

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico

Dados do Projeto e do Proponente

Título do Projeto:	OPERAÇÃO MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA
Coordenador do Projeto:	Antonio José Alves Simões Costa
Instituição Executora:	UFSC – Departamento de Engenharia Elétrica
Edital:	Edital CT-Energ/CNPq 17/2005

1. Objetivos e metas

1.1 Apresentação do Projeto

O projeto proposto agrega seis subprojetos que tratam de temas de pesquisa de interesse atual do País nas áreas de Operação, Monitoração e Controle de Sistemas Elétricos de Potência. Os subprojetos são:

1. Novas Metodologias e Aplicações de Fluxo de Potência Ótimo (FPO);
2. Operação de Sistemas de Distribuição;
3. Diagnóstico de Falhas em Equipamento de Subestação de Transmissão;
4. Aplicações de Medição Fasorial Sincronizada a Sistemas de Potência;
5. Operação de Sistemas Hidrotérmicos;
6. Conservação de Energia em Larga Escala como Base na Reserva Girante.

Estes subprojetos enquadram-se nas linhas de pesquisa do Grupo de Sistemas de Potência da UFSC, sendo a equipe executora formada por professores e pesquisadores do Grupo. As atividades do projeto serão desenvolvidas no Laboratório de Sistemas de Potência do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC.

1.2 Subprojeto 1: Novas Metodologias e Aplicações de Fluxo de Potência Ótimo

Este subprojeto tem como objetivo propor melhorias na metodologia do fluxo de Potência Ótimo (FPO), bem como o desenvolvimento de aplicações do FPO à solução de novos problemas da operação de sistemas de potência que surgem em decorrência de novas condições impostas pela reestruturação do setor elétrico e pelo aumento da demanda. Os tópicos de pesquisa a serem desenvolvidos são descritos abaixo.

1.2.1 Soluções Ajustadas do Fluxo de Potência Ótimo

O objetivo deste projeto é estender a metodologia de solução do problema de Fluxo de Potência Ótimo para incluir alternativas de solução baseadas nos métodos de Pontos Interiores. Pretende-se modificar a formulação convencional dos problemas de FPO, para considerar diferentes índices de desempenho, contemplando funções especificamente associadas à prevenção da divergência, conforme recomendado em [MOY05]. Visa-se com isto aumentar a robustez da metodologia de solução do FPO para facilitar a sua aplicabilidade prática.

As metas específicas a serem atingidas são:

- Estabelecer indicadores numéricos baseados na trajetória da solução, os quais sejam úteis para se avaliar a robustez do método de Pontos Interiores aplicado ao FPO. Estes indicadores deverão fornecer informações sobre as causas da eventual divergência do processo iterativo e das modificações a serem efetuadas para se atingir a convergência;
- Desenvolver modelos matemáticos de otimização e implementar aplicativos computacionais que permitam aumentar a versatilidade do FPO, garantindo a convergência do processo iterativo mesmo sob condições adversas. Para esta finalidade, pretende-se aplicar fundamentos da Teoria da Bifurcação e conceitos

de parametrização no conjunto de equações que representam as condições de otimalidade do problema de FPO [MOY05];

- Aplicar o algoritmo do Máximo Passo no Caminho Central proposto em [CAS00, CAS01] na otimização multiobjetivo, incluindo a análise da convergência do processo iterativo nas diferentes formulações do problema de FPO;

1.2.2 Despacho Ótimo de Geração Multi-Usuário

Nos últimos anos, inúmeros trabalhos foram publicados a respeito dos problemas relacionados ao planejamento da operação de sistemas de potência advindos da reestruturação do setor elétrico. A primeira questão analisada diz respeito a novas metodologias de despacho de potência, definidas de acordo com o mercado de energia adotado. Foram propostos metodologias para despacho de geração sob um mercado tipo *pool* [NO00], bilateral [WV95] ou ainda *pool*-bilateral [KG02, FA03]. Observa-se que todas essas metodologias são baseadas em variações do modelo de fluxo de potência ótimo (FPO).

Outro ponto relativo à operação de sistemas reestruturados amplamente discutido na literatura é a necessidade de se conhecer quanto cada participante do mercado de energia está usando do sistema de transmissão. Para resolver alguns aspectos deste problema foram propostas metodologias que: (i) alocam fluxos de potência entre os usuários do sistema, o que possibilita o rateio dos custos de transmissão [ZI97, FA02]; (ii) alocam as perdas de transmissão [CGK01, FA02], e; (iii) determinam o suporte de reativos necessário para cada usuário a fim de manter o perfil de tensão dentro dos limites especificados [FBW01]. Muitas dessas metodologias são também baseadas nos resultados fornecidos por algoritmos de despacho ótimo de potência, em particular pelo fluxo de potência ótimo.

Os trabalhos acima indicam que uma importante área de pesquisa sobre operação de sistemas reestruturados é o desenvolvimento de ferramentas de despacho ótimo de potência que forneçam subsídios para analisar o impacto dos usuários no sistema. Com esse objetivo, foi recentemente proposto um modelo de despacho ótimo de potência (DOP) derivado com base no Teorema da Superposição [FA03]. Nele, os usuários do sistema são discriminados em circuitos individualizados representando a rede elétrica, derivados alocando-se a potência injetada pelos usuários de acordo com suas injeções de corrente.

O presente projeto de pesquisa tem, em primeiro lugar, o objetivo de aprofundar os estudos apresentados em [FA03]. Novas alocações de potência deverão ser testadas, visando principalmente uma representação mais detalhada do comportamento dos geradores e cargas do sistema. Busca-se, assim, modelar, de forma mais precisa, as equações de balanço de potência da rede elétrica discriminadas por usuário. Numa etapa posterior, tais equações deverão ser utilizadas em estudos sobre capacidade de carregamento de sistemas.

1.2.3 Provisão e Tarifação do Suporte de Potência Reativa

Com a reestruturação do setor elétrico, os custos associados aos serviços de suporte à operação (serviços ancilares) deixam de ser cobertos através da tarifa básica da energia elétrica. Entre estes serviços estão: o suporte de tensão e de frequência do sistema, a provisão de reserva, o suprimento das perdas de transmissão [IGF98]. Devem ser criados mecanismos para a tarifação desses serviços. Além disso, é necessária uma análise do impacto dos mercados de serviços ancilares na operação do sistema. Este

projeto visa também contribuir com o desenvolvimento de ferramentas computacionais baseadas em fluxo de potência ótimo para subsidiar o processo de provisão do serviço de suporte de reativos para o sistema. Metodologias baseadas nos custos de oportunidade foram propostas para compensar os geradores pelo fornecimento do suporte de reativos. Entretanto, há ainda várias questões a serem respondidas sobre o impacto de um mercado para o fornecimento de potência reativa na operação do sistema e sobre mecanismos de compensação por tal serviço [FER05]. Este tópico de pesquisa visa analisar algumas dessas questões. Propõe-se dar continuidade aos estudos descritos em [RA01], feitos com base num programa de fluxo de potência ótimo parametrizado. O objetivo é estender o estudo desenvolvido anteriormente à questão da reserva de reativo, considerando também funções custo para o suporte de reativos feito por equipamentos presentes no sistema de transmissão tais como compensadores síncronos e estáticos e dispositivos FACTS. Busca-se também analisar a influência do custo de reserva de reativos e do suporte de reativos fornecido por diferentes equipamentos na operação em regime permanente dos sistemas.

