas na prática. Não obstante, vale ressaltar que a maior resistência de falta considerada na metodologia proposta foi limitada a 50  $\Omega$  por ser o valor usualmente utilizado para caracterizar faltas de baixa impedância. É importante ressaltar que os critérios anteriormente adotados visam garantir primariamente a observabilidade para os ATs com maior tensão remanescente, e, por consequência, espera-se que a observabilidade para os ATs com menor tensão residual também será garantida. Para o sistema teste de 34 nós o tipo de falta escolhido para a execução do método de alocação foi o monofásico (fase B ? terra), com a máxima resistência de falta de 50  $\Omega$  para a maioria dos nós, exceto para os dois nós mais próximos da subestação, nos quais o valor estipulado foi de 40  $\Omega$ . Em função da tensão nominal do sistema de distribuição, um alto valor de resistência de falta pode ser utilizado e seu monitoramento frente aos ATs foi facilmente garantido. Já para o sistema real simulado (89 nós), o tipo de falta escolhido para a execução do método também foi o monofásico, só que envolvendo a fase A com conexão a terra, com máximo valor de resistência de falta. Sendo assim, valores entre 0 (zero) e 50  $\Omega$  foram determinados para cada nó. Por contemplar uma tensão nominal de 13,8 kV, altos valores de resistência de falta em alguns nós não apresentaram situações de ATs. Os dois primeiros nós a partir da subestação de energia, por exemplo, tiveram que ser simulados considerando faltas monofásicas francas, com os nós adjacentes assumindo valores crescentes de resistência de falta. Para os nós #3 e #4, o valor da resistência de falta monofásica considerada foi de 5  $\Omega$ . Já para os nós #6 e #7, este valor passou para 35  $\Omega$ . Para os nós #17 e #18 o valor chegou a 45  $\Omega$ . Para os nós terminais e/ou distantes da subestação, no entanto, o valor máximo de 50  $\Omega$  foi considerado. Pelo que foi apresentado, vale comentar que o questionamento levantado é de extrema relevância, uma vez que o método apresentado é demasiadamente sensível à escolha do tipo e da resistência da falta. Caso somente os máximos valores de resistência de falta sejam considerados, o resultado pode estar associado a um elevado número de monitores em relação à intenção de investimento inicial da concessionária. Sabendo disso, os autores se utilizaram de tal característica para criar um compromisso entre custo e a eficiência do monitoramento. Este é caracterizado por uma sucinta diminuição da resistência de falta, seja por 5 ou 10  $\Omega$ , que resultará em uma menor e mais acessível quantidade de monitores. No tocante ao custo sofrido pela eficiência do sistema de monitoramento, a aferição foi dada pela simulação de faltas pelo Método de Monte Carlo (MMC). Uma vez apresentado tais resultados, é possível perceber que há uma pequena diminuição da eficiência para uma inicial e relevante diminuição do número de monitores necessário, o que leva a conclusão de que esta possa ser uma abordagem eficiente que deva ser cuidadosamente considerada.

### 3.3 - SISTEMA DE SINCRONIZAÇÃO TRIFÁSICO COM ALTA REJEIÇÃO A SUB E INTER-HARMÔNICOS

LIMA, F.K.A.(1);ARAUJO, R.G.(1);BRANCO, C.G.C.(1); - UFC(1);

Este artigo apresenta um novo algoritmo de sincronização PLL (Phase-Locked Loop) para aplicações em sistemas de controle de conversores de potência pertencentes a redes trifásicas. A estrutura apresentada tem como base a correlação do sinal de entrada com um sinal complexo gerado a partir de um filtro adaptativo, aumentando o nível de rejeição a inter-harmônicos e sub-harmônicos. O sistema de sincronização proposto é avaliado neste trabalho por meio de análises matemáticas e simulações computacionais realizadas através do software PSCAD/EMTDC, além disso, resultados experimentais foram obtidos através de um protótipo experimental montado em bancada. Uma validação comparativa entre o PLL proposto neste trabalho, e o sistema de sincronização DSOG-FLL foi realizada tanto em regime permanente quanto em regime transitório.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam enumerar e comentar em que dispositivos ou medidores utilizados no sistema elétrico este tipo de algoritmo poderá ser representado com êxito?

O Algoritmo apresentado pode ser inserido em quaisquer sistemas de cogeração distribuída, seja ele baseado em aerogeradores ou painéis solares fotovoltaicos. Uma vez que este tipo de algoritmo constitui um sistema de sincronização, necessário para qualquer sistema de cogeração se conectar à rede elétrica. Além disso, utilizado nos sistemas de controles modernos, geralmente baseados em controle vetorial. Contudo, nada impediria que um sistema de medição pudesse implementar e utilizar este algoritmo para a realização dos cálculos para a medição, baseados na leitura de seus TCs e TPs.

B) 2) Exemplificar aplicações específicas onde o algoritmo sugerido traga ganhos comparativamente aos PLL que não rejeitam sub e inter-harmônicos.

Como foi mencionado anteriormente, os sistemas de cogeração provavelmente seriam os mais beneficiados pelo uso do sistema de sincronização proposto. Especificamente, mais do que a sincronização com a rede elétrica, este sistema pode conferir melhor qualidade para o sistema de controle em relação aos demais sistemas de sincronização, para aerogeradores, por exemplo. Uma vez que o controle vetorial, por exemplo, utiliza dados do sistema de sincronização nas Transformadas de Park, e, estando o ângulo de fase gerado no PLL com oscilações proveniente da presença de sub e/ou inter-harmônicas, por exemplo, toda esta oscilação será proliferada em todo o sistema de controle. Inclusive essas oscilações estarão presentes nos cálculos das potências ativa e reativa, a serem controladas. Assim, para um sistema que precisa controlar de forma independente potências ativa e reativa, essa questão pode ser bastante crítica. Portanto, sistemas de

sincronização sensíveis a sub e inter-harmônicos provavelmente apresentarão problemas no controle independente das potências ativa e reativa, com é exigido pelos atuais códigos de rede.

C) 3) Os autores comentam sobre as plataformas computacionais PSCAD/EMTDC e resultados experimentais obtidos em uma determinada plataforma HIL. Poderiam os autores comentar detalhes sobre as mesmas e como são realizados os testes do tipo Hardware-in-the-loop (HIL)?

Bom, o software de simulação computacional PSCAD/EMTDC é um conhecido simulador ([www.pscad.com](http://www.pscad.com)) utilizado por empresas consagradas como AREVA e VESTAS. As simulações de nosso algoritmo foram realizadas neste software. Para a parte experimental foi utilizada uma plataforma hardware-in-the-loop ([www.dspace.com](http://www.dspace.com)), no caso o dSPACE 1103. Ele funciona da seguinte maneira: O dSPACE é uma plataforma composta por software e hardware. O hardware possui diversas entradas e saídas analógicas e digitais. Saídas PWM e entradas para encoder, inclusive. Ele funciona em conjunto com o MATLAB/SIMULINK, assim, é necessário que todo o modelo do sistema seja escrito em MATLAB/SIMULINK e, a partir daí compilado neste software. Depois, utiliza-se o módulo do dSPACE chamado de ControlDesk, que nada mais é do que uma plataforma homem-máquina. E todo o ambiente de controle será escrito no ControlDesk que permitirá inclusive mudança de quaisquer parâmetros do sistema de controle em tempo real.

### 3.4 - MODELO DINÂMICO DE FILTRO ATIVO PARA A COMPROVAÇÃO DE SUA EFICÁCIA NA MÉDIA TENSÃO PARA A REDUÇÃO DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS

VELIZ, F.C.(1);VARRICCHIO, S.L.(1);COSTA, C.D.O.(1);CUNHA, O.A.D.(2);AMARAL, R.C.(3); - CEPEL(1);Power Solution(2);Enerwatt Engenharia Ltda(3);

Frequentemente os estudos de desempenho harmônico, relativos às novas instalações no Sistema Interligado Nacional (SIN) que possuem um alto conteúdo harmônico, acusam a necessidade de custos altos para atenuar as distorções harmônicas de tensão no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) a valores dentro dos limites especificados nos Procedimentos de Rede (PR) do ONS. Estes custos altos motivaram o surgimento de uma nova opção de atenuação de distorções harmônicas baseada no uso de filtros ativos na média tensão. Contudo, o modelo elétrico de filtros ativos que viabilizaria esta nova opção mitigadora, assim como outra aplicação importante, descreve o desempenho destes equipamentos apenas no regime permanente (RP) (regime de atuação das correntes e tensões harmônicas). Portanto, para comprovar este modelo de RP e se poder realizar uma avaliação aproximada da interação dinâmica destes equipamentos com a rede elétrica, neste trabalho se desenvolveu um modelo dinâmico simplificado para estes filtros. Desta maneira, foi simulado no PSCAD o mesmo caso exemplo de acesso de um complexo eólico ao SIN, representando os filtros ativos pelo seu modelo dinâmico proposto. Os resultados da simulação mostraram que o desempenho destes filtros, após o regime transitório (RT), é idêntico ao desempenho produzido pelo modelo de RP, comprovando-se assim a sua efetividade. Esta comprovação reforça a possibilidade de se utilizar estes filtros na mitigação de distorções na média tensão, permitindo assim usufruir todos os seus benefícios.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores mostraram através do exemplo do desacoplamento das componentes harmônicas devido ao parque e devido ao sistema (para uma única frequência). Por favor comentem se o filtro possui a capacidade de gerar correntes harmônicas de elevadas magnitudes e de diferentes frequências.

Os filtros ativos são projetados para atender, a princípio, qualquer demanda de correntes, pois estes equipamentos são módulos com potências específicas, que quando ligados em paralelo acrescentam a potência necessária. Em relação às diferentes frequências que o filtro pode atuar, o mesmo possui uma alta flexibilidade, basta programá-lo para mitigar ao mesmo tempo as harmônicas desejadas até o 50º harmônico. Este equipamento também pode ser programado para mitigar todo o espectro de frequências harmônicas e inter-harmônicas. É importante destacar que o preço dos filtros depende da potência dos mesmos, ou seja, para maiores potências requeridas maiores serão os custos dos filtros.

B) 2) Os autores pretendem fazer alguma comprovação em campo da efetividade do filtro ativo?

Os resultados deste artigo são tão promissores que, pouco tempo depois da elaboração do mesmo, o CEPEL fez uma parceria com um reconhecido fabricante de filtros ativos de modo a avaliar em laboratório o desempenho da metodologia proposta. Os ensaios foram realizados num circuito trifásico composto por um capacitor conectado em paralelo com um retificador de 6 pulsos que alimentou uma carga resistiva. Estes equipamentos foram alimentados pela Rede do CEPEL, cujas harmônicas pré-existentes foram somadas aos produzidos por uma fonte ligada em paralelo. O objetivo deste circuito foi emular uma nova instalação com uma carga não linear significativa conectada ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Então, quando o filtro ativo (instalado entre o capacitor e a fonte de harmônicos) foi acionado, se verificou a alta precisão da metodologia proposta, pois o erro médio entre as correntes produzidas pela metodologia e pelas respectivas medições foi em torno de 1%.

C) 3) Poderiam fazer uma comparação de custo para instalação deste tipo de filtro em comparação com os filtros mais convencionais, para uma mesma efetividade de mitigação?

Trata-se de equipamentos de natureza diferente. Enquanto o filtro passivo modifica a impedância da rede interna, drenando parcialmente a corrente harmônica de interesse, o filtro ativo apenas modifica a corrente harmônica de interesse. Então, há situações em que os filtros passivos são mais convenientes que os filtros ativos e vice versa. Por exemplo, no caso de complexos eólicos, as distorções harmônicas de tensão no PAC para o 2º harmônico, frequentemente demandam custos altos para filtros passivos porque a potência requerida pelos mesmos, para atender os limites do ONS na pior situação de dissintonia, é muito elevada, enquanto que o custo do filtro ativo é significativamente menor, pois as correntes harmônicas de 2º ordem existentes nos sistemas envolvidos (complexo eólico e o SIN) são relativamente muito pequenas. Para o caso do 5º harmônico, via de regra, a situação é contrária, pois as correntes nos sistemas envolvidos são bem maiores, demandando um custo maior dos filtros ativos. Portanto, para indicar qual é a solução mais barata deve-se fazer uma avaliação conjunta das harmônicas de interesse do sistema analisado para cada uma destas opções. Inclusive a solução híbrida também poderia ser considerada.

### 3.5 - DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA GRÁFICA DESTINADA À VISUALIZAÇÃO DE ÁREAS DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM DETERMINADAS PELOS LIMITES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS DO PONTO DE CONEXÃO DE FONTES RENOVÁVEIS

SILVA, F.M.(1);SANTOS, I.N.(1);RIBEIRO, P.F.(2); - UFU(1);UNIFE(2);

O estudo de capacidade de hospedagem está voltado à determinação da máxima quantidade de geração eólica e fotovoltaica que pode ser conectada em um determinado ponto do sistema elétrico antes que um indicador de qualidade da energia ou mesmo um parâmetro limitador da rede tenha seu valor limite violado. No contexto da inserção destas gerações renováveis, dois índices em particular despertam maior interesse: sobretensões e distorções harmônicas. Assim sendo, este trabalho está voltado ao desenvolvimento de uma ferramenta gráfica para melhor visualização de áreas de capacidade de hospedagem determinadas pelos limites estabelecidos pelas distorções harmônicas do ponto de conexão.

Perguntas e respostas:

A) 1) Pelo conhecimento dos autores este conceito de capacidade de hospedagem de geração distribuída já é adotado em outros locais do mundo? Por favor, exemplifiquem.

Os conceitos de capacidade de hospedagem são alvo de estudos e investigações em vários países da Europa e também nos Estados Unidos. Todavia, a aplicação dos conceitos perpassam por mudanças dos códigos de redes locais. Tais mudanças não foram, pela presente pesquisa, verificadas. No que diz respeito mais especificamente às distorções harmônicas, certamente não se tem, ainda, mecanismo de aplicação prática dos mesmos. A presente pesquisa busca, justamente, contornar tais restrições.

B) 2) No estudo de caso apresentado os autores tinham conhecimento da injeção de correntes harmônicas em amplitude e ângulo em seis barras do sistema o que permitiu o traçado gráfico das curvas de hospedagem. Como podemos determinar estes ângulos? Eles obedecem a que referencial?

Estes ângulos das fontes de correntes pré-existentes nos sistemas, podem ser estimados via conhecimento do chamado voltage background distortion e também da impedância harmônica do ponto de conexão. Sabe-se, porém, que tais informações não são trivialmente encontradas, por isso, no futuro, deve-se desenvolver técnicas para a estimativa confiável deste dados necessários ao cálculo destas correntes harmônicas (módulo e ângulo).

C) 3) Pelo conhecimento dos autores neste novo cenário com geração distribuída e armazenamento de energia as características dos harmônicos na rede elétrica será alterada? Até que ordem harmônica a qualidade de energia será afetada?

A geração distribuída (principalmente fotovoltaica) afetará sim as distorções harmônicas presentes nas redes elétricas de distribuição, fazendo com que haja uma tendência de aumento do chamado background distortion, todavia a propagação das correntes de ordens harmônicas elevadas (maior que 20ª ordem) ainda continuará bem restrita, devido às típicas impedâncias da rede de distribuição. Entretanto, ordens harmônicas não características (por exemplo: 2ª ordem) poderão ter seus valores mais elevados devido às assimetrias dos controles destes conversores empregados. Por fim, os autores acreditam que as ordens adotadas pelo PRODIST (até a 30ª ordem) são as que de fato terão maior relevância na rede de distribuição num cenário de aumento da inserção de GDs.

