

## 8 Conclusões e Trabalhos Futuros

### 8.1 Conclusões

Mostrou-se no Capítulo 1 que existe uma grande preocupação com a garantia da remuneração dos serviços ancilares, principalmente das reservas de potência operativa, na grande maioria dos sistemas elétricos pesquisados. Observa-se que a forma mais comum de definição dos valores das remunerações dos SAs é através de mecanismos de mercado, com leilões nos quais os fornecedores apresentam ofertas compostas pela quantidade de serviço oferecida e pelo seu preço, podendo haver também ofertas simultâneas para a sua compra. O valor a ser pago a todos os fornecedores selecionados, isto é, o preço marginal ou preço de liquidação do mercado, é o preço da última oferta (a mais cara) aceita para atender às necessidades do comprador (ver Apêndice A).

No Capítulo 2 foi feita uma análise comparativa entre os 'encargos de capacidade' que representam pagamentos que a carga efetua pela capacidade disponibilizada, e os pagamentos pelos serviços ancilares de reserva de potência operativa para confiabilidade. Com isto, são esclarecidas as diferenças entre estes dois conceitos, do ponto de vista dos resultados já conhecidos da sua aplicação em diversos sistemas elétricos, e do ponto de vista das metodologias propostas para a sua implementação no sistema elétrico brasileiro. Verifica-se a possibilidade de uma interação prejudicial entre estes encargos, as tarifas de energia elétrica com componentes de demanda e a remuneração das reservas de potência operativa, que poderia levar a ônus desnecessário e excessivo para a carga, representado por uma multiplicidade de pagamento por confiabilidade. Apesar da interação entre tarifas de demanda e encargos de capacidade não constituir um objetivo específico do presente trabalho, ela teve que ser abordada, em função do seu relacionamento com a cobertura de custos fixos de geração, problema que aparece também no caso da remuneração das reservas de potência operativa. Verificou-se que a experiência não tem recomendado o uso dos encargos de capacidade, segundo o modelo inglês, devido às chances de especulação e manipulação de preços. A principal conclusão neste capítulo, é que a adoção de uma política de remuneração de reservas de potência operativa com a presença de um nível razoável de regulamentação é o caminho mais recomendável para se garantir a confiabilidade de um sistema elétrico. Além de resolver a questão específica da

remuneração dos serviços de reserva, pode garantir a recuperação do custo de oportunidade da maior parte da capacidade não despachada (o que vem a incentivar a expansão do parque gerador, apesar da característica de curto prazo de tal política) podendo contribuir para suavizar 'picos' de preço da energia. Os encargos de capacidade, determinados pelo modelo inglês, ou por meio de outro modelo talvez mais apropriado, poderiam ser mantidos apenas para o restante da capacidade, quase sempre não despachada ou raramente despachada, de maior custo, representada pelas usinas que podem realmente ser classificadas como 'de ponta'. A remuneração proporcionada por estes encargos já estaria também contemplando o pagamento das reservas de substituição.

No Capítulo 3 fez-se uma avaliação dos custos incorridos na prestação dos serviços ancilares de reserva de potência operativa e regulação de frequência, com a finalidade de permitir uma visão geral do nível de custos incorridos, mas sem defini-los com absoluta precisão. Foram encontrados valores típicos, aproximados, para os principais custos, uma vez que eles dependem do tipo da unidade geradora (hidráulica ou térmica), de suas características individuais, da concepção de projeto, da capacidade das unidades, da configuração da usina, do tipo de turbina, etc.

Foi analisado o custo de oportunidade gerado, inclusive em ambientes competitivos, concluindo-se que ele representa o maior componente do custo final. Foram considerados também os custos mais representativos, diretamente relacionados a cada modalidade de serviço, levando-se em conta as características próprias e o estado operacional das unidades geradoras participantes. Outros custos específicos não foram considerados, por serem desprezíveis ou de difícil verificação, e também porque não faz parte do escopo deste trabalho. O custo de oportunidade foi analisado ainda sob o ponto de vista do investimento de capital, principalmente no que diz respeito ao tempo de uso da usina, do seu fator de capacidade, e dos contratos iniciais, no caso brasileiro.