1.2.4 Ação Coordenada de Dispositivos de Controle e Participação da Demanda para Corrigir Perfil de Tensão

O crescimento da demanda no mercado brasileiro de energia elétrica e as dificuldades para expansão da infra-estrutura de geração e transmissão impõem condições cada vez mais severas quanto à manutenção de perfis de tensão adequados em sistemas de transmissão e subtransmissão. Tais condições tornam-se mais agudas no caso da ocorrência de contingências de transmissão e durante saídas de serviço, mesmo programadas, de componentes importantes da rede elétrica.

Dentro dos limites impostos pela topologia da rede e por restrições de estabilidade, é bem conhecido que problemas de perfil de tensão podem ser corrigidos ou aliviados através da operação eficiente de equipamentos capazes de influenciar os fluxos de potência reativa e conseqüentemente a tensão. Incluem-se nesta categoria: o controle automático de *taps* de transformadores, o chaveamento de bancos de capacitores ou reatores, e a ação de compensadores síncronos, compensadores estáticos, e dispositivos FACTS em geral. Entretanto, em situações críticas outras estratégias operativas podem exibir eficácia igual ou superior. Este é o caso de Programas de Participação da Demanda (PPDs), segundo os quais grandes consumidores são chamados a alterar temporariamente seus padrões de consumo de energia visando manter ou restabelecer a segurança operacional do sistema em casos de contingências que causem deterioração da qualidade de suprimento de energia, como por exemplo a degradação do perfil de tensão [S89],[CL90]. Programas de participação da demanda não são acionados de forma impositiva pela concessionária, mas sim através de contratos firmados entre esta e os consumidores engajados nos PPDs. É também necessário considerar restrições ditadas pelos processos produtivos de consumidores industriais, as quais freqüentemente assumem a forma de restrições intertemporais [USCM04],[USCN04] .

Trabalhos anteriores sobre a aplicação de PPDs consideram os efeitos destes programas na redução do impacto de contingências sobre congestionamentos de transmissão [USC03], [USCM04] e sobre o perfil de tensão da rede elétrica [USCN04] . Neste último caso, porém, considera-se apenas a ação isolada dos PPDs, sem levar em conta a atuação dos equipamentos de controle de potência reativa.

O trabalho de pesquisa neste tópico se propõe a desenvolver um arcabouço de otimização integrado, baseado em Fluxo de Potência Ótimo, capaz de acomodar tanto a ação de dispositivos físicos de controle de tensão (controle automático de *taps* de

transformadores (ULTC), compensadores síncronos, bancos de capacitores e reatores, etc.) quanto de estratégias operativas que prevêem a participação dos consumidores, como os PPD, com o objetivo de alcançar perfis de tensão adequados para um sistema elétrico de potência. A ferramenta a ser desenvolvida deverá ser capaz de hierarquizar e harmonizar a ação dos diversos recursos de controle de tensão no intuito de sintetizar ações de controle realísticas, compatíveis com os padrões de hierarquização utilizados na prática. Igualmente serão considerados os custos associados a cada ação de controle, particularmente os de perda de faturamento e de concessão de benefícios aos consumidores em contrapartida à sua adesão aos PPD.

1.3 Subprojeto 2: Operação de Sistemas de Distribuição

Enfoca-se os impactos da agregação de Geração Distribuída sobre a operação de sistemas de distribuição de energia elétrica. Adicionalmente, propõe-se o desenvolvimento de ferramentas inteligentes para a localização de defeitos em Sistemas de Distribuição. Serão abordados os tópicos descritos a seguir.

1.3.1 Otimização da Operação de Sistemas de Distribuição com Geração Distribuída

As ferramentas computacionais de análise de redes de distribuição permitem avaliar o desempenho da rede em termos de perfil de tensão (qualidade) e carregamento (quantidade) frente a vários cenários de carga e ajustes de equipamentos de apoio como a capacidade de potência reativa disponível por bancos de capacitores, a existência de reguladores de tensão adequadamente dispostos ao longo dos alimentadores, e o ajuste de tap do transformador na subestação distribuidora. Estes ajustes permitem obter grande número de resultados, dos quais se extraem os melhores em termos de qualidade e custo do equipamento de apoio [KER02].

Com a inserção de geração distribuída, ou seja, a conexão de produtores independentes de energia à rede de distribuição, o problema acima aumenta consideravelmente em proporções [MZ04]. Procura-se então adotar uma metodologia de síntese em lugar da análise, ou seja, através de uma ferramenta de otimização adequada ao problema, obter os valores ótimos dos diferentes ajustes dos equipamentos propostos, incluindo as potências ativas e reativas fornecidas pelos geradores independentes, segundo um dado critério objetivo e satisfazendo um elenco de restrições técnicas e regulamentares.

Para tal propõe-se adaptar a ferramenta computacional conhecida como Fluxo de Potência Ótimo, já bastante desenvolvida para sistemas de transmissão e geração, mas praticamente desconhecida a nível de distribuição [USCM04].

1.3.2 Monitoração em Tempo Real de Geração Distribuída

A tendência mundial à disseminação de fontes alternativas de energia de pequeno porte e as políticas governamentais de incentivo à sua utilização no País, via programas como o PROINFA, têm levado à participação crescente da Geração Distribuída (GD) na energia suprida aos consumidores por concessionárias brasileiras de distribuição. Neste cenário, grandes consumidores recebem incentivos para suprir parcial ou totalmente sua carga com geração própria, podendo vender o eventual excesso de energia à concessionária de distribuição; dando origem à figura do *Auto-Produtor*. Adicionalmente, surgem os *Produtores Independentes*, agentes que se sentem estimulados a estabelecer suas próprias pequenas centrais geradoras para igualmente transacionar a energia gerada com as concessionárias.