### 3.6 - AS DIFICULDADES ENFRENTADAS NO PROJETO DE FILTROS FRENTE ÀS BAIXAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS PROVOCADAS PELOS PARQUES EÓLICOS

CARLI, M.P.D.(1);ANTUNES, R.(1);ROTHSTEIN, O.J.(1);MEYER, B.T.(1);SALENGUE, R.S.(1);CARVALHO, R.T.(1); - ELETROSUL(1);

Este Informe Técnico (IT) apresenta as dificuldades enfrentadas para a definição de soluções de compensação reativa e filtragem harmônica para a redução das distorções de tensão provocadas pelos parques eólicos. Para isso, o IT apresenta brevemente a metodologia e o processo de avaliação do desempenho harmônicos dos parques eólicos e as dificuldades enfrentadas para a definição de soluções factíveis e de menor impacto operacional. Por fim, é apresentado um estudo de caso onde se demonstra, através de medições e análises das distorções em diversas condições sistêmicas, que o problema de elevação das distorções pelos parques eólicos aparentemente não existe ou é secundário em relação às distorções pré-existentes.

Perguntas e respostas:

A) 1) No item 4.2 é mencionado que a compensação de 27MVar capacitivos seria atendido pela habilitação de funcionalidade de aerogeradores para geração / absorção de potência reativa quando a geração ativa é nula. Por favor, comente sobre esta funcionalidade.

Tais funcionalidades estão disponíveis em alguns aerogeradores e quando necessário, em função de requisitos de rede, podem ser habilitadas, mediante contratação, para gerar ou absorver potência reativa quando a geração ativa é nula. No caso dos parques citados no artigo havia aerogeradores de dois fabricantes diferentes e ambos dispunham de tal função com capacidade absorver 200 kvar. A habilitação desta função permite atender o requisito de anulação do efeito capacitivo do parque eólico quando em potência nula, sem a necessidade de instalação de reatores, evitando-se a necessidade de execução de obras. A contratação de tal funcionalidade, para o caso citado no artigo, apresentou custo inferior a uma solução convencional.

B) 2) A figura 6 mostra uma medição de tensão de quinta harmônica e da potência do complexo eólico. Uma tem característica repetitiva e a outra é mais aleatória. Por favor, comentem este resultado em função do que é praticado pelos PR.

Como dito no artigo, o perfil repetitivo e periódico das distorções de 5ª ordem indicam que ela é, em sua maior parte ou quase na totalidade, produzida pela rede e suas cargas não lineares. Reforçam a afirmativa o fato de as distorções mudarem o padrão aos sábados e domingos e terem picos e vales em horários coincidentes com os inícios e fins de jornadas diárias. Além disto, as figuras 7 e 8 demonstram que a influência do complexo eólico na distorção de 5ª ordem é mínima, haja vista o fato de o complexo estar gerando energia ou desconectado do sistema não produzir efeito perceptível e significativo nas distorções. Pela figura 5a pode-se inferir ainda que exista uma correlação baixa e negativa entre a distorção de 5ª ordem e a potência instalada no complexo. A avaliação do desempenho harmônico de fontes não-lineares e a definição da necessidade de instalação de filtros, segundo os PR é feita quase que exclusivamente através de estudos. Assim, mesmo que um parque entre em operação ainda sem filtros e após sua entrada em operação não haja qualquer elevação das distorções ou mesmo ocorra uma redução e isto seja verificado por um razoável período de tempo, a instalação dos filtros definidos por estudo não é dispensada. Ou seja, mesmo que se tenha conhecimento de que o método adotado na avaliação do desempenho harmônico dos parques eólicos seja originado da metodologia de projeto de filtros para sistemas HVDC e possa produzir resultados bastante pessimistas e improváveis, as medições, técnicas de análise e de atribuição de responsabilidades são preteridas.

C) 3) Os autores apresentaram discordâncias com relação ao PR que estabelece como ponto principal para aprovação da conexão de um parque eólico os estudos de simulação. No seu entendimento de que maneira isto poderia ser alterado? Como garantir que os limites não sejam ultrapassados?

Talvez uma primeira pergunta a ser feita é: o que ocorre se os limites definidos nos PR forem ultrapassados? Os autores têm conhecimento de barras do sistema com elevados níveis de distorção, mesmo sem parques eólicos ou afastadas de grandes centros de carga. Adicionalmente, existe uma apresentação do ONS que mostra um levantamento das distorções em subestações onde seriam conectados parques eólicos e em aproximadamente 33 % delas os níveis de distorção já ultrapassavam algum limite previamente à entrada dos parques em operação. Mesmo com este cenário, os autores não têm observado ações imediatas do ONS e já ANEEL para a resolução do problema sistemicamente ou a busca por eventuais responsáveis. Portanto, a violação marginal ou por curtos períodos de tempo dos limites de distorção parece ser algo que poderia ser tolerado. Sendo assim, o que os autores defendem, em síntese, é que os estudos de diagnóstico do impacto provocado por um parque eólico no sistema fossem realizados com alguma metodologia e critérios mais realistas e as medições fossem usadas de fato para gerenciamento da QEE. Se neste processo, fosse constatada a necessidade de instalação de filtros, eles deveriam ser definidos conforme as recomendações de normas como a IEC 62001 e a brochura técnica 553 do Cigré. Desta forma, o agente faria o estudo de acesso com alguma metodologia menos severa, tal como fluxo harmônico, ou com algum lugar geométrico formado por impedâncias de cenários mais prováveis (percentil 95), ou mesmo calculando as distorções diretamente nas impedâncias. O resultado deste estudo seria referencial e não determinativo, ou seja, não definiria a necessidade de instalação de filtros, a princípio, desde que as distorções não violassem os limites globais inferiores. Assim o parque entraria em operação sem filtros e com monitoramento constante das distorções em seu PAC. Estas medições seriam comparadas semanalmente com as medições pré-parque e com os limites previstos, ou tratadas a partir de alguma técnica de compartilhamento de responsabilidades. Caso fosse verificado que o parque eleva as distorções acima dos limites previstos, ele seria obrigado a instalar os filtros necessários. Resumidamente, os autores entendem que seria fundamental enviaar esforços na busca de uma metodologia mais coerente com a realidade para a realização de diagnósticos do impacto provocado por um parque eólico nas distorções e a partir disto, definir os critérios de aceitação da conexão de um parque eólico no tocante distorção harmônica de tensão.

### 3.7 - DEFINIÇÃO DAS CAPACIDADES NOMINAIS DE BANCOS DE CAPACITORES CONSIDERANDO DISTORÇÕES DE TENSÃO ELEVADAS NA REDE BÁSICA

CARLI, M.P.D.(1);RISTOW, R.E.S.(1);GRANDER, L.O.(1);ROTHSTEIN, O.J.(1);ANTUNES, R.(1); - ELETROSUL(1);

O artigo apresenta e discute as dificuldades e incertezas da definição das capacidades nominais de bancos de capacitores em ambientes com alta distorção harmônica de tensão e as possíveis consequências que podem ocorrer com a inserção destes equipamentos em regiões do sistema com distorção elevada. A metodologia e critérios utilizados pela Eletrosul para a definição das capacidades nominais de bancos de capacitores e resultados de campanhas de medição de distorções de tensão são apresentados. A influência destas distorções no projeto, bem como a possibilidade de amplificação destas, devido a conexão dos bancos de capacitores é discutida. Por fim, é apresentado um estudo de caso da especificação de bancos de capacitores em três subestações distintas.

Perguntas e respostas:

A) 1) No item 4.2 é afirmado que os fabricantes dimensionam os bancos de capacitores segundo um critério que poderia conduzir a um superdimensionamento. Por favor, comentem sobre as diferenças com relação ao método da ELS cujas equações estão contidas no IT.

Conforme comentado no artigo, as normas de dimensionamento de capacitores, embora definam parâmetros de projeto como tensão, corrente e potência nominais e estabeleçam suas suportabilidades, não tratam da maneira e condições em que estas grandezas devem ser determinadas. Por isto, a Eletrosul vem adotando para bancos de capacitores equações para definição dos parâmetros de projeto baseados em normas de filtros (além de metodologia semelhante). Com isto, a tensão e potência nominal de capacitores são definidas conforme as equações 3 e 4 do artigo. Desta forma, em um dos bancos de capacitores citados no trabalho (50 Mvar em 230 kV) teria 293,3 kV (rms f-f) e 66 Mvar de tensão e potência nominais; no entanto, após contato com fabricantes, eles informaram que para uma tensão nominal de 293,3 kV (rms f-f), a potência seria de 81,36 Mvar. Isto porque eles definem a potência como  $Q_{n-2} = 2 \cdot I_{CV\_n}^2$ , ou seja, consideram como se toda a tensão  $V_n$  fosse de frequência fundamental, o que na interpretação da Eletrosul é um equívoco. Inicialmente porque a tensão é composta tanto pela frequência nominal como pelas harmônicas; assim sendo, a medida em que a frequência harmônica aumenta, a reatância capacitiva do capacitor reduz e para uma determinada corrente no equipamento, esta produz tensões e potências harmônicas menores. Em função deste entendimento dos fabricantes, a Eletrosul desenvolveu critério alternativo para definição da tensão nominal e modificou a forma de representação da impedância da rede no cálculo das máximas solicitações para uma forma mais realista e assim conseguiu reduzir a tensão nominal para 264,15 kV (rms f-f) e a potência para 65,95 Mvar, calculada conforme entendimento dos fabricantes (seria 60,9 utilizando a equação que soma as potências harmônicas).

B) 2) Os filtros passivos de harmônicos calculados pela Eletrosul para operação em parques eólicos também são dimensionados pelo método indicado neste artigo? Onde os mesmos são instalados na BT, MT ou AT?

Os filtros passivos de harmônicos especificados para parques eólicos seguem metodologia e critérios semelhantes aos definidos na IEC 62001, de projeto de filtros para sistemas HVDC. Basicamente a diferença do método utilizado pela Eletrosul para a definição do rating de filtros para parques eólicos daqueles utilizados em sistemas HVDC é a inclusão da impedância da rede interna dos parques. Tal metodologia adaptada foi apresentada em um artigo no SNPTEE de 2013, no GDS. Resumidamente, para o projeto de filtros de parques eólicos a Eletrosul utiliza metodologia semelhante a usada em sistemas HVDC, a qual tem a impedância do sistema representada por lugares geométricos. Apesar de a Eletrosul ainda não ter instalado filtros passivos em parques eólicos, seus projetos e localização dependem de uma série de questões e restrições. Já foram realizados projetos para tensões de 230 kV, 138 kV e 34,5 kV, mas esta definição depende de caso a caso. Por exemplo, o projeto citado em 230 kV seria menos complexo e com menor número de elementos, no entanto resultaria em elementos de difícil fabricação e instalação, devido a baixa potência e dimensões elevadas do reator. Por isso, início-se outro projeto com os filtros instalados em diversar barras de 34,5 kV da SE. Em outro parque, com tensões de 525 kV, 138 kV e 34,5 kV, a solução de filtragem precisou ser projetada para ser instalada em três diferentes barramentos em 138 kV, afastados de alguns quilômetros dentro do complexo eólico. Isto porque os custos de instalação no 525 kV seriam proibitivos e a instalação em barras de 34,5 kV provocaria sobrecarga nos transformadores elevadores 138/34,5 kV, pois além de reduzir as distorções os filtros também precisariam, junto com capacitores, atender requisitos de potência reativa dos parques eólicos.

C) 3) Os autores têm conhecimento se os bancos de capacitores existentes na ELS, instalados há mais de 5 anos, levavam em consideração os elevados índices de distorção harmônica? Há relatos do pessoal de operação e manutenção de falhas nestes bancos de capacitores antigos?

Na Eletrosul existem bancos de capacitores em operação há mais de 10 anos sem relatos de falhas pela operação e manutenção. Em um banco em que houve falhas logo após a sua entrada em operação foi constatado que o problema estava relacionado ao seu processo produtivo. Após as ações necessárias, não foram verificados mais problemas. Estes bancos citados acima, tinham potência nominal de 50 Mvar e 125 Mvar em 230 kV e deveriam ser dimensionados para operar continuamente em 241,5 kV, o que resultaria, respectivamente, em potências de 55,1 Mvar e 137,8 Mvar. Com relação à tensões harmônicas, as especificações apenas definiam que os bancos de capacitores deveriam operar continuamente com tensões eficazes entre seus terminais (incluindo tensões harmônicas), que não ultrapassassem 10 % de suas tensões nominais. Ou seja, as especificações técnicas eram menos detalhadas e rigorosas que as atuais.

### 3.8 - METODOLOGIA BASEADA EM MEDIÇÕES E NO USO DE FILTROS ATIVOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS RESPONSABILIDADES SOBRE AS DISTORÇÕES HARMÔNICAS RELATIVAS À CONEXÃO DE NOVAS INSTALAÇÕES AO SIN

VELIZ, F.C.(1);VARRICCHIO, S.L.(1);COSTA, C.D.O.(1);CUNHA, O.A.D.(2);AMARAL, R.C.(3); - CEPEL(1);Power Solution(2);Enerwatt Engenharia Ltda(3);

As metodologias indicadas por referências técnicas internacionais e utilizadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), para a determinação das responsabilidades sobre as distorções harmônicas relativas à conexão de novas instalações ao Sistema Interligado Nacional (SIN), não consideram o ?isolamento harmônico? destes sistemas devido a sérias dificuldades práticas. Note que o ?isolamento harmônico? é de vital importância para o cálculo dos equivalentes de Thévenin (ou Norton) destes sistemas, que juntos com a aplicação do Teorema da Superposição, são necessários para a obtenção das responsabilidades sobre as distorções. Então, como as metodologias apontadas pelo ONS usam estas mesmas propriedades de circuitos lineares desconsiderando o ?isolamento harmônico?, podem gerar erros expressivos na identificação das responsabilidades sobre as distorções, que na prática são atribuídas às novas instalações, demandando custosos filtros. Portanto, é imprescindível o desenvolvimento de uma metodologia que determine a verdadeira contribuição das novas instalações sobre estas distorções, viabilizando, assim, medidas de mitigação de harmônicos mais justas. Desta maneira, este trabalho propõe uma nova metodologia, baseada no uso de filtros ativos na média tensão e de medidores (de tensão e corrente), que permite obter estes equivalentes considerando o ?isolamento harmônico? entre os sistemas envolvidos (nova instalação e SIN), possibilitando, deste modo, a obtenção correta das responsabilidades sobre as distorções no PAC.

## Perguntas e respostas:

A) 1) No entendimento dos autores os filtros passivos existentes na saída dos inversores e demais impedâncias como, por exemplo, o estator das máquinas DFIG deveriam ser incluídos na impedância ZN?

Sim, pois a metodologia proposta é linear. Portanto, a impedância Zn deve considerar todos os equipamentos passivos vistos desde a barra coletora onde o filtro foi instalado.

B) 2) Após a medição de Inorton com o filtro ativo ligado (eq 8) consegue-se melhorar a "distorção simulada", i.e. têm-se maior exatidão no cálculo da distorção harmônica através dos P.R. A presença do filtro modifica a corrente Inorton? Pode-se afirmar que a mesma corrente medida se aplica para os casos em que o filtro ativo está desligado e quando não se dispõe do filtro ativo?

Para o harmônico de interesse, o filtro ativo não interfere na Inorton nem na Znorton da rede interna, pois segundo o conceito "Isolamento Harmônico", mostrado neste artigo, o desempenho harmônico dos componentes passivos e ativos dos sistemas envolvidos não deve sofrer nenhuma modificação antes, durante e depois da atuação do filtro ativo. A "não" interferência, a princípio, seria atendida pelos sistemas reais, pois as características operativas dos mesmos não se modificariam na frequência fundamental, consequentemente tampouco se modificariam as tensões ou correntes harmônicas produzidas pelas cargas não lineares, pois são oriundas desta frequência fundamental. Este conceito de "Isolamento Harmônico" foi comprovado experimentalmente nos recentes ensaios de laboratório realizados no CEPEL, onde a corrente de 5,6A de 5º harmônico injetada pelo retificador trifásico de 6 pulsos, conectado à Rede do CEPEL (pertencentes às redes interna e externa, respectivamente), não se modificou quando o filtro ativo de um reconhecido fabricante, alocado entre estas redes, atuou por alguns minutos isolando as redes interna e externa no 5º harmônico.

C) 3) Os autores concluem que a aplicação da metodologia proposta apresentam resultados muito próximos da metodologia ideal. No entanto, qual o esforço em termos de custo para viabilizar a aplicação da metodologia proposta?

Nos ensaios de laboratório realizados no CEPEL se verificou a alta precisão da metodologia proposta, pois o erro médio entre as correntes e tensões produzidas pela metodologia proposta e pelas respectivas medições foi em torno de 1%. Portanto, se comprovou experimentalmente que os resultados da metodologia proposta são muito próximos da metodologia ideal. Os ensaios foram realizados num circuito trifásico composto por um capacitor conectado em paralelo com um retificador de 6 pulsos que alimentou uma carga resistiva. Estes equipamentos foram alimentados pela Rede do CEPEL, cujos harmônicos pré-existentes foram somados aos produzidos por uma fonte ligada em paralelo. O objetivo deste circuito foi emular uma nova instalação com uma carga não linear significativamente conectada ao SIN (Sistema Interligado Nacional). O filtro ativo, inicialmente desligado, foi instalado entre o capacitor e a fonte de harmônicos. Em relação aos custos, apesar de não ter o conhecimento dos valores exatos dos equipamentos utilizados na aplicação da metodologia proposta, é trivial que seu custo (assim como a qualidade dos seus resultados) é muito superior que o da metodologia convencional, e dependerá do número de barramentos coletores de média tensão existentes no empreendimento avaliado, pois para cada um destes barramentos será necessário a aplicação da metodologia proposta. No entanto, é importante ressaltar que o seu custo em muitos casos poderá ser compensado e até poderá reduzir significativamente os dispendiosos gastos nas situações em que a metodologia convencional indica a necessidade de filtros passivos de elevada potência. Como por exemplo, cita-se o caso do 5º harmônico, onde frequentemente a elevada corrente medida, decisiva no alto custo do filtro passivo, pode ser predominantemente proveniente do SIN, sendo que esta corrente, considerada pela metodologia convencional, não deveria ter participado no projeto do filtro.

### 3.9 - COMPARATIVO ENTRE TÉCNICAS DE BLINDAGEM DE CAMPO MAGNÉTICO DE LINHAS SUBTERRÂNEAS QUANTO AO FATOR DE REDUÇÃO DESTA CAMPO, A AMPACIDADE DA LINHA E OS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

MOREIRA, R.O.C.(1);ÈVO, M.T.A.(2);SOUZA, D.S.C.(3);LOPES, I.J.D.S.(3);PAULA, H.D.(3);CAETANO, C.E.F.(3);PAULINO, J.O.S.(3);BOAVENTURA, W.D.C.(3); - CEMIG D(1);UFSJ(2);UFMG(3);

Neste trabalho, são apresentados resultados experimentais envolvendo técnicas de mitigação do campo magnético gerado por linhas de distribuição e transmissão subterrâneas. Experimentos foram desenvolvidos em um protótipo constituído de quatro trechos de linhas com cabos de 138 kV, percorridos por correntes de 830 A. No arranjo experimental, foram analisadas as técnicas de mitigação através da utilização de chapas metálicas, de loops de compensação de alto acoplamento e de canaletas de aço fechada. Assim, foi possível tanto quantificar a eficácia dessas configurações de blindagem como medir o impacto térmico da presença desses equipamentos nas proximidades da linha. Além disso, é apresentada uma tabela comparativa de diferentes técnicas de atenuação que resume os principais aspectos abordados no projeto de um sistema de blindagem, sendo eles: fator de redução do campo, impacto na ampacidade da linha e o custo.

## Perguntas e respostas:

A) 1) Para este tipo de aplicação em termos de classe de tensão e de nível de carregamento dos cabos os autores têm ideia de quanto é o nível típico de campo magnético ao nível do solo e se geralmente os mesmos ultrapassam os limites da regulamentação vigente?

O campo magnético calculado no ponto alinhado ao condutor central (ponto de máximo) e ao nível do solo para um carregamento de 300 MVA (1250A) em 138 kV é de aproximadamente 55 uT para o arranjo horizontal e 26 uT para o arranjo em trifólio. Estes são valores inferiores aos limites estabelecidos pelo ICNIRP e pela legislação brasileira, que é de 200 uT a 1,5 m acima do nível do solo, conforme estabelecido pela NBR 15415 "Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na baixa frequência de 50 Hz e 60 Hz". Contudo, alguns países (por exemplo: Rússia 10uT, Suíça 1uT em área de risco, Itália 3uT para instalações novas próximas a áreas de risco, Holanda 0,4uT para novas instalações próximas a escolas, parques e zonas frequentadas por crianças) e recentemente na cidade de São Paulo, têm adotado limites cada vez mais restritivos no decorrer dos últimos anos, tornando, assim, necessário o estudo de alternativas de blindagem em linhas subterrâneas.

B) 2) Solicita-se que os autores façam maiores explicações sobre os seguintes pontos: ? Geralmente qual a temperatura de projeto dos cabos? ? Como é possível obter na prática níveis de corrente de compensação da ordem de 650 A, conforme citado no artigo? ? Como foi calculada a perda na capacidade nominal em regime permanente de condução? ? Não se procurou fazer um ajuste da permeabilidade para produzir a mesma redução?

Geralmente qual a temperatura de projeto dos cabos? A máxima temperatura de operação suportável para o cabo subterrâneo analisado é de 90°C. Este é o limite térmico do material da camada de isolamento do cabo, o XLPE (polietileno reticulado). Como é possível obter na prática níveis de corrente de compensação da ordem de 650 A, conforme citado no artigo? Para se obter níveis de compensação da ordem de 650 A, foi inserido um núcleo magnético para acoplar magneticamente os loops com as fases da linha. Dessa forma, a corrente não é mais determinada pelo posicionamento ou pela configuração dos loops, mas sim pelo acoplamento magnético proporcionado pelo transformador (definido pelas suas dimensões e tipo de material). Como foi calculada a perda na capacidade nominal em regime permanente de condução? A partir da determinação da corrente máxima permitida na linha subterrânea na presença de uma técnica de blindagem. Para isso, foi determinada a corrente que resultaria na elevação à máxima temperatura de operação (90°C) e, assim, calculado o percentual da capacidade de transmissão na comparação com a linha sem a presença de blindagem. As correntes foram calculadas através de simulações de elementos finitos no programa FEMM. Não se procurou fazer um ajuste da permeabilidade para produzir a mesma redução? A atenuação do campo proporcionada por esse tipo de blindagem e, consequentemente, o FR correspondente, está diretamente relacionada com a permeabilidade magnética do material. Como são materiais destinados a aplicações não elétricas, os fabricantes de aços comerciais disponíveis no mercado fornecem informações apenas para os valores da densidade de fluxo, não dispondo de dados da permeabilidade magnética que cada tipo possui. Assim, não foi possível avaliar materiais ferromagnéticos de diferentes permeabilidades.

C) 3) Favor tecer considerações do porquê após 10 h não se consegue atingir o equilíbrio térmico?

O cabo subterrâneo possui uma constante térmica muito superior à da linha aérea, necessitando, assim, de um tempo considerável (ordem de dias) para se alcançar o equilíbrio térmico. Esse comportamento se deve à estrutura do cabo subterrâneo (isolação, armadura, capa externa, etc.) e, principalmente, ao solo no entorno do cabo, que auxilia na dissipação do calor. Vale ser destacado que essa constante térmica pode ser comprovada tanto em trabalhos publicados na literatura quanto em simulações computacionais.

### 3.10 - DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

COSTA, C.D.O.(1);VARRICCHIO, S.L.(1);VELIZ, F.C.(1);OLIVEIRA, F.A.D.(2); - CEPEL(1);ONS(2);

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento no programa HarmZs do Cepel de uma interface gráfica extremamente amigável e flexível, onde é possível a realização dos estudos de acesso de novas instalações à Rede Básica, considerando simultaneamente lugares geométricos (LGs) de admittâncias na forma de setores angulares e de polígonos de n lados, determinados e traçados de acordo com as particularidades de cada um descritas nos Procedimentos de Rede (PR). A flexibilidade da ferramenta, sua facilidade de utilização e velocidade de processamento tornam possíveis análises de sensibilidades mais rigorosas e detalhadas em relação a parâmetros como intervalo harmônico e passo de frequência, utilizados na construção dos LGs. Assim, os usuários e o próprio ONS podem utilizar o programa como ferramenta de aprimoramento dos PR atuais, uma vez que estes tendem a ser dinâmicos de acordo com a evolução do sistema. Além da interface gráfica desenvolvida, serão apresentadas também, de forma didática, suas facilidades através de exemplos de traçados de setores e polígonos utilizando um caso real.

## Perguntas e respostas:

A) 1) Considerando que a precisão da obtenção do perfil de impedância harmônica é muito dependente do passo de e da banda de frequência considerada, porque estabelecer valores distintos para cada tipo de LG. Não deveriam ser os mesmos? Referências internacionais não fazem esta distinção.

Considerando os dois tipos de lugares geométricos presentes nos Procedimentos de Redes (Setor Anular e Polígono de N Lados), nota-se que, em geral, a área do Polígono no plano GxB é menor do que a área do Setor. Isto significa que os resultados obtidos com o Polígono (considerando os mesmos passos e intervalos de frequência para os dois LGs) tendem a ser menos conservadores. Para tentar compensar esse menor conservadorismo, de modo a garantir a integridade e proteção do sistema elétrico do ponto de vista da qualidade de energia, preocupação constante do Operador, utiliza-se um passo de frequência menor, objetivando detectar possíveis pontos de ressonâncias, além de assegurar que a modelagem de redes com harmônicas represente a operação dinâmica do sistema para o tipo de lugar

geométrico adotado.

B) 2) Considerando que há desequilíbrios apreciáveis no sistema elétrico, qual a opinião dos autores em considerar uma representação trifásica na obtenção das impedâncias harmônicas e consequentemente nos níveis de distorção, ao invés de considerar apenas a sequência positiva?

A representação trifásica é sim bastante interessante pois os possíveis desequilíbrios poderiam ser modelados. No entanto, não existe um banco de dados trifásico para alimentar possíveis softwares trifásicos. Também vale observar que os programas que trabalham com sequência positiva levam em consideração que nos sistemas de transmissão os desequilíbrios não são significativos. Além disso, a utilização do método do Lugar Geométrico compensa as possíveis simplificações e erros de dados utilizados na modelagem da rede.

C) 3) A figura 1 bem como os parágrafos que a precedem parece indicar que nas 3 regiões analisadas as fontes dominantes são oriundas do resto do sistema (background harmonics) e não do parque eólico. Como os Procedimentos de Rede tratam esta situação?

Os Procedimentos de Redes (PR) do ONS desconsideram estes harmônicos de background, pois como não existem metodologias que determinem as responsabilidades dos sistemas envolvidos sobre as distorções harmônicas, os PR assumem que estas correntes harmônicas de background (que não são possíveis de serem medidas separadamente) fazem parte das correntes da rede interna.

### 3.11 - DIFASE - SISTEMA COMPUTACIONAL DE APOIO AO OPERADOR NO DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO

PESSANHA, J.E.O.(1);CASAS, V.L.P.(1);LOPES, D.C.P.(1);FILHO, R.N.D.C.(1);BUZAR, J.C.R.(2);DOERNER, F.R.P.(2);CASTRO, V.(2); - UFMA(1);ELETRONORTE(2);

De modo a diminuir os prejuízos sociais e econômicos decorrentes de interrupções no fornecimento de energia elétrica, o diagnóstico de faltas em subestações deve ocorrer o mais rápido possível, de forma confiável e precisa, para início imediato das ações necessárias de controle, manutenção e restauração. Esses desafios tem produzido uma grande quantidade de esforços direcionados ao desenvolvimento de novos sistemas de gerenciamento de eventos, aplicáveis às condições atuais dos sistemas elétricos de potência. O uso de sistemas inteligentes tem se mostrado uma alternativa atraente neste ambiente cada vez mais complexo. Com o intuito de contribuir neste vasto campo de necessidades e investigações, o presente artigo apresenta o sistema computacional DIFASE (acrônimo de Diagnóstico de Faltas em Subestações) para auxiliar o operador no diagnóstico rápido de faltas em subestações de transmissão fazendo uso de sistemas inteligentes (redes neurais) apresentando inovações as quais o diferenciam de ferramentas de diagnóstico existentes e o tornam extremamente eficiente como meio de auxílio ao operador.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam explicar a motivação do desenvolvimento deste software que processa os dados históricos do SAGE como forma de localizar a parte do sistema em falta. Dado que que na ocorrência de faltas os operadores têm conhecimento de quais os disjuntores foram operados e quais os relés que alarmaram.

Na verdade, os operadores têm conhecimento dos disjuntores e dos relés que alarmaram, mas devido à grande quantidade de alarmes o tempo necessário para identificar o equipamento faltoso pode ser elevado e, portanto, não sendo de interesse prático. Em contrapartida, O DIFASE identifica quase instantaneamente (não instantâneo devido ao delay na comunicação) o equipamento faltoso.

B) 2) Os autores poderiam explicar como as RNA foram treinadas a partir de dados de alarmes e posição das chaves?

Para esta versão do programa DIFASE, através de vários testes, verificou-se que trabalhando com uma RNA para cada conjunto de equipamentos se consegue os melhores resultados. Na RNA ?linhas? por exemplo, a entrada corresponde a 34 alarmes das linhas de transmissão além dos alarmes de posições das chaves. A mesma ideia é aplicada as outras duas RNAs associadas aos transformadores a aos barramentos da subestação. É importante frisar que as variáveis de entrada devem apresentar valores binários, sendo igual a um (1), quando o alarme está ativo, e zero (0), caso contrário. Análogo às variáveis de entrada, as saídas das redes neurais devem também apresentar valores binários sendo responsáveis por classificar o tipo de equipamento: (1) com defeito e (0) sem defeito. Assim, o número de neurônios na camada de saída das redes neurais corresponde ao número de equipamentos que estão sendo supervisionados. Durante o processo de treinamento é fundamental obedecer a ordem das variáveis discretas.

C) 3) Os autores poderiam explicar como as RNA foram treinadas a partir de oscilogramas gerados pelo programa ATP? Por exemplo, no item 2.2b) é indicado que foi reconhecido um curto-circuito em determinada LT à 13km de distância da subestação. Para identificação deste padrão foram processados quantos casos no ATP?

Um programa foi desenvolvido com o objetivo de automatizar o processo e fazer a comunicação DIFASE- ATP. O DIFASE interpreta os arquivos gerados pelo programa atp (extensão .mat utilizando o gtpplot ou com extensão p4- padrão). Foram simulados, aproximadamente, 400 casos para cada linha de transmissão de 500 kV da subestação São Luis I (SE-SL) variando-se a distância e a duração da falta, o ângulo de incidência e o carregamento do sistema. O interessante é que mais casos podem ser simulados dependendo da complexidade da subestação e das características das linhas de transmissão.

### 3.12 - MODELO DE UM SISTEMA PREDITIVO DE OCORRÊNCIA DE FALTA

ADORNI, C.Y.K.O.(1);PASSOS, L.F.N.(1);MURARI, C.A.F.(2);MACHADO, B.D.B.(2);JUNIOR, M.A.M.D.S.(3); - FITEC(1);FECC/UNICAMP(2);CELG-D(3);

Neste artigo é proposto um sistema preditivo de ocorrência de falta em redes elétricas que, através de diferentes técnicas matemáticas, processa as informações contidas nas oscilografias provenientes dos ativos de uma concessionária de energia elétrica, como p.ex. os relés de proteção, auxiliando na mitigação, manutenção e caracterização de falhas. Trata-se de um sistema de apoio à tomada de decisão através de um processo automático de detecção prematura de falhas que identifica um comportamento incipiente e prevê a falha iminente, possibilitando a identificação e análise mais rápida de possíveis falhas na rede.

Perguntas e respostas:

A) 1) No exemplo citado no item 4.0 houve uma ocorrência de altas correntes em um determinado horário (falta incipiente) que resultou na abertura do alimentador algumas horas depois por curto-circuito. Este caso prova o interesse pelo método. Mas, já houve casos em que a detecção de falta incipiente evitou o desligamento?

Ainda não. O sistema em fase de testes sistêmicos ainda não foi entregue à Operação.

B) 2) Há oscilógrafos e registradores de perturbação capazes de adquirir dados em todos alimentadores da CELG? Ou apenas em alguns especiais?