As empresas concessionárias das redes de distribuição necessitam se equipar de ferramentas de monitoração e análise para avaliação do impacto destas fontes conectadas à rede, sob o ponto de vista de confiabilidade de atendimento, qualidade da tensão e estabilidade da operação, considerando que muitas destas fontes são não despacháveis e de operação variável, sujeitas a flutuação de suprimento de energia primária como o vento e a radiação solar. De fato, problemas enfrentados por concessionárias de distribuição de energia em decorrência da operação de GD conectada às respectivas redes têm sido relatados em eventos do setor elétrico e são alvo de preocupações de parte dos operadores de sistemas de distribuição [SNPTE03].

Partindo de pressuposto de que a adequada operação de sistemas de distribuição com significativa inserção de GD requer informações precisas e atualizadas sobre o despacho das fontes dispersas pela rede elétrica, este subprojeto propõe o desenvolvimento de um método de monitoração em tempo real de geração distribuída. Para tal, será usado um arcabouço de Estimativa de Estados em Sistemas de Potência e a experiência adquirida no tratamento de um problema similar, que é a identificação de transações bilaterais em ambiente competitivo [CSCA01]. Considera-se que os alimentadores da rede de distribuição dispõem de um sistema de monitoração em tempo real. O problema de monitoração de GD poderá então ser formulado como um teste de hipóteses, onde a hipótese básica corresponde às informações que o operador da empresa de distribuição detém sobre quais fontes de GD estão operando naquele momento e qual o seu despacho. A validade da hipótese básica será testada em relação às diversas hipóteses alternativas através de um método de estatística Bayesiana que permite o cálculo da probabilidade de ocorrência cada hipótese a partir dos valores das telemedidas obtidas em tempo real [LSCC04].

1.3.3 Localização de Falhas em Sistemas de Distribuição

Os sistemas de distribuição constituem as conexões finais entre os sistemas de energia elétrica e os consumidores. Os alimentadores que partem das subestações estão expostos a um elevado número de faltas que provocam desligamentos de unidades consumidoras, por atuação da proteção. Entre as principais causas dessas faltas estão o envelhecimento da isolação, contatos de árvores ou animais e fatores climáticos. Devido às características peculiares encontradas na distribuição, não é, em geral, possível aplicar as mesmas técnicas utilizadas em uma rede de transmissão, para se determinar a localização das faltas.

Os sistemas de distribuição têm sido tratados como o componente do sistema elétrico menos glamoroso a se trabalhar, durante muitos anos [KER02]. Porém, a competição entre as empresas do setor e a demanda crescente por energia de qualidade tem trazido à tona a necessidade de melhorias na solução dos problemas inerentes a esse contexto. Entre os requisitos à melhoria da qualidade de energia está o rápido restabelecimento do fornecimento, após desligamentos originados pelas faltas. Para que isso seja possível, é desejável que as equipes de campo tenham uma indicação precisa do local da causa da falta (a qual deve ser eliminada para permitir o religamento do sistema). Grandes benefícios podem ser então obtidos no sentido de se respeitar os indicadores de qualidade que precisam ser satisfeitos pelas empresas distribuidoras que desejem operar nos atuais cenários competitivos, e evitar penalidades por parte dos órgãos reguladores.

O método primitivo, porém usualmente empregado para localização de faltas em alimentadores aéreos, é o de inspeção visual. A partir de reclamações provenientes de consumidores, ou da constatação de desligamento na subestação, equipes são enviadas a campo para inspecionar o mesmo até localizar a causa da falta. A inspeção visual pura é um método lento e, portanto, limitado, principalmente no caso do alimentador possuir

algumas dezenas de quilômetros de comprimento. No caso de alimentadores subterrâneos, detectores de falta podem ser utilizados. Sua utilização, porém, requer experiência por parte dos operadores e também pode levar a diagnósticos errôneos. As referidas questões tornam clara a necessidade de métodos automáticos precisos para localização de faltas.

A abordagem de maior interesse prático, e que se pretende empregar neste sub-projeto, são métodos analíticos a partir de componentes fundamentais das tensões e correntes complexas apuradas durante a falta, na origem do alimentador. Porém, os métodos descritos até hoje podem apresentar erros da ordem de algumas centenas de metros [DSS00], dependendo da resistência de falta e da distância da subestação ao local do defeito. Esse fato se torna ainda mais crítico em alimentadores excessivamente longos, principalmente porque as corrente nos transformadores de distribuição não é monitorada, gerando erros na determinação do perfil de tensões, que são propagados à determinação da distância ao ponto de falta.

Embora existam métodos específicos para alimentadores de distribuição em desenvolvimento, a grande maioria deles não aborda adequadamente os problemas encontrados em alimentadores longos ou subterrâneos. Também existe uma deficiência nos modelos que vêm sendo utilizados. Os alimentadores são altamente desequilibrados, não-transpostos e não-homogêneos, e as implicações de tais características ainda precisam ser mais bem examinadas para melhorar a precisão das ferramentas de localização de defeitos.

Neste sub-projeto o interesse é o de se trabalhar com alimentadores reais de grande porte, avaliando novas estratégias adequadas aos mesmos, utilizando o que se dispõe de mais avançado com relação à modelagem dos mesmos. O IEEE (“Institute of Electrical and Electronics Engineers”) tem disponibilizado dados de alimentadores reais de grande magnitude, incluindo segmentos subterrâneos, que serão utilizados nos estudos [KER01]. Dessa forma, pretende-se também colaborar com os trabalhos de padronização dos estudos em distribuição, construindo-se uma biblioteca de modelos computacionais de tais alimentadores a serem utilizados em pesquisas futuras no grupo de sistemas de potência.

A aplicabilidade de técnicas de inteligência artificial e de alocação de dispositivos de monitoramento a baixo custo para auxiliar no diagnóstico também serão discutidos. É bastante razoável investigar a aplicação de Redes Neurais Artificiais em casos onde métodos analíticos não apresentem boas respostas. Entretanto, enfatiza-se novamente, que o interesse maior é o de melhorar e desenvolver novos métodos analíticos que utilizem as informações contidas nas tensões e correntes complexas adquiridas na origem do alimentador, para localizar a falta. Eventuais limitações, e alternativas de solução de tais métodos devem, entretanto ser investigadas.

1.4 Subprojeto 3: Diagnóstico de Falhas em Equipamento de Subestação de Transmissão

Este projeto prevê o desenvolvimento de ferramentas de apoio ao diagnóstico de equipamentos de subestações de transmissão de energia, utilizando informações obtidas de sistemas de monitoramento específicos para determinados equipamentos, do sistema de supervisão e controle, e do histórico de manutenções dos equipamentos.

As pesquisas nesta área foram iniciadas com o trabalho de mestrado profissional do Engo. Roberto Zirbes da ELETROSUL [ZIR03], e posteriormente fortalecidas pelo projeto de P&D do programa da ELETROSUL, em execução desde julho de 2003 com o CEPEL e o Grupo de Sistemas de Potência da UFSC. O objetivo é a implementação

de programas computacionais que, utilizando as informações disponíveis, infiram sobre a existência de falhas em diversos equipamentos, inclusive em etapa incipiente.