Oscilógrafos e RDP?s não existem nos alimentadores da CELG, somente em terminais de linhas de transmissão. Ainda existem muitos relés eletromecânicos e digitais antigos que não são capazes de fazer esse tipo de aquisição de dados. A Celg está com um plano em andamento de substituição destes por relés / religadores mais modernos que tem esta funcionalidade. É de interesse da empresa que as oscilografias sejam coletadas periodicamente, já que se mostra uma grande ferramenta de predição e análise de faltas.

C) 3) Por favor, dissertem sobre o sistema: quanto tempo de desenvolvimento? Quanto tempo de testes? Encontra-se instalado em quantas localidades?

O projeto tinha um tempo total de 18 meses, mas deve finalizar em 24 meses. Atualmente está na fase de testes sistêmicos na CELG D, com duração de prevista de 05 meses. O sistema está preparado e já coletando dados dos circuitos de duas subestações: Xavantes (04 alimentadores) e Goiânia Leste (20 alimentadores).

### 3.13 - RESULTADOS DE ESTUDOS TÉCNICOS PARA A INSERÇÃO DE UMA LINHA DE 1.000 KV NA REDE TRONCO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

SILVEIRA, P.(1);BASSINI, M.T.(2);SAIKI, G.Y.(3);PEDROSO, F.R.V.D.A.(4);Jardini, J.A.(5);NICOLA, G.L.C.(6);BORIN, P.D.O.F.(7);Graham, J.(8);GUJUN, L.(8);Arnez, R.L.V.(9);Jesus, J.F.d.(10);Araújo, M.C.d.(6);Rose, E.H.(11);Machado, V.G.(11);Wang, Y.(11);Junior, C.M.(11); - FDTE(1);Escola Politécnica da Universidade de São Paulo(2);FDTE(3);FDTE(4);EPUSP(5);ELETROBRAS ELETRONORTE(6);ELETRONORTE(7);SGBH(8);FDTE(9);ELETROBRAS ELETRONORTE(10);State Grid(11);

Na região que compreende os estados do Ceará, Bahia e Minas Gerais existe um grande potencial de geração eólica e fotovoltaica (mais de 20 GW), valor acima da carga da região até 2.025. Esta energia pode ser direcionada para o Sudeste através de um sistema de transmissão de 1.000 kV com linha de capacidade nominal de 4 a 5 GW. Estudos de sistema e de engenharia foram realizados nos moldes da EPE para a definição básica do sistema. Neste artigo são apresentados os resultados de estudos de sobretensão e impacto na coordenação de isolamento do referido sistema (1.000 kV c.a.).

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam apresentar a configuração da linha usada no cálculo das sobretensões e nos estudos de coordenação do isolamento?

As fases estão dispostas na torre escolhida com disposição triangular e as alturas dos condutores e para-raios utilizados para os estudos são: Fases externas (Fases B e C): 47,9 m (flecha de 22 m) Fase interna (Fase A): 65,9 m (flecha de 22 m) A distância horizontal entre as fases A e B e A e C é de 17 m. Cabos para-raios: 76,6 m (flecha de 17,6 m). Estão localizados na torre 10,7 metros acima da fase mais alta e a 12,2 metros na horizontal (do centro da torre) e tem flecha de 17 metros. O condutor escolhido foi o 8x795 MCM (Tern), cujos subcondutores estão dispostos em forma octogonal, com uma distância de 45,7 cm no feixe. Na referência 6 do artigo em questão é possível encontrar maiores detalhes da linha.

B) 2) Verifica-se pela Tabela 1 que o maior valor da sobretensão fase-terra devida à energização do trecho B-C ocorre na fase C, no fim da LT (terminal C), tendo um valor de 3,278 pu. No entanto, nas conclusões é dito que os valores de sobretensão encontrados nesta manobra são inferiores a 2,0 pu. Os autores poderiam explicar esta discrepância?

Lamentavelmente houve um deslocamento ao copiar a Tabela 1 para o artigo. A Tabela correta pode ser vista abaixo. O valor de 3,278 pu refere-se a tensão Fase A-Fase B em pu de 1.000?2/3, no fim da linha.

Fase	Sobretensão	Desvio	Padrão	Máxima	Sobretensão	(pu)	Sobretensão	Fase	? Terra	Média	(pu)	(pu)
Início da LT	Fase A	1,3786	0,0393	1,4533	Fase B	1,2857	0,0489					

1,4273 Fase C 1,2805 0,0415 1,3957 Fase A ? Fase B 2,3240 0,0744 2,5750 Fase B ? Fase C 2,1741 0,0850 2,4195 Fase A ? Fase C 2,3064 0,0827 2,5339 25 % da LT Fase A 1,5001 0,0596 1,6550 Fase B 1,4197 0,0794 1,6351 Fase C 1,3813 0,0419 1,5358 Fase A ? Fase B 2,5850 0,0932 2,8542 Fase B ? Fase C 2,3433 0,1175 2,7067 Fase A ? Fase C 2,4858 0,0810 2,6875 Meio da LT Fase A 1,5920 0,0808 1,7551 Fase B 1,4947 0,1105 1,7891 Fase C 1,4531 0,0452 1,6064 Fase A ? Fase B 2,7522 0,1244 2,9948 Fase B ? Fase C 2,4539 0,1409 2,9151 Fase A ? Fase C 2,6057 0,0732 2,8700 75 % da LT Fase A 1,6316 0,0970 1,8305 Fase B 1,5167 0,1276 1,8416 Fase C 1,4872 0,0555 1,7042 Fase A ? Fase B 2,8334 0,1526 3,1747 Fase B ? Fase C 2,4782 0,1581 3,0326 Fase A ? Fase C 2,6579 0,0817 2,9276 Fim da LT Fase A 1,6231 0,1069 1,8456 Fase B 1,5070 0,1421 1,8579 Fase C 1,4759 0,0581 1,7100 Fase A ? Fase B 2,8260 0,1667 3,2780 Fase B ? Fase C 2,4634 0,1719 3,1131 Fase A ? Fase C 2,6435 0,0976 2,9956

C) 3) Os autores poderiam fornecer mais detalhes de como foram escolhidas as suportabilidades e as distâncias de isolamento para sobretensões de manobra e de frequência fundamental?

A metodologia de escolha está descrita no item 3 do artigo que de forma resumida é: Item a) poluição leve para projetos das cadeias e sobretensão a frequência industrial de 1200 kV. item b) para o pior caso de sobretensão de energização foi feito um processo iterativo com os seguintes passos: - Fixar um valor de CFO fase-terra e fase-fase -Calcular o risco em 5 pontos de linha nas três fases individualmente e soma-las (Tabela 2) -Colocar em um gráfico em função de distância o risco em cada um dos cinco pontos (Figura 2) -Dividir a linha em 10 seções; obter do gráfico o risco de torre respectivo. (Tabela 3) - Calcular o risco para toda a linha (soma das seções) -Comparar com o critério ANEEL (10-3 fase-terra e 10-4 fase-fase) e determinar o CFO desejado. Com o CFO desejado calcula-se as distâncias de isolamento em função do tipo de gap (Tabela 4). Verificar o risco para o religamento e o atendimento ao critério (10-3 fase-terra e 10-4 fase-fase). As demais sobretensões não impactam o dimensionamento do isolamento.

### 3.14 - DESEMPENHO DE LINHA DE ALTA TENSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: ESTUDO DE CASO DE UMA LINHA DE 69 KV DA ENERGISA MINAS GERAIS

SCHROEDER, M.A.D.O.(1);MOURA, R.A.R.D.(1);TAVARES, A.C.(2);BOYA, M.A.M.(2);NETO, M.V.C.(2);OLIVEIRA, M.R.D.(2); - UFSJ(1);ENERGISA(2);

A Energisa tem enfrentado problemas com desempenho de suas linhas frente às descargas atmosféricas. Para o levantamento das causas e possíveis soluções foi estabelecido um projeto entre o GATCI/DEPEL/UFESJ e a Energisa. A equipe decidiu concentrar os estudos na linha de 69 kV (LDAT CTZ2 x MRE1). Foram definidas as seguintes atividades: i) levantamento das taxas de desempenho e ii) propostas de melhoria das taxas de desempenho mediante tratamento dos aterramentos. É apresentado ao longo do artigo um estudo de caso das avaliações das taxas de desempenho. Estas avaliações são realizadas segundo duas abordagens: i) determinística - programa Flash/IEEE e ii) estocástica, segundo o ACAE-DLT, desenvolvido pela equipe do GATCI/DEPEL/UFESJ. Os resultados são comparados com dados históricos. Os cálculos decorrentes do ACAE-DLT são muito próximos dos dados históricos, diferentemente dos resultados do Flash, o que ilustra a importância de ferramentas computacionais de caráter probabilístico-estatístico, em detrimento de abordagem determinística. São apresentadas reduções das resistências de pé de torre para melhoria do desempenho. Verifica-se significativa diminuição das taxas de desempenho após implementação das propostas citadas.

Perguntas e respostas:

A) 1) Como foram modeladas a linha de transmissão, as torres e a injeção da corrente de descarga? Considerou-se a queda do raio tanto nas torres quanto no meio dos vãos?

Os cálculos de transitórios eletromagnéticos (e respectivas sobretensões atmosféricas), como destacado ao longo do artigo, são realizados com o auxílio do Alternative Transients Program (ATP). Este pacote computacional possui uma série de modelagens de elementos aéreos, tanto em regime transitório, quanto em permanente, tais como: cabos fase e cabos para-raios, linhas de transmissão, fontes de tensão e de corrente etc. A linha de transmissão foi representada com base no modelo de J. Marti [A]. Este modelo é amplamente utilizado na representação de linhas de transmissão para estudos de transitórios eletromagnéticos associados às descargas atmosféricas. O modelo de J. Marti considera a variação dos parâmetros longitudinais da linha com a frequência. A consideração do efeito do solo em tais parâmetros foi incluída via formulação de J. R. Carson. As torres de transmissão foram modeladas como linhas de transmissão sem perdas por uma impedância de surto fornecida por formulações sugeridas no guia do IEEE [B] (com base no formato geométrico das torres). A injeção da corrente de descarga atmosférica foi realizada mediante a conexão de uma fonte de corrente do tipo triangular, com parâmetros característicos (pico de corrente e tempos de frente e de cauda) fornecidos de forma aleatória (mediante o método de Monte Carlo) com base em estatísticas de medições realizadas no Morro do Cachimbo e em San Salvatore. A injeção de corrente foi considerada somente no topo da torre. Esta é a situação mais crítica para as cadeias de isoladores, principalmente pelo fato da linha de transmissão sob estudo possuir vão médio relativamente reduzido (270 m) e por ser de nível de tensão também reduzido (69 kV). [A] J. R. Marti, "Accurate modelling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulation," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 1, pp. 1477-1517, January 1982. [B] IEEE Std. 1243. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines. Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society, 1997.

B) 2) Os autores poderiam explicar quais parâmetros foram variados na análise de sensibilidade das taxas de desempenho em função do perfil do terreno?

A distinção entre perfis dos terrenos plano, ondulado e montanhoso foi realizada tendo como base as orientações da referência [B], citada acima. Nesta perspectiva, para um perfil plano considera-se a altura média dos cabos igual à diferença entre a altura no topo da torre e 2/3 da flecha. Para ondulado, a altura é igual à do cabo para-raios (na torre). Finalmente, para montanhoso a referida altura é igual ao dobro da do cabo para-raios. Estes foram os parâmetros considerados quando da análise de sensibilidade referida na pergunta.

C) 3) A resistência de pé de torre foi alterada para toda a linha ou só em algum trecho específico? Foram analisadas outras soluções para melhorar as taxas de desempenho da linha?

Os modelos estatísticos da resistência de pé de torre, como frisado no artigo, são representados mediante 2 (duas) distribuições estatísticas, quais sejam: normal e log-normal. Desta forma, basta informar somente dois parâmetros: média e desvio padrão. Neste sentido foram considerados somente os valores específicos de resistências fornecidos pela empresa, sendo que tais valores representam os aterramentos da linha de transmissão em toda a sua extensão (mais uma vez seguindo as recomendações da referência [B]).

### 3.15 - REPRESENTAÇÃO DE MODELOS RACIONAIS NO PROGRAMA ATP

VARRICCHIO, S.L.(1); - CEPEL(1);

A utilização de modelos racionais (MRs), isto é, modelos baseados nos polos dominantes e resíduos associados de funções de transferência, calculados de forma exata ou aproximada, têm sido amplamente utilizados em diversas áreas da engenharia, como modelagem de linhas de transmissão, de transformadores de potência, construção de equivalentes eletromagnéticos, etc. Atualmente, existem diversos métodos para a obtenção destes MRs, sendo o método denominado Vector Fitting o mais utilizado. No entanto, existem poucos trabalhos descrevendo como construir equivalentes eletromagnéticos, a partir destes MRs, em programas de simulação de transitórios eletromagnéticos, em especial, o ATP (Alternative Transient Program). Neste trabalho é dada uma aconchilhada a este tema, pela proposição de um método para a implementação de MRs de FTs SISO (single-input single-output) no ATP.

Perguntas e respostas:

A) 1) A ideia é muito interessante, mas a aplicação prática parece extremamente complexa e ainda há diversas limitações para sua aplicação. Na opinião dos autores como vencer estas limitações e os desafios associados?

Estudos de transitórios eletromagnéticos em redes elétricas são, em geral, concentrados em uma área específica (área de estudos ou de interesse), onde se deseja analisar algum tipo de fenômeno elétrico. Desta forma, torna-se conveniente dividir a rede elétrica em dois subsistemas. O primeiro subsistema é formado pela área de interesse, que deve ser modelada em detalhes, o segundo é composto pelo resto do sistema (área externa) que pode ser representado por um equivalente. Para a aplicação do método proposto, é necessária a obtenção do modelo racional de baixa ordem da rede externa, que é composto pelos polos dominantes e resíduos associados da função de transferência (FT) apropriada (impedância ou admitância própria da barra de conexão entre as redes). Este modelo racional pode ser eficientemente obtido utilizando o método ?Vector Fitting?. O autor já testou este método em redes externas de grandes dimensões contendo muitas linhas de transmissão modeladas por parâmetros distribuídos. Portanto, a obtenção do modelo racional da rede externa não é um problema. O IT mostrou que a construção de equivalentes de redes no programa ATP, a partir destes modelos racionais, utilizando a linguagem MODELS, é perfeitamente possível. Até a data de submissão do IT, a metodologia apresentada se limitava a equivalentes mono-barras (quando as áreas de interesse e externa são conectadas por apenas uma barra). Atualmente, o autor está coorientando uma dissertação de mestrado onde resultados, considerando equivalentes multi-barras (quando as áreas de interesse e externa são conectadas por várias barras), já foram obtidos com sucesso. Desta forma, não existem limitações teóricas para a generalização do método proposto no IT. O desafio, agora, é considerar a sequência zero do sistema e realizar uma implementação computacional eficiente do método generalizado (incluído o método ?Vector Fitting?) no código do programa HarmZs do CEPEL (para estudo do comportamento harmônico e análise modal de redes elétricas), tornando-o, também, uma ferramenta complementar importante para estudos de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência de grande porte. Ou seja, pretende-se que o programa HarmZs gere o arquivo contendo o equivalente da rede externa para ser utilizado diretamente no programa ATP.

B) 2) O autor poderia apresentar um exemplo de aplicação com a rede equivalentada contendo parâmetros distribuídos, por exemplo, com uma linha de transmissão?

Para o método proposto, não importa se a rede externa contém elementos de parâmetros distribuídos ou apenas concentrados, o que importa é que o modelo racional da rede externa tenha alta fidelidade (precisão). O método ?Vector Fitting?, mundialmente utilizado, pode produzir modelos racionais com alta fidelidade de redes externas de grandes dimensões contendo muitas linhas de transmissão modeladas por parâmetros distribuídos. Portanto, redes externas contendo elementos de parâmetros distribuídos não representam uma limitação para o método proposto.

C) 3) Onde se dá a limitação para equivalentar redes com mais de uma barra de conexão na rede retida? Seria na subrotina models?