Dentro deste contexto, os seguintes sub-projetos são propostos:

1.4.1 Análise de Resposta em Freqüência Aplicada ao Diagnóstico de Transformadores de Potência:

Quando os transformadores são submetidos a faltas elétricas ou esforços mecânicos, a estrutura mecânica e os enrolamentos estão sujeitos a grandes esforços, que podem causar sérias deformações e movimentos nos enrolamentos, provocando uma falha no transformador. Estas alterações dos enrolamentos são difíceis de determinar através de medições convencionais do raio, impedância e indutância dos mesmos; entretanto, deformações resultam em mudanças consideráveis na indutância e capacitância interna da sua estrutura; estas mudanças podem ser determinadas externamente através da chamada análise de Resposta em Freqüência (ARF) [DIE78]. A ARF consiste na medição e análise da impedância interna dos enrolamentos do transformador em uma dada escala de freqüências, para posteriormente serem comparados com uma resposta em freqüência de referência, e assim poder diagnosticar falhas no equipamento. O objetivo do trabalho é realizar um estudo sobre o diagnóstico de falhas elétricas e mecânicas em transformadores de potência utilizando técnicas de análise de resposta em freqüência, e desenvolver uma ferramenta computacional que utilize os resultados desses ensaios para fornecer um diagnóstico sobre o estado do transformador.

1.4.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade Aplicada a Pára-Raios:

Considerando a importante função desempenhada pelos pára-raios em sistemas de potência e as conseqüências de possíveis falhas nestes equipamentos, estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de identificar as principais causas que afetam a sua vida útil no sistema de transmissão. Estes estudos são baseados em normas e, principalmente, na análise de bases de dados com registros de falhas em pára-raios no banco de dados de equipamentos da ELETROSUL. A partir destes estudos iniciais, será apresentada uma metodologia de manutenção centrada na confiabilidade [MOU97], visando a identificação de métodos para identificar condições de falha em estágios iniciais.

1.4.3 Detecção e Localização de Descargas Parciais em Subestações Isoladas a Gás SF6

O objetivo deste sub-projeto é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o diagnóstico de uma subestação isolada a gás SF6 utilizando-se redes neurais artificiais aplicadas à análise das descargas parciais medidas.

As subestações isoladas a gás SF6, embora, em geral, apresentem maior custo de implantação, possuem maior confiabilidade e ocupam uma área física menor que as isoladas a ar. Neste tipo de subestação, um dos elementos indicativos de falta incipiente é a presença das chamadas descargas parciais, que podem ser causadas, por exemplo, pela presença de uma partícula de tamanho desprezível ou mesmo um espaço vazio no interior do espaçador isolante interno ao duto preenchido com SF6.

Para acompanhar a evolução deste tipo de defeito, algumas subestações possuem sistemas de monitoramento de descargas parciais. Neste sub-projeto as informações advindas do sistema de monitoramento serão utilizadas para detecção e diagnóstico de descargas parciais, utilizando-se redes neurais artificiais, treinadas a partir de casos históricos, de forma semelhante à apresentada em [OKI96].

1.5 Subprojeto 4: Aplicações de Medição Fasorial Sincronizada a Sistemas de Potência

1.5.1 Melhoria da Estabilidade de Sistemas Elétricos Usando Medição Fasorial

Nos modernos sistemas de potência a limitação ou adiamento de novos investimentos e restrições ambientais tem restringido a ampliação do sistema. Por outro lado há a necessidade de atender a uma demanda crescente, com adequada qualidade de fornecimento, e mantendo ainda adequadas margens de segurança. O atendimento destes requisitos exige novas soluções em termos de tecnologia e métodos.

A medição fasorial sincronizada, que consiste na aquisição de fasores sincronizados por um sinal de GPS, é uma nova tecnologia, com um largo espectro de aplicações como monitoração, controle e proteção de sistemas [DEB04]. Essencialmente um sistema de medição fasorial consiste de unidades de medição fasorial (PMUs) e um concentrador de dados (PDC). O sistema de medição fasorial faz ainda uso de modernos sistemas de transmissão de dados.

Este tópico contempla o uso de medições fasoriais para a melhoria do desempenho dinâmico do sistema. Dois aspectos são considerados: a estabilidade a pequenas perturbações e o controle de emergência.

1.5.1.1. Estabilidade a Pequenas Perturbações

Problemas de estabilidade a pequenas perturbações, associada à existência de amortecimento adequado no sistema, emergem como consequência de novas topologias do sistema elétrico ou como consequência da variação sazonal da carga. A complexidade atual dos sistemas elétricos, com a existência de vários modos inter-área, exige novas soluções em termos de estrutura do sistema de controle. A medição fasorial permite a combinação de sinais locais com sinais remotos, sendo estes últimos obtidos pelas PMUs, enviados ao PDC e então transmitidos ao controlador.

Desde que o número de PMUs é limitado por restrições econômicas, um problema a ser resolvido é a escolha das barras onde as unidades devem ser instaladas. Um trabalho preliminar sobre este problema já foi realizado no âmbito do Grupo de Pesquisa [MS06], mas este tema deve ser objeto do presente projeto.

A definição da estrutura do controlador e seu ajuste é outro aspecto a ser abordado. A necessidade de coordenação entre os diversos controladores e requisitos de robustez tornam promissores o uso de métodos desenvolvidos no âmbito de Grupo de pesquisa [SC97,SCV01,BS01]. Os retardos na malha de controle, como consequência dos tempos de transmissão, deverão ser considerados em estágio posterior.

1.5.1.2. Estabilidade via Controle de Emergência

Os esquemas de controle de emergência tem sido amplamente usados para manter a estabilidade transitória do sistema após contingências graves. Estes esquemas são em geral guiados por eventos, ou sejam, uma seqüência de ações de controle é executada como consequência de um determinado evento. O uso de medições fasoriais abre a possibilidade de esquemas de emergência guiados pelo estado do sistema. Neste caso, uma ação de controle, como corte de carga, por exemplo, pode ser executada a partir de

um modelo do sistema determinado em tempo real. Este modelo é determinado a partir dos dados do sistema de medição fasorial. Com isto, a quantificação da ação de controle, no caso o valor da carga a ser desconectada, pode ser feita de uma maneira mais precisa, minimizando o impacto nos usuários [DEB04,MS06].

O objetivo deste item é investigar o uso da medição fasorial visando o controle de emergência. Técnicas de identificação de modelos a partir de medições fasoriais e quantificação de ações de controle serão exploradas.

1.5.2 Inclusão de Medições Sincronizadas na Estimação de Estados

A disponibilidade atual de medições fasoriais sincronizadas, produto de desenvolvimentos tecnológicos recentes nas áreas de processamento de sinais e sincronização de sinais via GPS torna possível a aquisição de dados relacionando variáveis geograficamente distantes entre si [DEB04]. No que tange à Estimação de Estados, as medições fasoriais sincronizadas viabilizam o processamento de medidas de fase das tensões nas barras, antes considerado inexecutável. Porém, dado o surgimento recente desta tecnologia, são ainda muito escassos os relatos na literatura sobre a consideração de medidas de fase das tensões nos algoritmos de estimação de estados e análise de observabilidade, sendo que as poucas contribuições nesta área remontam ao início dos anos noventa [BM93]. Existem portanto vários problemas em aberto neste tópico que ainda necessitam de esforços adicionais de pesquisa.

Os objetivos da pesquisa neste tópico são:

- Adaptar programas existentes de Análise Topológica de Observabilidade para propiciar o processamento de um número limitado de medições sincronizadas de fase das tensões nas barras;
- Idem, com respeito a aplicativos existentes de Estimação de Estados;
- Avaliar as vantagens proporcionadas pelas medições de fase em termos de redução de ocorrência de medidas e conjuntos críticos;
- Similarmente, adaptar programas de Análise Numérica de Observabilidade de modo que passem a considerar medições de fase de tensões sincronizadas via GPS.

1.6 Subprojeto 5: Operação de Sistemas Hidrotérmicos

1.6.1 Despacho Hidrotérmico de Curto Prazo

A operação de sistemas predominantemente hidrelétricos, tal como o brasileiro, sob condições de mercado, é um problema complexo devido ao acoplamento hidráulico das usinas e também à necessidade de um planejamento de médio e longo prazo visando o uso racional da energia armazenada nos reservatórios. Por outro lado, uma maior competição entre os agentes que atuam no mercado de energia é importante para que essa chegue ao consumidor à preços razoáveis. O desafio é, portanto, criar mecanismos que incentivem a competição, não prejudiquem a segurança da operação e garantam o bom uso da energia existente no sistema. Alguns trabalhos, recentemente publicados, analisam os efeitos da desregulamentação na operação de sistemas hidrotérmicos. Foram propostas metodologias para definir os custos das transações de potência com base no valor da água armazenada nos reservatórios [FRS97] e para o despacho dessas transações [PL01]. Foi também feita a análise do impacto das transações nas perdas do sistema com base num modelo de despacho hidrotérmico de curto prazo [OAZ01]. Tal modelo foi utilizado também na análise do desempenho de estratégias de atuação no mercado de energia [MEZ03]. Propõe-se aqui a continuação dos estudos realizados. Recentemente foi implementado um programa de despacho de curto prazo utilizando

técnicas de relaxação Lagrangeana [MEZ03]. Nele, a rede elétrica foi representada a partir de equações não lineares expressas em termos dos ângulos das barras e as transações de potência expressas tal como proposto em [IGF98]. O objetivo da continuação da pesquisa é acoplar o modelo DOP descrito no item 1.2.2 a este programa.

1.6.2 Participação da Demanda na Operação de Curto prazo de Sistemas Hidrotérmicos

O objetivo deste subprojeto é estender a metodologia de análise de Programas de Participação da Demanda (PPDs), anteriormente desenvolvida para sistemas puramente térmicos [USC2002], para aplicação a sistemas hidrotérmicos com predominância hidráulica. Um esforço inicial neste sentido foi empreendido em [U2002], com resultados que apontam para a viabilidade da abordagem proposta, que se baseia em uma formulação de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) com restrições intertemporais resolvido via método primal/dual de pontos interiores.

Como se sabe, os desafios que se apresentam a estudos de operação de sistemas hidrotérmicos com as características mencionadas são consideráveis. As incertezas associadas ao problema determinam que o planejamento da operação seja dividido em subproblemas menores, que devem ser coordenados entre si, de forma que os resultados obtidos para um horizonte de tempo de maior duração estabelecem metas para o horizonte de menor duração subsequente. Desta forma, considera-se o planejamento da operação no longo, médio e curto prazos, e finalmente o despacho em tempo real do sistema [PP82]. Os dois primeiros constituem-se em problemas estocásticos, enquanto que o nível relativamente baixo de incertezas no planejamento de curto prazo permite que este seja formulado como um problema determinístico, tipicamente para um horizonte de tempo semanal e discretização horária.

Dadas as suas características temporais, as atividades relativas a PPDs em sistemas hidrotérmicos estão associadas à operação de curto prazo do sistema, o que permite o uso de modelos determinísticos no seu estudo [U2002]. No horizonte de curto prazo estabelece-se a inter-relação entre o problema energético e o problema elétrico, buscando a forma mais econômica de balancear as gerações hidráulica e térmica de modo a satisfazer a demanda. A inclusão de componentes gerenciáveis de demanda adiciona ao problema as características relacionadas ao comportamento do consumidor, traduzidas por função benefício e restrições de consumo intertemporais. O problema da determinação dos sinais de preço para a implementação de PPDs é formulado através de um despacho da geração térmica e hidráulica que impõe a alocação de uma quantidade de energia demandada ao longo do horizonte de tempo de estudo.

Do ponto de vista energético, o planejamento de curto prazo deve atender a metas fixadas pelo planejamento de médio prazo, expressas na forma de volume ao final do horizonte de curto prazo ou através de funções de custo futuro (SILVA, 2001). As metas energéticas são incluídas na função-objetivo sob a forma de termos penalizantes quanto ao uso do volume de água armazenado. O custo térmico e a função benefício do consumidor são representados por funções quadráticas, sendo que a segunda pode ser não-separável ao longo do horizonte de estudo de modo a representar efeitos cruzados entre demanda e preço em intervalos distintos [U2002]. Além disso, as equações de balanço hídrico, juntamente com certas restrições de consumidores, geram também efeitos adicionais de acoplamento no tempo.

O problema de despacho hidrotérmico de curto prazo considerando a participação da demanda para um dado horizonte de tempo (por exemplo, 24 horas), é formulado como um conjunto de subproblemas de Fluxo de Potência Ótimo, um para cada intervalo de

discretização (por exemplo, uma hora). Estes múltiplos problemas são entretanto temporalmente acoplados, tanto pelos componentes da carga sensíveis ao preço da energia quanto pelas restrições de balanço hídrico. O problema resultante é de grande dimensão, e deve ser abordado utilizando-se técnicas de esparsidade e blocagem especialmente desenvolvidas para a solução dos sistemas lineares a serem resolvidos em cada iteração do método de pontos interiores.