Como já citado na resposta à pergunta 01, já foram obtidos resultados para equivalentes multi-barras considerando um pequeno número de barras. Testes computacionais deverão ser realizados para se determinar qual é o número máximo de barras de conexão entre as redes de interesse e externa permitido na linguagem MODELS. Outros testes deverão determinar, também, qual o número máximo de polos e resíduos associados para cada FT, bem como o comportamento do tempo de



CPU à medida que estas grandezas são aumentadas.

### 3.16 - DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA COM A PRESENÇA DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA

SALGE, G.(1);JUNIOR, P.S.P.(1);DAVI, M.J.B.B.(1);PEREIRA, P.S.(2);LOURENÇO, G.E.(2); - CONPROVE IND(1);CONPROVE ENG(2);

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma nova ferramenta computacional concebida e desenvolvida no Brasil, composta por diversos recursos que permitem a modelagem de sistemas de potência complexos e posterior análise de transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos. Neste contexto, serão apresentados os diversos modelos e recursos destinados à simulação de sistemas elétricos e por fim, será realizado um estudo de caso com geradores eólicos, objetivando demonstrar o potencial da ferramenta proposta.

Perguntas e respostas:

A) 1) No caso de geração eólica são disponibilizados para uso no programa os modelos genéricos de 1ª e 2ª geração desenvolvidos pelo NERC?

Todos os modelos genéricos de 1ª e 2ª geração de controladores de ângulo das pás, resistência rotórica e conversores, além dos vários modelos de turbinas desenvolvidos pelo NERC já estão disponíveis no software. Em se tratando dos componentes de potência para simulação das unidades eólicas, o software contempla máquinas síncronas com imã permanente ou excitação externa e máquinas assíncronas com rotor aberto ou bobinado, com a riqueza de detalhes demandada por um software de simulação de transitórios eletromagnéticos, além de pontes inversoras e retificadoras, todos possibilitando interface direta aos controladores supracitados visando facilitar assim a montagem dos estudos de casos pelo usuário. Ressalta-se ainda que são disponibilizados pelo fabricante exemplos de estudos típicos que utilizam tais componentes objetivando auxiliar os usuários em suas primeiras simulações.

B) 2) Poderiam os autores fazerem uma comparação das vantagens oferecidas pelo programa PS Simul em comparação aos programas tradicionais ATP, PSCAD e EMTVRV?

Algumas das vantagens do PS Simul serão apresentadas sem compará-las diretamente com os programas mencionados, já que os mesmos já possuem entre eles diversas vantagens e desvantagens. De uma maneira geral, podemos destacar alguns recursos e características únicas do PS Simul, tais como, possibilidade de acesso aos enrolamentos dos transformadores para realização de curto entre espiras, modelagem de transformadores com TAP variável possibilitando o acesso aos TAP's, máquinas com erros menores de convergência em relação ao aumento do passo de integração, linhas de transmissão com acessos diretos para aplicação de faltas ou descargas atmosféricas sem a necessidade de divisão manual das mesmas, criação de uma lista de constantes de fácil manuseio para alteração de múltiplos parâmetros em um só lugar e possibilidade de configuração de vários casos de estudos sem a necessidade de confecção de um código pelo usuário um script, importação de DLL's criadas pelo usuário além de permitir o desenvolvimento de blocos internamente utilizando-se programação nas linguagens através de C# ou VB, conexão direta com o hardware permitindo a geração das formas de onda obtidas da simulação, incluindo a utilização de um método iterativo inteligente que permite ao usuário a simulação de sistemas em malha fechada (testes antes realizados apenas em sistemas de tempo real), gerações automáticas de relatórios completos das simulações realizadas, suporte técnico à disposição dos usuários para dúvidas e sugestões por e-mail/telefone presente no Brasil, manual completo em português contendo teoria e funcionalidade de todos os mais de 400 componentes da biblioteca, exportação e importação de arquivos COMTRADE/CSV, entre outras.

C) 3) Como se dá a disponibilização do programa o programa PS Simul? Qual o preço para aquisição do mesmo?

O aplicativo está disponível em três versões: - Free: gratuita, sem restrição de tempo de utilização. - Educacional: utilizada em instituições de ensino. - Full: versão comercial. As versões Free e Educacional possuem algumas limitações tais como número de nós de controle e potência e número de blocos por projeto. As únicas exclusividades da versão Full em termos de acesso a recursos pelo usuário estão na conexão do software com o hardware para realização da geração dos sinais simulados e também ao recurso de criação de blocos e subsistemas. O valor do investimento para aquisição da versão completa varia de acordo com o número de licenças requeridas.

### 3.17 - REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE PARQUES EÓLICOS PARA ESTUDOS DINÂMICOS: COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO

MOTTA, R.T.(1); - UNICAMP(1);

Neste trabalho, são comparados modelos computacionais de primeira e segunda geração de parques eólicos para estudos dinâmicos desenvolvidos pelos autores a partir de referências encontradas na literatura. São apresentadas as características gerais, aplicações e limitações de tais modelos, bem como uma descrição dos elementos que os compõem. Além disso, são realizados estudos de estabilidade angular transitória com o objetivo de comparar o desempenho dinâmico de Sistemas de Energia Elétrica empregando tais modelos. Busca-se contribuir positivamente com a difusão de modelos simplificados de parques eólicos, essenciais para operação e planejamento confiáveis de Sistemas de Energia Elétrica.

Perguntas e respostas:

A) 1) Solicita-se os seguintes esclarecimentos em relação ao artigo: ? No final do item 3 é comentado que o parque eólico absorve potência reativa adicional com o objetivo de limitar o afundamento de tensão provocado pela falta. Não seria o contrário, injeta? ? Apresentar o gráfico da figura 14 para todo período de simulação. ? O controle de potência ativa seria similar ao recurso de inércia sintética? ? No texto é mencionado que a figura 14 apresenta o comportamento da potência reativa. Entendemos que é da potência ativa.

R: Obrigado aos revisores por apontarem importantes equívocos existentes no texto. Como o revisor fez diferentes questionamentos em uma única questão, esta será respondida por partes como segue: Parte 1: Sim, o termo correto seria injeção adicional de potência reativa ao invés de absorção. É necessário realizar a alteração no texto. Parte 2. Não foram desenvolvidos modelos de regulação inercial (inércia sintética) para esta versão do modelo genérico de segunda geração [1], embora a comunidade reconheça a necessidade de tal implementação. Existem modelos propostos por fabricantes de equipamentos (como por exemplo o WindInertia), que não foram implementados neste trabalho, uma vez que não fazem parte do modelo genérico. Parte 3. O gráfico da Figura 14 é um gráfico de potência ativa e foi apresentado para todo o período de simulação (10s). A menção feita no texto à potência reativa e tempo de simulação de 5s consistem em problemas de digitação e devem ser corrigidos. REFERÊNCIA [1] Pourbeik, P. et al. Generic Dynamic Models for Modeling Wind Power Plants and other Renewable Technologies in Large Scale Power System Studies, pg. 3 IEEE Transactions on Energy Conversion 2016. Este artigo foi aceito para publicação em uma futura edição do jornal, mas não foi completamente editado.

B) 2) Como os geradores tipo 4 tem sido recentemente mais utilizados, os autores fizeram alguma análise de aplicação dos modelos genéricos para este tipo de gerador? Como foi o resultado?

Existem modelos genéricos para geradores tipo 4 que estão sendo implementados no trabalho de mestrado do autor. Devido ao desacoplamento total entre gerador e rede, os modelos genéricos para geradores tipo 4 não incluem dinâmicas associadas ao controle de torque e controle de ângulo de passo. Com isso, oscilações de potência e tensão causadas por eventuais distúrbios são amortecidas mais rapidamente. As dinâmicas não inclusas no modelo estão associadas ao desvio de velocidade das máquinas (grandeza mecânica) e desvio de potência ativa.

C) 3) Os autores pretendem fazer uma comparação de aplicação no SIN comparando a resposta dos modelos genéricos com os modelos disponibilizados por fabricantes de aerogeradores?

O modelo de primeira geração implementado pelos autores foi validado através da comparação com resultados fornecidos pelo fabricante para uma rede radial do tipo Gerador-Barra Infinita. Atualmente, está em desenvolvimento um estudo de aplicação dos modelos genéricos em redes equivalentes do SIN.

### 3.18 - MODELAGEM DA LT SUBTERRÂNEA 230 KV BRASÍLIA SUL - BRASÍLIA GERAL PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS COM O ATP

OLIVEIRA, V.R.D.(1);AMERICO, M.(1);GONÇALVES, M.M.(1); - JORDÃO ENGENHARIA(1);

A entrada em operação comercial da Linha de Transmissão Subterrânea (LTS) 230 kV Brasília Sul ? Brasília Geral estava prevista para 2016. Há uma preocupação, justificada por experiências anteriores, de problemas de ressonância entre LTS e a rede elétrica, que traz a necessidade de desenvolver estudos de manobra com o objetivo de identificar ressonâncias que possam levar a falhas no isolamento desta LTS. Este trabalho foi dividido em duas etapas distintas: (1) Modelagem da LTS e (2) Simulações para identificar ressonâncias. Na primeira etapa, a LTS foi modelada com as suas características físicas e geométricas em todos os detalhes e definida a melhor representação no ATP. O mesmo procedimento foi feito no PSCAD, visando a validação do modelo da Linha. Uma vez definida a modelagem da LTS, o trabalho passou para a segunda fase, quando foi calculada a resposta em frequência da rede equivalente sem e com a LTS, além da resposta em frequência somente da LTS, este para identificar a frequência característica da linha no ATP e no PSCAD. Em seguida, foram realizadas diversas manobras no sistema para verificar possíveis ressonâncias, a saber: Chaveamento de elementos capacitivos; energização das linhas; manobras de religamento e rejeição de carga. Em todas essas manobras foi analisado o espectro harmônico da onda de tensão nos terminais da LTS após os eventos, visando a identificação de possíveis ressonâncias. Este artigo tem por objetivo apresentar o processo de modelagem da LTS e os estudos de manobras de elementos da rede elétrica que visam identificar respostas transitórias que entrem em ressonância com a LTS 230 kV Brasília Sul ? Brasília Geral.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam mostrar mais detalhes da modelagem da LTS usada? Por favor, comentem sobre o cabo reserva qual a utilização prevista para o mesmo?

A especificação do cabo utilizado na LTS está apresentada a seguir: ? Cabo Isolado XLPE, 230 kV, 1x1200 mm<sup>2</sup> ? Condutor de Alumínio ASTM 11350 H19 ? Capa Metálica de Alumínio Corrugado O modelo do ATP usado para representar a LTS foi o Single Core Cable, considerando apenas o condutor de alumínio e a capa metálica de alumínio corrugado. O Cabo reserva é utilizado para a substituição de um dos cabos das fases, quando há alguma falha em um deles.

B) 2) Qual o motivo da escolha pelo modelo de Bergeron de 5 kHz, uma vez que as manobras realizadas geram frequências bem mais elevadas? Os autores poderiam apresentar resultados para as demais manobras além do chaveamento de capacitores?

A escolha do modelo Bergeron de 5kHz foi motivada pela semelhança da resposta em frequência entre as simulações feitas em 3 programas distintos (Proprietário, ATP e PSCAD). Foram realizadas outras manobras para avaliar possíveis ressonâncias. Sendo assim, foram realizadas as seguintes simulações: ? Energização das Linhas no entorno da LTS, com o objetivo de avaliar as possíveis ressonâncias provocadas por essas manobras nas Subestações vizinhas. ? Religamento tripolar da LTS; ? Rejeição de carga da LTS; ? Estudo de descarga atmosférica, considerando uma descarga indireta na Barra Brasília Sul 230 kV, com frente de onda 0,5  $\mu$ s e tempo de cauda de 50  $\mu$ s.

C) 3) Qual a razão da escolha do ATP para realizar os estudos ao invés do PSCAD que serviu somente para validar o modelo de cabo simulado?

A escolha do ATP foi motivada pela solicitação do ONS, que pede que as simulações dos fenômenos eletromagnéticos sejam realizadas no ATP.

### 3.19 - ESTRATÉGIA PARA O USO EFICIENTE DO MÉTODO DE AJUSTE VETORIAL PARA A OBTENÇÃO DE MODELOS REDUZIDOS DE REDES ELÉTRICAS

CAMPELLO, T.M.(1);VARRICCHIO, S.L.(1);COSTA, C.D.O.(1);TARANTO, G.N.(2); - CEPEL(1);COPPE/UFRJ(2);

O Ajuste Vetorial ou Vector Fitting (VF) é atualmente o método mais popular para a aproximação de respostas em frequência de funções de transferência (FTs) de interesse por frações parciais (funções racionais) de baixa ordem. Observa-se que estas funções racionais podem ser utilizadas eficientemente para a construção de equivalentes dinâmicos de redes elétricas para estudos de transitórios eletromagnéticos. Neste artigo é proposta uma estratégia para a utilização mais eficiente e automatizada do VF, diminuindo seu esforço computacional (menor tempo de CPU) e eliminando a dependência que o algoritmo tem com o usuário para a definição de alguns parâmetros de entrada.

Perguntas e respostas:

A) 1) Poderiam os autores fazerem uma breve descrição do programa utilizado no método do ajuste vetorial. É um programa genérico ou específico? Qual o fornecedor?

O método do Ajuste Vetorial, o Vector Fitting, é um método que seu algoritmo é distribuído gratuitamente para MatLab no site do SINTEF (<http://www.sintef.no/projectweb/vecfit/>), porém ele também está presente em diversos outros softwares comerciais utilizados especificamente para estudos elétricos. Ele também foi implementado recentemente no programa HarmZs do CEPEL (para estudo do comportamento harmônico e análise modal de redes elétricas) e está em fase de testes, para ser disponibilizado para os usuários no futuro. Um dos objetivos dessa implementação no HarmZs é que ele seja utilizado para gerar Equivalentes de Rede Dinâmicos, assim auxiliando em Estudos de Transitórios Eletromagnéticos.

B) 2) Os resultados encontrados podem ser extrapolados em termos de eficiência e complexidade para uma situação cuja rede equivalente possui mais de 2 conexões com a rede representada?

Sim, os métodos apresentados foram testados em outros sistemas, maiores e menores, onde foi visto performances computacionais bastante semelhantes aos resultados demonstrados no artigo, guardadas as devidas proporções de cada sistema. Isso se deve ao fato que o Vector Fitting permite que possam ser ajustadas quantas funções forem necessárias simultaneamente, enquanto os métodos propostos no artigo se utilizam de ferramentas matemáticas para obterem informações características de todas as curvas que são ajustadas e transformadas em uma única curva. Por exemplo, como é visto na Figura 2, onde as 3 curvas de erros são sintetizadas? em uma única curva vermelha através da Norma de Frobenius, ou como é visto na Equação (3.5), onde os erros de cada ponto de todas as funções produzem um único valor referente ao Erro Médio Quadrático.

C) 3) Todas as dificuldades apontadas no item 1 com relação aos parâmetros a serem fornecidos pelo usuário são contornadas com a metodologia proposta?

Sim, utilizando a metodologia proposta o usuário só precisa informar as funções que ele tem interesse em ajustar e a tolerância de erro que ele gostaria que o Modelo Reduzido tenha e, a partir disso, já são definidos automaticamente os polos iniciais que serão fornecidos para o Vector Fitting e, com isso, a ordem do Modelo Reduzido necessária para que ele obtenha a tolerância pedida pelo usuário. Desta forma, não é necessário que o usuário forneça a ordem, que pode não ser grande o suficiente para a tolerância exigida, ou os polos iniciais que podem levar a uma não convergência do método ou uma demora maior para que ele convirja, caso os polos não sejam adequados.