Como resultado esperado do FPO generalizado incluindo as respostas dos consumidores proposto no trabalho, vislumbra-se uma melhor distribuição da carga ao longo do horizonte de estudo. Isto deverá propiciar um melhor aproveitamento dos volumes de água armazenados e sensíveis reduções de vertimentos, o que por sua vez favorecerá o cumprimento das metas de volume estabelecidas no horizonte de médio prazo.

1.7 Subprojeto 6: Conservação de Energia em Larga Escala com Base na Reserva Girante

Este subprojeto investiga a adoção de uma nova estratégia de regulação primária de sistemas de potência que utiliza parte da reserva girante e micro-controladores para efetuar pequenas variações de tensão em cargas pré-estabelecidas em função de variações da frequência. O objetivo é reduzir os requisitos de reserva girante, implicando portanto em uma ação de eficiência energética. Avaliações preliminares indicam que o gasto com a aquisição do controlador é compatível com o benefício.

O trabalho proposto pretende investigar: modelo e característica dos micro-controladores; resposta de frequência x tempo de sistemas elétricos à variação de carga (transitório e regime permanente); distribuição da carga a ser reduzida entre as barras; resposta para o caso de mais de uma área; considerações sobre custos e elementos de projeto. Prevê-se que o método deverá ser particularmente bem aceito para aplicações em sistemas isolados.

2. Metodologia

O Grupo de Sistemas de Potência da Universidade Federal de Santa Catarina vem há cerca de quinze anos realizando pesquisas na área de operação de sistemas elétricos de potência. Neste período, foi desenvolvida uma extensa gama de ferramentas que poderão ser usadas no projeto aqui proposto. Com base nesta experiência, propõe-se a seguintes etapas para constituir a metodologia a ser empregada:

- I. Revisão bibliográfica;
- II. Familiarização com métodos existentes;
- III. Desenvolvimento de novos métodos e técnicas;
- IV. Implementação computacional;
- V. Testes preliminares e validação;
- VI. Testes com sistemas realísticos;
- VII. Documentação e divulgação dos resultados.

3. Resultados esperados

Estima-se obter os seguintes resultados no período de vigência do projeto:

- Desenvolvimento de Ferramentas Computacionais para Ensino e Pesquisa;
- Formação de Pesquisadores:
 - Defesas de Teses de Doutorado: 2
 - Defesas de Dissertações de Mestrado: 15
 - Orientações de Alunos de Iniciação Científica: 4
- Publicações:
 - Publicações em Congressos Nacionais (SEPOPE, SENDI, SNPTEE, CBA, etc.): 20
 - Publicações em Congressos Internacionais (Power Tech, PSCC, ISAP, General Meeting do IEEE, PMAPS, Bulk Power): 12
 - Publicações em Periódicos Nacionais: 6
 - Publicações em Periódicos Internacionais: 7

Quanto aos impactos esperados, podemos mencionar que todos os tópicos que constituem o projeto têm sido objeto de interesse da parte das diversas entidades de alguma forma ligadas à operação do Sistema Elétrico Brasileiro, tais como o Operador Nacional do Sistema (ONS) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), além das diversas concessionárias de transmissão e distribuição. Estas concessionárias se vêem face a novas exigências impostas pelo novo modelo de gestão do setor elétrico com relação a metas de programação energética e disponibilidade de equipamentos visando a operação segura, eficiente e contínua do sistema. Este projeto busca fornecer subsídios para o cumprimento de algumas destas exigências.

O interesse dos diversos agentes do setor elétrico nos tópicos abordados no projeto tem sido manifestado nos eventos nacionais da área, tais como o SNPTEE, SEPOPE, etc. Em particular, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realizou em dezembro de 2004 o *1º. Seminário de Prospecção Tecnológica do ONS*, com o objetivo de aumentar o intercâmbio com as universidades e centros de pesquisa brasileiros, no qual o Grupo de Sistemas de Potência da UFSC se fez presente. Os tópicos de pesquisa que compõem este projeto contemplam em grande parte as preocupações e interesses do ONS. A expectativa do GSP da UFSC é portanto que os resultados esperados da execução deste projeto venham a contribuir para a solução dos novos problemas de operação, monitoração e controle do Sistemas Interligado Nacional hoje enfrentados no País.

4. Outros projetos e financiamentos relacionados ao tema da presente proposta

- I. “Operação de Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica”, projeto de pesquisa do Grupo de Sistemas de Potência da UFSC apoiado pelo CNPq/CT-Energ, janeiro de 2004 a dezembro de 2005.

- II. “Aplicativo para Avaliação de Contratos de Fornecimento de energia com Cláusula de Redução Dinâmica da Demanda de Potência para Grandes Consumidores do Sistema Celesc”, projeto P&D desenvolvido em convênio com as Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), março de 2004 a fevereiro de 2005.
- III. “Central de Monitoramento e Diagnóstico de Equipamentos de Subestações” - Projeto de P&D ANEEL da Eletrosul, tendo o CEPREL como entidade executora e a UFSC como consultora. (Período: 07/2003 a 06/2005)
- IV. “Medições Fasoriais em Sistemas de Energia Elétrica – MedFasee”, projeto de pesquisa patrocinado pela FINEP, coordenado pelo Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica da UFSC com a participação do Prof. Aguinaldo Silveira e Silva, do GSP/UFSC, janeiro de 2003 a julho de 2005.
- V. “Gerenciamento de Carga e Alocação Conjunta de Energia e Reservas em Mercado de Energia Elétrica (GCERES)”, projeto de Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq), Prof. Antônio José Alves Simões Costa. . Vigência: 03/2004-02/2007.
- VI. “Estudos sobre Operação em Regime Permanente de Sistemas de Potência Reestruturados” Projeto de Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq), Prof^a. Katia Campos de Almeida. Vigência: 03/2005-02/2008.
- VII. “Controle Aplicadas de Sistemas Elétricos de Potência Usando Medidas Fasoriais” – Projeto de Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq), Prof. Aguinaldo Silveira e Silva. Vigência: 03/2005 a 02/2008.

5. Atendimento aos Critérios de Julgamento (item 4.3.1 do Edital)

O projeto descrito neste documento se enquadra nas diretrizes temáticas do CT-ENERG, uma vez que visa o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem a redução nos custos de operação e aumento da confiabilidade dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica (Tema 6 das Diretrizes Temáticas do CT-ENERG). Adicionalmente, aborda-se a questão de inserção de geração distribuída em redes de distribuição (Tema 11), bem como o desenvolvimento de modelos e ferramentas computacionais para análise de problemas de mercado e tarifação (Tema 14).

Além do desenvolvimento dessas ferramentas, que são de interesse tanto da sociedade quanto das empresas de transmissão e distribuição, o projeto contribui para a formação de recursos humanos na área de energia elétrica.