### 3.20 - AVALIAÇÃO DO USO DA INÉRCIA SINTÉTICA DE PARQUES EÓLICOS PARA MITIGAR EVENTOS DE GRANDE VARIAÇÕES DE FREQUÊNCIA NO SISTEMA

VALENÇA, R.B.(1);RAMOS, A.J.P.(1);FILHO, J.S.V.D.N.(1);SENA, D.J.G.D.(1); - ANDESA(1);

Em cenários energéticos desfavoráveis, é imperioso que a região Nordeste tenha que importar grandes quantitativos de potência da região Norte e Sudeste do Brasil. Para isto é necessário reduzir drasticamente a geração de origem hidráulica da bacia do Rio São Francisco, ao mesmo tempo em que a geração térmica se limita as térmicas em inflexibilidade. Nestas condições, os recursos de controle de frequência na região Nordeste estão muito reduzidos tornando o sistema elétrico vulnerável a atuações de sistemas especiais de proteção como o Esquema Regional de Alívio de Carga (ERAC) em situações de perda de interligações. Neste trabalho, serão analisados os efeitos da inserção do recurso da Inércia Sintética disponível em aerogeradores do tipo DFIG instalados na região nordeste em diversas situações vento e potência disponível, frente a grandes perturbações no SIN. As análises levarão em consideração diferentes situações de vento e restrições de geração, relacionadas a problemas na transmissão, impostas a parques eólicos conectados próximos a interligação Sudeste/Nordeste. Desta forma, o trabalho tenta identificar em quais situações o recurso de inércia sintética dos aerogeradores poderão melhor contribuir para a estabilidade do sistema em situações de grandes perturbações.

Perguntas e respostas:

A) 1) Favor verificar se os números de unidades apontados na tabela 3 estão corretos. Não seriam 40, 20, 40, 20?

Os valores estavam incorretos. A Tabela foi corrigida na nova versão entregue a comissão.

B) 2) As curvas de potência ativa apresentadas nos cenários B e D apresentam um comportamento de queda acentuada durante a recuperação da frequência. A razão seria porque a potência gerada estava próxima ao limite disponível. Este tempo de recuperação da potência aos níveis disponíveis é resultante do requisito exigido nos procedimentos de rede?

A queda acentuada de potência fornecida pelos aerogeradores nos cenários sem ?reserva? (C e D) é resultado da ação de controle que limita o tempo de atuação de Inércia Sintética atendendo aos requisitos de rede. Nesta situação seria possível um maior tempo de atuação do controle, mas ocasionaria uma maior diminuição na velocidade do aerogerador e consequentemente um maior tempo de recuperação da energia cinética também. No cenário D, onde o aerogerador estaria operando em sua capacidade máxima, a atuação do controle de inércia sintética estaria gerando potência acima dos nominais. Desta forma, tempos maiores de atuação também deverão observar os limites elétricos dos aerogeradores.

C) 3) Os autores poderiam fornecer uma curva do perfil de frequência relativo ao caso mostrado na figura 10?

A Figura foi adicionada a nova versão entregue a comissão.

### 3.21 - AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO HÍBRIDA EM MÚLTIPLAS ESCALAS DE TEMPO

NETO, F.C.(1);LIMA, A.C.S.D.(2); - FURNAS(1);COPPE / UFRJ(2);

O artigo apresenta uma formulação para representação de linhas de transmissão em simulações de transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos capaz de manter todas as características principais como ser um elemento distribuído e variante na frequência. Baseado no conceito de fasores dinâmicos, o modelo explora a estrutura da matriz de admitância nodal de forma a não apresentar as restrições inerentes ao tempo de propagação da linha. A formulação proposta inclui a dependência dos parâmetros com a frequência, necessária para avaliação dos fenômenos eletromagnéticos, e permite extrair o envoltória da forma de onda das variáveis do sistema. Dado que o modelo não apresenta diferenças topológicas para diferentes passos de integração, a transição para a forma fasorial, adotada nas análises de estabilidade eletromecânica, é direta.

Perguntas e respostas:

A) 1) Para o aproveitamento hidroelétrico dos rios da região amazônica, prevê-se a inserção de vários elos de corrente contínua no sistema elétrico brasileiro. Neste contexto, estudos envolvendo o desempenho dinâmico (dynamic performance) destes elos e de suas interações com a rede elétrica exigirá modelos que contemplem as dinâmicas da rede, os controles associado aos elos e das máquinas síncronas. Estudos deste tipo seriam uma das principais utilizações da metodologia proposta?

Os estudos de desempenho dinâmico não seriam a principal finalidade mas uma área de aplicação. A metodologia é flexível a ponto de se ajustar ao fenômeno observado, sem restrição quanto à constante de tempo do circuito. Apesar de não ter sido demonstrada a alteração no passo de integração no IT, a metodologia apresentada pode ser empregada em simulações envolvendo transitórios eletromagnéticos, com passo de integração da ordem de microssegundos, com posterior mudança do passo de integração da ordem de milissegundos, conforme o fenômeno a ser analisado.

B) 2) No item 2.2 do IT os autores afirmam que a metodologia proposta permite a utilização de passos de integração maiores do que os comumente utilizados em análises de transitórios eletromagnéticos. No entanto, nenhuma análise comparativa sobre este tema é apresentada. Os autores poderiam quantificar, mesmo que aproximadamente, quanto maior poderia ser o passo de integração da metodologia proposta em relação à convencional (implementada em programas do tipo EMTP)?

À época da elaboração do IT, os autores não possuíam os resultados correspondentes à modificação do passo de integração. No entanto, dado que o conceito de deslocamento em frequência corresponde à simulação utilizado fasores, não há restrição para estabelecimento do novo passo de integração. A formulação proposta é facilmente ajustada para descrever tanto fenômenos eletromagnéticos como eletromecânicos.

C) 3) Uma componente fundamental da metodologia proposta é a utilização do Método de Ajuste Vetorial, ou Vector Fitting. Para a utilização deste método, é necessário

se conhecer as respostas em frequência nos terminais do equipamento a ser modelado. Isto implica em que o equipamento a ser modelado seja linear. Portanto, como autores pretendem utilizar a metodologia proposta para modelar ?convertidores de eletrônica de potência?, como afirmado na conclusão do trabalho?

A metodologia proposta é baseada na utilização de fasores dinâmicos. O ajuste vetorial é empregado apenas para representação de componentes cujos parâmetros são dependentes da frequência. Para a modelagem de conversores de eletrônica de potência, o que ainda não foi proposto a nível internacional, pretende-se explorar a representação destes componentes para simulação multiescala através de funções de chaveamento.

### 3.22 - ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS USANDO SINCRIFASORES

ZIMMER, V.(1);DECKER, I.C.(1);SILVA, A.S.E.(1); - UFSC(1);

Neste informe técnico são descritos os desenvolvimentos de uma metodologia para a estimação de parâmetros de modelos de máquinas síncronas usando sincrofases. A metodologia é formada pela proposição de um modelo de estimação que considera a condição inicial das variáveis internas da máquina como parâmetros a serem estimados. A estimação pode ser realizada em duas etapas pseudoacopladas ou totalmente acoplada. Explora-se o método de mínimos quadrados não-linear por meio de funções de sensibilidade da trajetória híbridas e de otimização restrita. Os resultados demonstram que a metodologia é capaz de estimar parâmetros tanto em ambiente de simulação como em dados reais.

Perguntas e respostas:

A) 1) A maioria dos curtos-circuitos são do tipo fase-terra. Até que ponto os desbalanços que normalmente são desprezados em modelos de estabilidade transitória podem prejudicar a metodologia proposta? Seria necessária a utilização de modelos trifásicos?

Na metodologia proposta inicialmente as medidas fasoriais são obtidas em valores trifásicos de tensões e correntes, essas medidas são convertidas para variáveis fasoriais em p.u. de sequência positiva. O fasor de corrente é utilizado no cálculo de potência ativa e reativa, já o fasor de tensão, é utilizado no cálculo de potências e para a injeção no modelo da máquina por meio de simulação dinâmica híbrida, onde é convertido para coordenadas retangulares e transformado em coordenadas dq, utilizando a estimativa inicial do ângulo. Dessa forma, as perturbações são representadas na simulação por meio das variações dos fasores de sequência positiva das tensões e correntes, e o processo de estimação visa minimizar as discrepâncias existentes entre os valores das potências medidas e simuladas, não necessitando o uso de modelos trifásicos. Além disso, a metodologia tem se mostrado robusta na validação de modelos de máquinas com perturbações de pequeno impacto, como rejeições de carga, que podem ser consideradas equilibradas.

B) 2) Potencialmente o trabalho poderia ser utilizado para depuração de bancos de dados dinâmicos utilizados nos estudos envolvendo simulações de estabilidade transitória? De forma geral, os maiores erros estão associados aos sistemas de controle, por sua complexidade inerente e por diversos motivos (erro de informação, erro de implementação de modelos, parâmetros digitados errados, etc.). Um dos problemas mais encontrados seriam relacionados a erros topológicos dos controladores e não apenas parâmetros. Os autores vislumbram a possibilidade de aplicação da metodologia para esta aplicação de identificação de controladores com problemas tanto nos parâmetros como com erros topológicos? Quais as possíveis dificuldades encontradas e será fruto de pesquisa futura dos autores?

Sim, o trabalho pode ser utilizado para depuração de bancos de dados dinâmicos de máquinas síncronas. Para incluir a validação de controladores, deve-se empregar PMUs específicas para geradores, que permitem a obtenção de medidas sincronizadas de diversos equipamentos, (AVR, GOV e PSS) com isso, a validação dos controladores pode ser realizada individualmente. Atualmente a metodologia visa a identificação de parâmetros de modelos conhecidos, mas vislumbra-se a utilização em modelos padronizados de controladores, de modo a representar modelos complexos por modelos reduzidos aproximados.

C) 3) O artigo considera um modelo simplificado de gerador síncrono de pólos salientes, desprezando o acoplamento que há entre as equações subtransitórias e transitórias, além de desprezar a saturação, que influencia significativamente na resposta dinâmica do gerador síncrono. Até que ponto os autores acham que um modelo de gerador mais exato seria importante e necessário para uma estimação de parâmetros mais exata?

O modelo utilizado contempla a representação de fenômenos subtransitórios, transitórios e de regime, contemplando inclusive a resistência da armadura e a saliência subtransitória da máquina síncrona. Com isso, leva-se em consideração grande parte dos fenômenos dinâmicos associados a máquinas síncronas. Entretanto, na evolução dessa pesquisa pretende-se explorar o uso de outros modelos de máquinas síncronas e a representação da saturação magnética.

### 3.23 - ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE PLANTAS PV-EÓLICAS ATRAVÉS DE MODELOS DINÂMICOS

FILHO, V.G.T.(1);BARBOSA, J.A.(1);LEÃO, R.P.S.(1);PARENTE, D.P.(1);SAMPAIO, R.F.(1); - UFC(1);

Este trabalho apresenta a implementação de um modelo genérico que representa plantas solar fotovoltaicas e eólicas de conversor pleno em PSCAD? e em MATLAB Simulink®. Modelo genérico refere-se a modelos dinâmicos não-proprietários que podem ser usados para representar plantas de geração variável, independente do fabricante, e permitem representar a dinâmica dos sistemas elétricos durante curtos-circuitos na rede elétrica, afundamentos de tensão, distúrbios de frequência e oscilações eletromecânicas. O sistema proposto é um modelo genérico de usina eólica e de planta PV com 100MW, conectado ao sistema elétrico de potência. Os modelos oferecem maior simplificação mantendo adequada representatividade das fontes de geração de potência variável, constituindo-se um avanço para avaliação da interação de fontes interligadas por conversores com os sistemas elétricos de potência.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os modelos genéricos utilizados na modelagem são de 1ª ou 2ª geração?

Ambos os modelos implementados, eólico e solar, têm como base os modelos genéricos desenvolvidos pelo Western Electricity Coordinating Council (WECC) de 2014. O WECC denomina, no estudo de 2014, os modelos de turbina eólica como de segunda geração, sendo estes uma versão atualizada e otimizada dos modelos de primeira geração desenvolvidos em 2009. O modelo para plantas de geração solar fotovoltaica, apesar de apresentar pequenas atualizações comparado ao primeiro estudo de 2012, não apresenta a denominação de geração solar fotovoltaica pelo WECC, ficando implícita como sendo de primeira geração.

B) 2) Qual seria a dificuldade de se implantar no modelo a capacidade de suportabilidade da planta de geração à faltas, já que este comportamento pode afetar o desempenho dinâmico do sistema?

Para uma análise de suportabilidade à falta da planta de geração é necessário considerar fatores que são característicos de determinados equipamentos (p.ex. tipo de controle usado pelo gerador de indução de dupla alimentação, crowbar e/ou chopper). O tipo e características dos inversores (variando de diversos fabricantes), a severidade da falta e a magnitude da tensão remanescente nos terminais do inversor após o distúrbio vão definir se uma planta fotovoltaica será desconectada ou não. Em plantas eólicas existem diversos equipamentos, como, por exemplo, os conversores de potência e os dispositivos para estabilização mecânica das pás, que juntos vão definir esta característica de suportabilidade a faltas. Desta forma, não é possível para o modelo desenvolvido capturar o nível de complexidade do comportamento de um hardware real usando apenas análise de sequência positiva. Segundo o WECC: ?Esta limitação é aceitável pois estudos de sistemas focam nas características da recuperação dinâmica em vez das condições do sistema durante a falta?.

C) 3) Favor esclarecer melhor a condição analisada de curto circuito trifásico, em termos de duração e afundamento de tensão (redução na tensão para 0,98 pu e afundamento de tensão para 0,29 pu ambos de 1 s)?.

Durante a simulação duas faltas trifásicas foram analisadas: a primeira em t=7s da simulação, reduzindo a tensão na barra B5 para 0,92 p.u., e a segunda em t=14s da simulação, provocando um afundamento de tensão mais severo na barra B5 para 0,29 p.u. Ambas faltas têm a mesma duração de 1s (se estendendo do segundo 7 ao 8 da simulação e do segundo 14 ao 15 da simulação, respectivamente). A ideia é analisar o comportamento dinâmico das plantas de geração em diferentes cenários, explicitando os mecanismos de desconexão e reconexão dos modelos implementados.

### 3.24 - FERRAMENTA COMPUTACIONAL EM FDTD PARA CÁLCULO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS FRENTE ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

MELO, V.A.S.E.(1);SILVEIRA, F.H.(1);FILHO, S.V.(1); - UFMG(1);

Este trabalho apresenta resultados referentes à ferramenta computacional baseada no método das diferenças finitas (FDTD), desenvolvida para investigações relativas ao desempenho de sistemas elétricos frente às descargas atmosféricas. A aplicação do método requer somente o conhecimento da geometria do sistema sob investigação e as constantes elétricas do meio, como resistividade e permissividade, sem que sejam adotadas simplificações para a representação dos elementos do sistema, como adotado em ferramentas do tipo ATP/EMTP. Os resultados de elevação de potencial do solo e sobretensão em isoladores de LT mostram excelente concordância com dados reais de medição e calculados por modelagem eletromagnética avançada.

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam apresentar com mais detalhes como é feita a representação do solo e a simulação da aplicação das ondas de tensão e corrente? Poderiam descrever o uso de cabos inferiores aterrados e o que é a abordagem reversa?

O solo é representado como um meio homogêneo com espessura e valor de resistividade definidos pelo usuário. No estágio atual de desenvolvimento os parâmetros do solo são considerados invariantes com a frequência. As ondas de tensão e corrente aplicadas são introduzidas no espaço de simulação por meio de valores específicos de campos elétricos, os quais são forçados nas células em que as fontes estão posicionadas de acordo com as equações pertinentes. Os condutores nos sistemas são representados por meio de fios finos, conforme descrito no item 2 do artigo (14), e para o caso dos eletrodos de aterramento (condutores imersos em meios com perdas) além da permeabilidade e da permissividade corrigidas, ainda há a correção da condutividade ao redor dos condutores, de modo a representar o raio adequado, como apresentado em (16).

B) 2) Qual o método utilizado no cálculo da suportabilidade das cadeias de isoladores de modo a verificar a ocorrência ou não de um backflashover?

Os desenvolvimentos do artigo não contemplaram o cálculo da suportabilidade das cadeias de isoladores para verificação da ocorrência de backflashover. No entanto,

métodos como a curva v-t, método da integração (DE) e modelo de progressão do leader (LPM) podem ser utilizados para proceder a tal cálculo.

C) 3) No fluxograma da Figura 1(b) são listadas equações que, no entanto, não estão referenciadas no trabalho. Os autores poderiam mostrar mais detalhes da formulação matemática utilizada, incluindo as fórmulas acima citadas?

O espaço para resposta desse REP não permite a inclusão de equações. No entanto, tratam-se das equações de rotacional de Maxwell que podem ser consultadas em: (12) Taflov, A., e SUSAN, C. H., Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood, MA, 2000.

### 3.25 - ESTIMATIVA DO BUFFER EM LINHAS DE TRANSMISSÃO A PARTIR DE UM MODELO DE ALTURA DO CENTRO DE CARGA NEGATIVA EM TEMPESTADES

HEILMANN, A.(1);LEITE, E.A.(2); - UFPR(1);SIMEPAR(2);

A previsão probabilística da incidência direta ou indireta de descargas atmosféricas em linhas de transmissão, tem se mostrado um importante campo de interesse, sobretudo para as concessionárias de energia elétrica. Para relacionar esta probabilidade com a estrutura física de uma linha de transmissão, é necessário definir um buffer, que corresponde um invólucro espacial e longitudinal, ao longo de um segmento da rede e que é usado em modelos de previsão da ocorrência de raios próximos, direta ou indiretamente nas linhas. Assumimos algumas condições de atratividade da linha como uma presença de um centro de cargas negativas numa tempestade. Considerando a maior ocorrência de descargas tipo nuvem-solo, originárias de um centro de cargas negativas, exploramos algumas características eletrostáticas de tempestades que são importantes para deduzir o buffer numa linha de transmissão. Um modelo que estima o centro de cargas negativo de uma nuvem de tempestade foi proposto. Usamos o modelo de raio de atração para estimar o tamanho do buffer e listamos sua dimensão como função da altura do centro de cargas da nuvem, do pico de corrente elétrica médio das descargas atmosféricas da região e da permissividade elétrica. Este modelo proporciona melhorias aos sistemas de previsão probabilístico de incidência de raios em linhas de transmissão.

Perguntas e respostas:

A) 1) Qual a validade da hipótese de que a descarga percorre um caminho perpendicular ao solo? Qual o impacto desta hipótese no cálculo do buffer?

O modelo perpendicular de deslocamento da descarga é compatível com o modelo de carga imagem usado na teoria eletromagnética. As tempestades apresentam muitas descargas dentro da nuvem, e sua direção de propagação pode ser aproximadamente perpendicular ao solo. O cálculo do Buffer da linha pode ser melhor estimado ao considerar uma propagação perpendicular.

B) 2) Por favor, definir o que se entende por pico de corrente médio usado na equação 5.

Corresponde ao valor do pico de corrente estimado em relação ao número de sensores que monitoram e estimam este parâmetro. Em uma tempestade com muitos raios, cada descarga recebe uma estimativa do pico de corrente, com base na distância até o sensor de monitoramento e com base na classificação da descarga, se nuvem-solo ou intranuvem. Porém, para uma determinada região, os valores de pico de corrente oscilam em torno de uma média anual, valor este considerado na equação 5.

C) 3) Há na literatura diversas expressões para estimar o raio de atração. O autor uma, onde não há influência do pico de corrente da descarga. Quem ficaria a formulação e os resultados se fosse utilizada outra expressão, por exemplo  $R = 910,65$  ?

Para estabelecer um resultado por uma nova expressão de raio de atração, seria necessário refazer a simulação considerando a nova equação, no entanto, embora existam várias equações que representam o raio de atração, por diversos autores, este trabalho considerou a expressão do modelo de A. J. Eriksson por ser uma das primeiras expressões para este parâmetro e por considerar as descargas descendentes por um canal ortogonal à superfície.

### 3.26 - ANÁLISE DE RESSONÂNCIA ENVOLVENDO LINHAS PARALELAS E REATORES - CASO DO TRONCO 500 KV ADRIANÓPOLIS - CACHOEIRA PAULISTA

LUZ, G.S.(1);ARENZ, D.S.(1); - FURNAS(1);

Esse trabalho tem como objetivo descrever o fenômeno de ressonância que pode ocorrer entre linhas paralelas compensadas por reator, como o caso das linhas que envolvem o tronco em 500 kV entre as subestações de Cachoeira Paulista e Adrianópolis. Através de simulações de transitórios eletromagnéticos, tanto no domínio da frequência como no domínio do tempo, bem como se utilizando de registros oscilográficos, este trabalho busca demonstrar as características dessa ressonância e propor medidas que poderão ser empregadas para a solução do problema. O trabalho apresenta também simulações considerando a futura configuração de chegada do bipolo 2 da transmissão CCAT de Belo Monte na subestação Terminal Rio, cuja instalação irá seccionar tanto a LT 500 kV Adrianópolis ? Resende quanto a LT 500 kV Adrianópolis ? Cachoeira Paulista, de acordo com o Anexo Técnico do Lote Único do Leilão de julho de 2015. Com isso, aparecerá um novo trecho deste circuito que ficará reduzido a 101 km na linha Resende ? Terminal Rio cujo comprimento determinará nova condição de ressonância. Esta condição foi também analisada e seus resultados serão apresentados.

Perguntas e respostas:

A) 1) Qual a necessidade de realizar parte do estudo em um circuito reduzido (figura 5), uma vez que o circuito mais completo já havia sido modelado (figura 3)? Qual o critério para determinar quais trechos seriam representados por JMarti ao invés de Bergeron?

O circuito reduzido permitiu identificar com maior clareza quais os elementos essenciais que produzem o fenômeno em análise. Na Figura 5 é possível perceber que o mesmo fenômeno é reproduzido seja com simples componentes RLC, seja com uma modelagem mais detalhada tanto com o modelo Bergeron, com menor amortecimento, como com o modelo J.Marti em que o amortecimento é maior. Apenas os trechos compostos de até 3 circuitos paralelos tiveram o cálculo da rotina J.Marti viabilizados pelo programa ATP. Os demais trechos só foram viáveis calcular considerando-se o modelo Bergeron.

B) 2) A solução considerando a substituição do reator de 136 Mvar por um de 112,4 Mvar pode não atender à condição para o religamento automático. Os autores poderiam explicar o motivo?

As simulações mostraram que tensões induzidas em torno 0,6 pu ainda seriam verificadas no circuito aberto. Embora tais tensões não sejam danosas a equipamentos, a condição de linha morta não seria atendida, isto é, o sistema de proteção interpretaria que a linha está energizada e não habilitaria a manobra de religamento. Para não haver impedimento do religamento automático haveria duas soluções: comandar a abertura do disjuntor do reator no caso de atuação de proteção da linha ou alterar o ajuste de identificação de barra morta.

C) 3) Quando da implantação do bipolo 2 foi analisada a solução envolvendo somente mudanças no sistema de proteção das linhas? Das alternativas propostas, já se decidiu qual será a adotada, ou ainda se analisa outra possível solução?

Não foram analisadas soluções envolvendo somente mudanças no sistema de proteção das linhas, uma vez que a causa do problema apresentado está associado a tensões induzidas sobre uma linha com seus terminais abertos. Ainda não foi decidida qual solução será adotada.

### 3.27 - REDUÇÃO DA TENSÃO INDUZIDA POR DESCARGA ATMOSFÉRICA NA CADEIA DE ISOLADORES DE TORRE DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA MELHORIA DO ATERRAMENTO.

NASCIMENTO, J.A.S.D.(1);OLIVEIRA, R.M.E.S.D.(2);FUJIYOSHI, D.M.(2);OLIVEIRA, M.J.D.S.(1); - ELN(1);UFPA(2);

Através de trabalhos de campo, verificou-se uma redução significativa na taxa de desligamento em um trecho crítico de uma linha de transmissão por meio da inclusão do conjunto falso-estai e cabo-contrapeso no sistema de aterramento. Realizaram-se simulações numéricas através do método FDTD para analisar a influência eletrodinâmica desta modificação sobre o comportamento transitório de uma torre de linha de transmissão submetida a uma descarga atmosférica. Através destas simulações, quantificou-se a redução da sobretensão nos isoladores, que foi amortizada a valores abaixo da tensão de ruptura do isolamento. Ainda, foram estudadas diversas configurações geométricas para melhorar a eficiência do aterramento.

Perguntas e respostas:

A) 1) Qual o critério usado para a divisão em trechos da torre de transmissão? Como cada um dos ramos foi modelado no programa?

B) 2) Como foi simulado o aterramento da torre? Como a inclusão do falso-estai alterou esta representação?

C) 3) Normalmente, pela norma de coordenação do isolamento, o valor do NBI para cadeia de isoladores, uma isolação auto-recuperante, indica uma probabilidade de 10% de ocorrência de descarga. A análise da efetividade das soluções propostas não deveria ter sido feita para um valor de NBI com probabilidade de descarga próxima de zero?

### 3.28 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LPM (LEADER PROGRESSION MODEL)

MIGUEL, P.M.(1);CORREIA, D.D.M.(2);CARVALHO, A.C.C.D.(2); - TgDelta(1);ONS(2);

O desempenho de linhas de transmissão (LTs) frente a impactos de descargas atmosféricas é atualmente efetuado com o uso do modelo eletrogeométrico (EGM na sigla em inglês ? Electrogeometric Model), desenvolvido para LTs de tensão até 230 kV. Devido a sua funcionalidade, mesmo com o aumento dos níveis de tensão e da altura das torres, continuou-se a utilizar o EGM, sendo previsível uma discrepância entre os índices de desligamento por descargas atmosféricas reais e estimados. Para tensões mais elevadas, foi proposta uma metodologia denominada de modelo da progressão do leader (LPM na sigla em inglês ? Leader Progression Model), que leva em conta fenômenos modelados de acordo com a física das descargas, como a ionização na superfície dos condutores ocasionada pela intensidade do campo elétrico. Dessa forma, a altura da linha de transmissão e o arranjo de condutores é parte intrínseca do método. Assim como o EGM sofreu várias alterações da

formulação da distância de salto, o LPM apresenta ainda diferentes vertentes, todas baseadas essencialmente nos seguintes fundamentos: ? Leader descendente ? A carga elétrica acumulada numa nuvem dá origem a um canal ionizado que, dentro de determinadas condições, forma um canal estável que se propaga em direção ao solo; ? Transferência de carga da nuvem para o leader descendente; ? Campo elétrico produzido pelo leader descendente ? A carga elétrica contida no canal ionizado, que forma o leader descendente, produz uma distribuição de campo elétrico no espaço entre a nuvem e o solo; ? Leader ascendente ? A intensidade de campo elétrico na superfície dos condutores propicia a emissão e propagação de leaders ascendentes a partir das torres e dos cabos (condutores de fase e para-raios); ? Propagação dos leaders ascendentes ? Conforme o leader descendente se propaga em direção ao solo, os diversos leaders ascendentes são iniciados e se propagam em direção ao leader descendente; ? Disrupção ? A disrupção ocorre entre o leader descendente e um dos leaders ascendentes e a descarga se completa para o condutor ou eletrodo a partir do qual o leader ascendente foi iniciado; O artigo apresenta aplicação a LTs 525 e 765 kV CA e 600 e 800 kV CC. Uma análise específica referente às falhas de blindagem é apresentada, sendo tabulados os impactos separados por cada condutor. Finalmente, com o objetivo final de avaliar se o uso de metodologia consagrada até hoje como o EGM traz resultados satisfatórios quando aplicada a LTs nesse nível de tensão ou se se faz necessária a introdução de metodologias mais complexas como o LPM, é feita uma comparação entre os índices de desligamento estimados por ambas as metodologias.

Perguntas e respostas:

A) 1. Os autores apresentam no informe taxas de desligamentos para as linhas EATCA e UATCC obtidas pelo LPMODEL mais de 50 vezes superiores às obtidas pelo EGM. Posto que em ambos os casos há LTs em operação no mundo, foi verificado se nestas LTs ocorrem realmente tais centenas de desligamentos por quilômetro por ano, posto que este subsídio é fundamental para corroborar a metodologia do LPM, alvo do informe?

Os desligamentos ocasionados por descargas atmosféricas podem ocorrer por: \* Backflashover ? para esta situação, o EGM apresenta estimativas de desligamento mais elevadas do que o LPM; \* Falha de blindagem \*\* Linha desenergizada ? Os resultados do EGM e LPM se equivalem; \*\* Linha energizada ? Nesta situação o LPM apresenta um número consideravelmente mais elevado de desligamentos para as linhas de AC 765 kV e CC 600 e 800 kV, devido ao efeito da tensão nos condutores de fase. Quanto à experiência com linhas de EATCA e UATCC em operação, apesar de as linhas às quais o autor teve acesso estarem em região com densidade de 2 descargas/km2/ano, o aumento no número de desligamentos por falha de blindagem foi confirmado. Observou-se inclusive a ocorrência de falha de blindagem com corrente de 45 kA, que não seria admissível com as premissas usadas no EGM [CIGRE WG C4.26 "Evaluation of Lightning Shielding Methods for EHV and UHV DC and AC Transmission Lines" capítulo 4 - pg. 127 - foto 4.4.1]. A possibilidade de ocorrência de falhas de blindagem em descargas de elevada amplitude foi também uma das observações obtidas no presente artigo.

B) 2. Em análises do desempenho de LTs frente à incidência de descargas atmosféricas, os autores relatam que uma execução do programa LPMODEL pode levar várias horas. Assim, caso se precise fazer várias execuções do cálculo para ajuste do posicionamento dos cabos para-raios, dimensionamento do comprimento da cadeia de isoladores, e estimativa de valores adequados das impedâncias de aterramento das torres e de onda das estruturas poder-se-ia levar dias de cálculo. Qual a sugestão dos autores nesta situação?

O presente estudo analisou diversas metodologias de LPM, algumas se mostram demoradas e outras são mais rápidas. O procedimento de análise visava comparar as metodologias, cobrindo de forma estatística a variação dos principais parâmetros característicos de uma descarga atmosférica. A metodologia formulada por Rizk, se mostra suficientemente rápida para utilização com os computadores disponíveis atualmente. Cada execução de caso, mesmo com a variação aleatória da amplitude, do tempo de frente e do ponto de impacto, pode ser analisada em menos de 15 minutos por caso. Assim, o reposicionamento de condutores e as alterações no comprimento da cadeia de isoladores pode ser concluído em menos de um único dia de trabalho. Convém ressaltar que o presente trabalho visava comparar as metodologias LPM entre si e essas com o EGM. Uma vez determinadas as metodologias LPM mais adequadas, o programa em questão será melhorado com a remoção das rotinas referentes às metodologias LPM que forem abandonadas. O programa elaborado atualmente já considera os impactos na linha e calcula as sobretensões ao longo da linha e na chegada das subestações. O efeito dos para-raios, se presentes, é calculado. Ou seja, o procedimento usado nesta avaliação já inclui a coordenação de isolamento dos vãos de entrada da linha. Em uma utilização comercial, essa parte pode ser removida e permitir que o tempo de execução seja reduzido ainda mais. Porém, como autor, a minha opinião é que após o uso desse programa não se cogitará em remover esses itens, pelo contrário, serão solicitadas novas funcionalidades.

C) 3. Em LTs com tensão inferiores, as descargas atmosféricas que atingem o solo próximo, as descargas indiretas, podem levar a sobretensões importantes nas LTs. Os autores já implementaram o LPM também para esta situação e verificaram as respectivas variações nos resultados com relação àqueles obtidos com o EGM?

Linhas com tensão de 69 kV, que são mais afetadas por descargas nas proximidades, não foram analisadas neste estudo. O procedimento usado neste trabalho envolveu simulações em linhas de 230 kV e acima. Foram avaliados estatisticamente os efeitos da variação dos seguintes parâmetros: \* Amplitude da corrente de descarga; \* Tempo de frente da onda de corrente de descarga - para descargas nas vizinhanças de uma LT, a taxa de variação da corrente em relação ao tempo afeta fortemente a tensão induzida nos condutores; \* Distância entre o ponto de impacto no solo sem a presença da linha e o eixo da LT. Com relação aos impactos no solo, o LPM permite detectar um efeito da linha que provoca o deslocamento do ponto de impacto no solo, aproximando-o da linha. No entanto, para tensões até 525 kV esse efeito de aproximação do ponto de impacto não se mostra relevante de forma a alterar a representatividade da distância de salto na estimativa de impactos de descargas atmosféricas na linha. Tanto assim que o EGM apresenta estimativas de falhas de blindagem mais alta do que o LPM, ou seja, a distância de salto foi ajustada ao longo das diversas revisões do EGM para compensar esse efeito.