O Grupo de Sistemas de Potência da UFSC tem adquirido experiência na condução de pesquisas na área graças ao apoio do CNPq, CAPES, CT-ENERG, etc., a consultorias para o setor privado e também, mais recentemente, a projetos de P&D com a ELETROSUL e a CELESC.

6. Orçamento de detalhado

EQUIPAMENTOS E MATERIAL PERMANENTE			
Qtde	Descrição	Custo Unitário	Custo total
08	Microcomputadores Pentium 4,3.0 GHZ Placa Mãe ASUS 478P, Gravador de CD, Monitor Sansung 793DF	R\$ 2.600,00	R\$ 20.800,00
03	Impressora HP Deskjet 3745	R\$ 370,00	R\$ 1.110,00
01	Impressora HP LaserJet multifuncional 3030	R\$ 2.470,00	R\$ 2.470,00
02	Impressoras HP LaserJet 1320	R\$ 1.730,00	R\$ 3.460,00
01	Switch 3Com Giga Ethernet 24 portas para rede Labspot	R\$ 3.100,00	R\$ 3.100,00
	Sub – Total		R\$ 30.940,00
CUSTEIO			
Qtde	Descrição	Custo Unitário	Custo Total
08	Passagens áreas nacionais para participação de membros da equipe em congressos no país	R\$ 1.300,00	R\$ 10.400,00
05	Passagens Internacionais para participações em congressos no Exterior	R\$ 4.320,00	R\$ 21.600,00
08	Taxas de Inscrição em congressos no país	R\$ 600,00	R\$ 4.800,00
05	Taxas de inscrição em congressos no exterior	R\$ 1.600,00	R\$ 8.000,00
40	Diárias para participação em congressos no país	R\$ 148,45	R\$ 5.938,00
30	Diárias para participação em congressos no exterior	R\$ 324,00	R\$ 9.720,00
-	Material de consumo a ser utilizado no desenvolvimento do projeto (tinta para impressora, cartuchos de toner, material de expediente, etc.)		R\$ 5.900,00
01	Licença para inclusão do Toolbox MATLAB Compiler no pacote MATLAB disponível no Labspot (p/ 10 usuários)	R\$ 4.860,00	R\$ 4.860,00
01	Atualização da licença do pacote MATLAB disponível no Labspot (p/ 10 usuários)	R\$ 13.230,00	R\$ 13.230,00
	Sub total		R\$ 84.448,00
BOLSAS			
Qtde	Descrição	Custo Unitário	Custo Total
02	Bolsas DTI (conforme especificado no formulário eletrônico do CNPq), com duração de 12 meses.	R\$ 1.838,23	R\$ 44.117,52
01	Bolsa DTI-7F (conforme especificado no formulário eletrônico do CNPq), com duração de 12 meses.	R\$ 1.267,75	R\$ 15.213,00
04	Bolsas ITI-1A(conforme especificado no formulário eletrônico do CNPq), com duração de 24 meses.	R\$ 5.796,24	R\$ 23.184,96
	Sub Total		R\$ 82.515,48
	Total Geral		R\$ 197.903,48

7. Cronograma de execução

Todos os subprojetos descritos no item 1 seguirão as seguintes etapas básicas, já citadas no item 2, de Metodologia.

Etapa	1º. Tri	2º.	3º.	4º.	5º.	6º.	7º.	8º.
1 – Revisão Bibliográfica								
2 – Familiarização com Métodos Existentes								
3 – Desenvolvimento de Novos Métodos e Técnicas								
4 – Implementação Computacional								
5 – Testes Preliminares e Validação								
6 – Testes com Sistemas Realísticos								
7 – Documentação e Divulgação dos Resultados.								

8. Referências bibliográficas

- [BM93] T.M. Baldwin, L. Mili, M.B. Boisen e R. Adapa, “Power System Observability with Minimum Phasor Measurement Placement”, IEEE Trans. on Power systems, Vol. 8, No. 2, Maio 1993, p. 707-715.
- [BS01] A.S. Bazanella, A.S. e Silva, "Coordinated Design of Damping Controllers for Robustness of Power System Stability". International Journal of Electric Power And Energy Systems, v. 23, n. 1, p. 69-79, 2001.
- [CAS00] Castronuovo E.D., Campagnolo J.M., Salgado R.; A Largest-Step Central-Path Algorithm Applied to the Optimal Power Flow Problem. Revista Brasileira de Controle & Automação. Vol 11 No 2 . Págs 176-181. Novembro 2000.
- [CAS01] Castronuovo, E. D., Campagnolo J. M., Salgado R.; " New Versions of Interior Point Methods Applied to the Optimal Power Flow Problem ". IEEE Transactions on Power Systems Vol 16, 3, págs. 325–331, Agosto de 2001.
- [CGK01] Conejo, A., Galiana, F.D. e Kockar, I. “Z-bus Loss Allocation”. IEEE Trans. on Power Systems, v. 16, n. 1, Feb., 2001, p. 105-110.
- [CL90] Chen, C.S. and. Leu, J.T., “Interruptible Load Control for Taiwan Power Company”, IEEE Transactions on Power Systems v. 5, n. 2, pp.460-465, May 1990.

- [DEB04] I.C. Decker, J.G. Ehrensperger, N.M. Agostini, A.S. e Silva, A.L. Bettiol and S. Zimath, "Synchronized Phasor Measurement System: Development and Applications", Proceedings of the IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, May 2004.
- [DIE78] E.P. Dick; C.C. Erven, "Transformer Diagnostic Testing by Frequency Response Analysis". IEEE Transactions on Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 6, Novembro de 1978.
- [DSS00] Das, R.; Sachdev, M. S.; Sidhu, T. S.: A Fault Locator for Radial Sub-transmission and Distribution Lines. *Power Engineering Society Summer Meeting Proceedings*, v. 1, pp 443-448, 2000.
- [FA02] Fernandes, T.S.P. e Almeida, K.C.; "Methodologies for Loss and Line Flow Allocation under Pool-Bilateral Markets". *14th Power Systems Computation Conference – PSCC*, Seville, Spain, June, 2002, session 23, paper 2, p. 1-7.
- [FA03] Fernandes, T.S.P. e Almeida, K.C.;"A Methodology for Optimal Power Dispatch under Pool-Bilateral Markets". *IEEE Trans. on Power Systems*, v. 18, n. 1, Feb., 2003,p. 182-190.
- [FER05] Federal Energy Regulatory Commission - FERC, *Principles for Efficient and Reliable Reactive Power Supply and Consumption*, Staff Report, No. AD05-000, Feb. 2005
- [FBW01] Fradi, A.; Brignone, S. e Wollenberg, B.F.; "Calculation of Energy Transaction Allocation Factors". *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 16, no. 2, May, 2001, p. 266-272.
- [FRS97] Ferrero, R.W., Rivera, J. e Shahidehpour, S.M.; "Effect of Deregulation on Hydrothermal Systems with Transmission Constraints". *Electrical Power Systems Research*, v. 38, 1997, p. 191-197.
- [IGF98] Ilic, M.; Galiana, F.D. e Fink, L.; *Power Systems Restructuring*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [KER01] Kerstin, W. H.: Radial Distribution Test Feeders. *IEEE Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting*, v. 2, pp 908-912, 2001.
- [KER02] Kerstin, W. H.: *Distribution System Modelling and Analysis*. CRC Press, Boca Raton 2002.
- [KG02] Kockar, I. e Galiana, F.D.; "Combined Pool/Bilateral Dispatch: Part II – Curtailment of Firm and NonFirm Contracts". *IEEE Trans. on Power Systems*, v. 17, n. 4, Nov., 2002, p. 1184-1190.
- [LSCC04] E. M. Lourenço , A. Simões Costa and K. A. Clements, "Bayesian-Based Hypothesis Testing for Topology Error Identification in Generalized State Estimation", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, No. 2, May 2004, pp. 1206-1215.
- [MEZ03] Mezger, A. J. ;*Despacho Hidrotérmico de Curto Prazo para Mercado Pool-Bilateral via Relaxação Lagrangeana*. Dissertação de Mestrado, Depto. de Engenharia Elétrica, UFSC, Março, 2003.
- [MOU97] J. Moubray, "Reliability Centered Maintenance", Industrial Press Inc. 1997.

- [MOY05] Moyano, C. F.; "Soluções Ajustadas do Fluxo de Potência Ótimo". Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UFSC, Maio de 2005.
- [MS06] R.L V. Marini, A.S. e Silva, I.C. Decker, "Melhoria da Estabilidade Angular de Sistemas Elétricos Usando Medição Fasorial Sincronizada". Aceito para publicação no XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - XVIII Snp tee, outubro de 2005.
- [MZ04] Marin, M.V.A. e Zürn, H.H., "Ferramentas de Análise de Redes de Distribuição com a Inserção de Geração Eólica", Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Setembro 2004, Gramado, RS.
- [NO00] Novas, I.; Meseguer, C.; Batlle, C. e Alba, J.; "A Simulation Model for a Competitive Generation Market". *IEEE Trans. on Power Systems*, v. 15, n. 1, Feb., 2000, p. 250-256.
- [OAZ01] Orrego, N.J.; Almeida, K.C. e Zürn, H.H., "Short Term Hydrothermal Scheduling under Bilateral Contracts". *Anais do Porto PowerTech*, O Porto, Portugal, 2001.
- [OKI96] I. Oki et al. Development Partial Discharge Monitoring Technique Using a Neural Network in a Gas Insulated Substation. IEEE, 1996.
- [PL01] Prasannan, B; Luh, P.B.; Yan, H.; Palmberg, J.A. e Zhang, L. "Optimization-based Sale Transactions and Hydrothermal Scheduling". *IEEE Trans. on Power Systems*, v. 11, n. 4, November, 2001, p. 750-756.
- [PP82] Pereira, M.V. e Pinto, L.M.V.G., 1982. "A Decomposition Approach to the Economic Dispatch of Hydrothermal Systems" *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-101, n. 10, out. 1982, 3851-3854.
- [RA01] Rueda, S.M.V. e Almeida, K.C.; "Optimal Power Flow Solutions under Variable Load Conditions: Reactive Power Cost Modeling". *Proc. of the Power Industry Computer Application Conference, PICA'2001*, Sydney, Australia, May 2001
- [S89] Sanghvi, A.P., "Flexible Strategies for Load/Demand Management using Dynamic Pricing" *IEEE Transactions on Power Systems* v. 4, n. 1, pp.83-93, Feb. 1989.
- [SC97] A.Simões Costa, F.D. Freitas, A.S. e Silva, "Design of Decentralized Controllers for Large Power Systems Considering Sparsity". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 12, n. 1, p. 144-152, 1997.
- [SCCA00] Simões Costa, A.; Clements, K A; Agudelo, A., "Bayesian Estimation Applied To The Identification of Undisclosed Bilateral Transactions", 6th International Conference on Probabilistic Methods Applied To Power Systems (PMAPS), Funchal, Portugal, 2000, Vol. 1, pp 1-5.
- [SCV01] F.E. Scavone, A. S. e Silva; A. Trofino, J. M. Campagnolo, "Design of Robust Power System Controllers Using Linear Matrix Inequalities". *Proc. of the IEEE Porto Power Tech Conference*, 2001.
- [SNPTE03] Mesa Redonda sobre Geração Distribuída, XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia, MG, outubro de 2003.

- [S2001] Silva, E. L., “Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica”, Porto Alegre, Editora Sagra Luzzatto, 2001.
- [USC03] W. Uturbey; A. Simões Costa, “Interruptible Load Management Assessment Via Dynamic Optimal Power Flow”. Proc. of the IEEE PES Bologna Power Tech Conference, Bologna, Italy, June 2003.
- [USCM04] Uturbey, W., Simões Costa, A.J.A., De Marco, A.B., Nakanishi, S.H., Schier, J., Cassano, A.J., Pacheco, S.S. “A Load Management Program For Large Consumers Of A Distribution Company”, IX SEPOPE, Rio de Janeiro Brazil, 23-27 May 2004.
- [USCN04] A. De Marco, W. Uturbey, A. Simões Costa, S. Nakanishi, S. Pacheco, “An OPF Based Tool for Demand Relief Programs”, 2004 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition Latin America, S. Paulo, Brazil, Nov. 2004.
- [USC02] Uturbey, W. e Simões Costa, A. “Optimal Power Flow with Inter-temporal Constraints as an Aiding Tool for Demand-Side management”, IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 149, No.1, janeiro de 2002, pp 37-43.
- [U2002] Uturbey, W., “Modelagem de Efeitos Intertemporais no Fluxo de Potência Ótimo: Abordagem do Gerenciamento pelo Lado da Demanda”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, Maio 2002.
- [WV95] Wu, F. e Varaya, P.; *Coordinated Multilateral Trades for Electric Power Networks*. Internal Report, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, University of Berkeley, Aug., 1995.
- [ZI97] Zobjan, A. e Ilic, M. D.; “Unbundling of Transmission and Ancillary Services, Part I”. *IEEE Trans. on Power Systems*, v. 12, n. 2, May, 1997. p. 548.
- [ZIR03] R. Zirbes, “Metodologias para Avaliação e Diagnóstico do Estado de Isolamento de Papel Impregnado com Óleo Mineral” - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Março 2003.