### 3.29 - SOLUÇÕES DE COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO EM SUBESTAÇÕES COMPACTAS INTEGRADAS - SECI.

ASSIS, S.D.C.(1);COSTA, P.R.F.C.(1);TEIXEIRA, A.M.N.(1);COUTINHO, R.M.(2);JUNIOR, M.A.D.B.(2); - Cemig D(1);Aut noma(2);

A aplicação da Subestação Compacta Integrada (SECI) de alta confiabilidade, utilizando equipamentos isolados a gás SF6 e equipamentos padronizados pela concessionária, é uma estratégia da CEMIG DISTRIBUIÇÃO para expansão do seu sistema, utilizando mais subestações e menores comprimentos de alimentadores. Em função da concepção eletromecânica e das características dos locais de atendimento/instalação (como limitação de linhas conectadas na SE) problemas relacionados à coordenação de isolamento do transformador foram detectados na etapa de projeto. Este trabalho apresenta estudo de coordenação de isolamento realizado para as SECIs, detalhes da modelagem e alternativas para controle das sobretensões sobre o transformador de potência.

Perguntas e respostas:

A) 1) Qual foi a solução efetivamente adotada na prática?

Após os estudos realizados, optamos por considerar o arranjo da Alternativa 1, que considera os para-raios instalados no eixo do pórtico, após o TP e sem a presença dos para-raios da linha (instalados na torre).

B) 2) Uma vez que a alternativa 1, troca da posição física entre o para-raios e o TP, mostrou-se adequada, qual seria a vantagem na instalação do para-raios de linha?

A concepção da alternativa 2 foi realizada antes da verificação efetiva da possibilidade de instalar fisicamente o para-raios no eixo do pórtico da SE. A presença do para-raios na linha possibilita uma maior margem de proteção para o transformador, sendo uma alternativa para SECIs com maiores dimensões elétricas, em função da definição dos equipamentos a serem instalados, em especial o módulo híbrido de manobra. Outro ganho não quantificado neste trabalho, é a melhora do desempenho da linha frente a descarga atmosférica na primeira torre da SE.

C) 3) Houve alguma razão específica para se considerar no caso base o para-raios mais afastado do transformador ao invés da condição da alternativa 1?

O caso base foi definido considerando o padrão de instalação dos equipamentos no sistema CEMIG, onde o primeiro equipamento na entrada da SE é o para-raios.

### 3.30 - DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: CONTRIBUIÇÕES DO GRUPO BRASILEIRO DO CIGRE GT4-BR01

SILVEIRA, F.H.(1);VISACRO, S.(1); - UFMG(1);

Este trabalho reporta as contribuições brasileiras ao CIGRE WG C4.23, de revisão da brochura TB 63 (Desempenho de linhas de transmissão frente às descargas atmosféricas), que têm foco no impacto dos avanços científicos nas últimas décadas no conhecimento do tema. Dentre as contribuições, destacam-se representação da forma de onda de corrente, novas curvas de distribuição de parâmetros, notadamente do valor de pico de corrente de descarga, a reposta impulsiva e representação do aterramento de torres, além da modelagem de outros componentes da linha. A aplicação de elaborado modelo computacional no cálculo das sobretensões atmosféricas constitui ponto diferencial da contribuição.

Perguntas e respostas:

A) 1) Qual a diferença encontrada para o desempenho das linhas ao se considerar os dados de corrente e tempo de frente do Morro do Cachimbo ao invés dos parâmetros do Monte San Salvatore?

Os dados medianos de corrente e tempo de frente de primeira descarga medidos na estação do Morro do Cachimbo são de aproximadamente 45 kA e 4,8 us (31,1% e 20,8% superiores aos mesmos parâmetros medidos em Monte San Salvatore). Em outros artigos publicados pelos autores, indica-se que a aplicação dos parâmetros do Morro do Cachimbo pode resultar em picos de sobretensão aproximadamente 40% superiores. Em termos do número de desligamentos da LT, estima-se taxas de desligamentos da LT da ordem de 42% superiores com base na distribuição acumulada dos picos do Morro do Cachimbo.

B) 2) Os autores poderiam explicar o motivo pelo qual as sobretensões resultantes na cadeia de isoladores são mais elevadas ao se considerar as formas de onda de corrente Cigré e Duplo Pico do que adotando-se a forma de onda triangular, mesmo tendo esta última uma taxa de crescimento mais rápida?

As três formas de onda de corrente citadas apresentam o mesmo valor de tempo de frente Td30 e pico de corrente. No entanto, as formas de onda de corrente Cigré e Duplo Pico possuem frente de onda com formato côncavo, com a contínua variação da derivada da corrente em sua frente. Tais características são responsáveis por gerar maiores valores de pico de sobretensão na cadeia de isoladores.

C) 3) Entre as contribuições complementares em análise pelo grupo está a proposta de adoção de uma abordagem reversa a ser aplicada no projeto de aterramentos

elétricos das torres. Os autores poderiam dar mais detalhes sobre esta proposta?

A proposta considera o valor de corrente crítica que leva à ruptura do isolamento da linha e a probabilidade associada à ocorrência de tal corrente com base em uma distribuição acumulada dos picos de corrente de primeira descarga para se obter o comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento necessário para garantir que a linha tenha uma determinada taxa de desligamentos para cada condição de resistividade do solo. (15) VISACRO, S., SILVEIRA, F. H., ?Lightning performance of transmission lines: Methodology to design grounding electrodes to ensure an expected outage rate,? IEEE Trans. Power Del., vol. 30, no. 1, pp. 237?245, Feb. 2015.

### 3.31 - COMPARAÇÃO DE TRANSIENTES DE MANOBRA VFT'S OBTIDOS ATRAVÉS DE MODELAGEM COM MEDIÇÕES EM CAMPO EM SIG'S

JÚNIOR, J.A.T.(1);SANS, M.R.(1);RAVAGLIO, M.A.(1);MARTINS, C.L.D.L.(1);SCHOLZ, R.C.(1);MIGUEL, P.M.(2);FONTANELLA, C.A.D.A.(3);MORAES, G.F.(3);CASTIONI, J.C.O.(3); - LACTEC(1);TgDelta(2);COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO SA(3);

Em uma subestação isolada a gás (GIS) existem manobras que podem gerar transientes de frequências muito elevadas (very fast transientes - VFT), geralmente de dezenas ou mesmo centenas de MHz. Além disso, o fenômeno pode envolver amplitudes acima do NBI, sendo classificadas, portanto, como sobretensões (very fast transients overvoltages- VFTO), possuindo um padrão de re-ignição, com dezenas de recorrências. A existência de transientes muito rápidos é fato comum em ambientes pressurizados, tal como ocorre em GIS. A amplitude e o padrão de re-ignição destes transientes são importantes do ponto de vista da interação com outros equipamentos, uma vez que podem estressar os mesmos além de sua suportabilidade. A manobra mais crítica é a seccionadora, especialmente se a mesma for lenta, podendo gerar sobretensões de até 2 p.u., com dezenas de re-ignições, já a manobra de disjuntor gera VFT's de baixa amplitude e com poucas re-ignições. A caracterização das VFT's é geralmente realizada através de medições ?in-loco? nas instalações, através de sensores instalados em flanges existentes e/ou por simulações digitais feitas por aplicativos como o Alternative Transients Program (ATP). A medição em campo é limitada aos pontos em que existam flanges, mas reflete a realidade do fenômeno neste ponto. Por outro lado, a simulação digital permite ?medir? o transiente em qualquer ponto, mas é uma medida virtual, que pode ser validada, como por exemplo, nos pontos onde existam sensores. O artigo trata de ajustes na simulação digital para que a mesma possa refletir, pelo menos, em ordem de grandezas, as medições reais realizadas em campo. Para tanto, vamos apresentar um estudo de caso, para uma manobra típica utilizada frequentemente nas concessionárias geradoras de energia

Perguntas e respostas:

A) 1) Os autores poderiam apresentar qual a rede efetivamente simulada e a modelagem usada em cada trecho?

Redes efetivamente simuladas: GIS UHGBM e GIS UHGJR 550 kV COPEL G&T Modelos empregados foram: Barramento: LCC Enclosing Pipe model Pi Transformador:BC TRAN, Híbrido e Caixa Preta PR: Não linear cf. característica do fabricante Linha: Barramento infinito SIN Gerador: BC Tran conforme característica do Transformador Dados mais completos estão apresentados em artigo não aprovado pela comissão do SNPTEE e podem ser disponibilizados sob consulta.

B) 2) Com as simulações e medições realizadas até o momento pode-se concluir algo a respeito das falhas nos transformadores?

As medições indicam que realmente existem VFTs nas duas instalações testadas (GBM e GJR). Os valores são de no máximo 1.5 pu, pouco aquém do valor 2 pu reportado na literaturam, mas coerentes. Observou-se que o valor obtido em simulação na BT do transformador elevador é bastante preocupante (6.5pu). Assim, existe uma forte suspeita que transferência de surtos VFT para a BT é o principal suspeito de causa de falha do trafo. Isto confirmaria o que se encontrou na análise post-mortem dos mesmos, por ocasião das falhas em GBM (3 transformadores).

C) 3) Os autores poderiam explicar a diferença significativa entre a relação medida (Tabela da Figura 11) e a relação calculada do sistema de medição (apresentado na Figura 8(b)) utilizado nas manobras de chave seccionadora? De que forma foi medido o pulso de entrada (Vin) na Figura 11 na condição VFT?

As relações da tabela são da célula de teste, que devido a mesma ser construtivamente diferente da SE original, apresentaram uma relação diferente. O pulso VFT tem amplitude de 2000Vpk e risetime de 800ps. Utilizou-se: 1) High-voltage Pulse Attenuator, Umáx.: 10kV, BW: DC to 7 GHz, Rise-time: 50ps, 50 Ohms, 20:1 em série com: 2) High-voltage Pulse Attenuator, Umáx.: 2.5kV, BW: DC to 30 GHz, Rise-time: 10ps, 50 Ohms, 20:1.

### 3.32 - RECOMENDAÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL REFERENTE À EXPOSIÇÃO HUMANA AOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA

SALAS, C.S.S.(1);COSTA, A.A.(1);ROJAS, P.E.M.(1);MARTINS, R.(2);NETO, J.H.(2); - LACTEC(1);COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO SA(2);

Segundo a resolução normativa ANEEL 616 de 2014, a verificação do atendimento às restrições básicas é o último recurso que as concessionárias têm, no caso que as instalações que elas operam não atendam os Níveis de Referência. No setor elétrico brasileiro é reconhecido que o processo de verificação das restrições básicas carece de uma base metodológica de aplicação prática, e que, o conhecimento de suas restrições e considerações não é do entendimento pleno dos envolvidos. Este trabalho reporta alguns dos resultados obtidos num projeto de P&D ANEEL, realizado pela COPEL e o LACTEC, destinado a implantar o processo de verificação do atendimento às restrições básicas. Primeiramente, são mostradas as aproximações que são feitas para o cálculo de campos elétricos e magnéticos de baixa frequência. A seguir, são mostradas as suposições por trás do tratamento macro da interação entre campos elétricos e magnéticos de baixa frequência e os seres humanos. Finalmente, é mostrado um exemplo dos resultados obtíveis com a ferramenta de simulação numérica Sim4Life. O resultado prático deste trabalho é, além de desmistificar este tipo de cálculos, desenvolver recomendações para a interpretação posterior dos resultados dos mencionados cálculos.

Perguntas e respostas:

A) 1) Solicita-se que os autores façam uma exposição mais ampla do projeto, como indicado no início do item 4.2. Qual a meta final do projeto?

O projeto de P&D tem por objetivo entender os mecanismos de interação dos campos elétrico e magnético, produzidos em instalações de transmissão de energia elétrica (baixa frequência), e os seres humanos. A partir desse entendimento, o projeto pretende o desenvolvimento de uma metodologia multicritério para análise de alternativas de atendimento à resolução ANEEL RN 398 de 2010 e sua posterior atualização com as resoluções ANEEL RN 413, em 2010, e RN 616, em 2014. Os resultados a serem obtidos poderão servir para ajudar a esclarecer os requisitos da normativa nacional, no âmbito de sua aplicação.

B) 2) Qual é o nível de referência do caso apresentado em [15] no local do ser humano? Poderiam os autores comentar sobre os resultados para o campo magnético?

A - Os níveis de referência utilizados na Referência [15] são 5 kV/m, para o campo elétrico, e 100 ?T, para o campo magnético. B - Sim, na apresentação do Informe Técnico serão apresentados também os resultados para o campo magnético.

C) 3) Conforme informado no artigo, como os modelos disponíveis para o cálculo interno ao corpo humano ainda estão em fase de desenvolvimento e seus resultados são muito dependentes de dados de condutividade, como garantir o atendimento às restrições básicas, sem deixar exposição perigosa ao ser humano?

As quantidades internas ao corpo humano, em termos das quais são dadas as Restrições Básicas, são praticamente impossíveis de medir e, também, são difíceis de calcular. Portanto, garantir o atendimento às restrições básicas é um processo indireto. É preciso também enfatizar que, garantir o atendimento às restrições básicas, por definição, implica somente garantir que efeitos biológicos devidamente estabelecidos não ocorrerão. Por outro lado, quando se especificam Níveis de Referência, cujo atendimento garante o atendimento às restrições básicas, está se supondo implicitamente que os fatores de segurança, utilizados no cálculo desses níveis de referência, são suficientemente conservativos para cobrir as incertezas no valor dos parâmetros utilizados.

### 4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

Dada a relevância de alguns temas que foram levantados nos ITs do GDS, propõe-se para debate alguns dos seguintes tópicos:

- ii Fontes renováveis alternativas de energia (geração eólica e solar) estão em pleno desenvolvimento no mundo e no Brasil. O número de geradores eólicos que estão em processo de leilão e conexão na rede elétrica tem crescido substancialmente nos últimos anos. A entrada da fonte solar, baseada em painéis fotovoltaicos, certamente impulsionará as redes inteligentes, particularmente no nível da distribuição, mesmo considerando que por enquanto a mesma está concentrada no sistema de transmissão. Sugere-se como tópicos para debate: o impacto deste tipo de geração intermitente, particularmente conectadas através de conversores de potência, na qualidade de energia e no desempenho do sistema; a discussão sobre a modelagem adequada destas fontes para a análise do sistema em regime permanente, dinâmico e transitório, bem como para análise de qualidade de energia.
- ii O desenvolvimento de novos recursos para análise de sistemas de potência no âmbito dos regimes permanente, dinâmico e transitório oferece a possibilidade de representar redes mais extensas, com modelagem mais detalhada, com tempo de simulação reduzido, trazendo ganhos significativos ao engenheiro de análise. Neste âmbito propõem-se os seguintes tópicos para debate: novos recursos computacionais na área de simulação e sistemas elétricos de potência; novos modelos de rede e seus componentes com os respectivos benefícios para a análise; modelagem da carga; metodologias para desenvolvimentos de equivalentes de rede apropriados para análise dinâmica e transitória; experiência com o uso de simuladores digitais em tempo real, aprimoramento da modelagem de instalações do sistema e de parâmetros para análise de transitórios eletromagnéticos e descargas

atmosféricas.

- ü É de grande importância para o aprimoramento dos recursos de análise a validação dos modelos geralmente utilizados em simulações, com experimentos de campo e acompanhamento do desempenho operativo das instalações. Neste sentido, sugere-se os seguintes tópicos para debate: a necessidade de comprovação e a melhor forma de conduzi-la referente aos modelos de simulação e parâmetros geralmente utilizados nas análises de sistema através de ensaios e experimentos em campo; o desenvolvimento e divulgação do acompanhamento operativos das instalações sob os vários aspectos, incluindo transitórios eletromagnéticos, qualidade de energia; a obtenção de dados históricos de desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, no sentido de calibrar metodologias de avaliação deste fenômeno etc.