Em relação às usinas novas, pode-se concluir que os custos incorridos nos serviços de reserva de potência operativa e regulação de frequência são muito mais significativos quando é necessário restringir-se a geração das máquinas, a partir de um ponto de despacho 'desejado', principalmente pelo custo de oportunidade. No caso das usinas hidráulicas, estes são praticamente idênticos aos custos da geração de energia devido aos baixos custos variáveis. Como esta restrição geralmente ocorre no caso da regulação de frequência, este se torna o serviço de maior custo, principalmente nos sistemas com

predominância de usinas hidráulicas, por causa dos seus altos custos de investimento. Se o custo de oportunidade não for devidamente recuperado, haverá ainda uma diminuição do fator de capacidade da unidade geradora após um certo período, com um conseqüente aumento do seu custo fixo.

Quanto às usinas antigas, já amortizadas, verifica-se que o custo incorrido na prestação dos serviços em estudo é muito menor, pois o custo de oportunidade não envolve mais o investimento de capital, o que as torna as mais indicadas para o serviço de regulação de freqüência.

Concluiu-se ainda que a colocação de usinas em operação, principalmente as térmicas, com o objetivo exclusivo de fornecer reservas de confiabilidade, exerce também grande influência no aumento dos custos incorridos, pela presença de custos operacionais.

No Capítulo 4, a necessidade da remuneração das reservas operativas e da regulação de freqüência foi justificada em função do valor agregado à energia elétrica fornecida, representado pela melhoria da sua qualidade e da sua confiabilidade. Foram feitas considerações relativas à eficiência econômica que se deve manter nas transações comerciais envolvendo estes serviços, mesmo em ambientes com pouco ou nenhum aspecto competitivo. Com o objetivo de se garantir a cobertura dos custos incorridos pelos agentes participantes, e ao mesmo tempo limitar os valores das remunerações, propõe-se ainda, um procedimento para se determinar um 'valor teto' para elas. A proposta geral de remuneração apresentada calcula *ex-post*, os pagamentos pelos serviços prestados, através do benefício por eles agregado ao sistema elétrico. São definidas parcelas separadas de remuneração para as reservas operativas de confiabilidade, para as reservas de regulação de freqüência e para o serviço de regulação de freqüência, além de se distinguir os períodos de regulação 'para cima' e 'para baixo', justificando-se todo o procedimento proposto. Este pode ser aplicado tanto em ambientes regulamentados, onde os custos são informados pelos fornecedores, ou em ambientes competitivos onde se usem leilões, nos quais são apresentadas e selecionadas ofertas para a prestação dos serviços, com base em preços ou custos. Neste caso, as remunerações calculadas funcionariam como limitadores ou balizadores dos pagamentos a serem efetuados aos agentes selecionados.

A metodologia desenvolvida no Capítulo 5, visando a remuneração do benefício agregado ao sistema pelas reservas operativas para confiabilidade, tem como filosofia a

remuneração diferenciada de cada unidade geradora participante pelo incremento que ela é capaz de proporcionar à confiabilidade de curto prazo do sistema elétrico. Assim, as remunerações obtidas têm como base a característica individual de confiabilidade de cada unidade, além de considerar o desempenho do sistema elétrico, quanto à sua probabilidade de perda de carga. Elas são inversamente proporcionais à taxa de falha das unidades e diretamente proporcionais a LOLP do sistema. Assim, ao mesmo tempo em que se incentiva as usinas a otimizarem os seus procedimentos de manutenção, aumentando a sua confiabilidade, cria-se um mecanismo de oferta e demanda dos serviços capaz de conseguir incentivar a expansão da geração através das ofertas de reserva operativa. Os procedimentos e algoritmos desenvolvidos foram testados por meio de um estudo de caso envolvendo dados reais de carga e geração do sistema elétrico brasileiro, com a contabilização mensal *ex-post* dos pagamentos a serem efetuados aos agentes participantes. Os resultados obtidos mostram que é possível a remuneração das reservas operativas para confiabilidade, com a recuperação do custo de oportunidade e demais custos incorridos, inclusive no sistema elétrico brasileiro, sem onerar de forma considerável os consumidores.

A filosofia da metodologia proposta para a remuneração do benefício proporcionado pelo serviço de regulação de frequência e pelas reservas operativas a ele destinadas, apresentada no Capítulo 6, baseia-se no incremento obtido na eficiência da regulação de frequência do sistema, ao se incrementar o nível de reservas. Tornou-se necessário, portanto, que se desenvolvesse um algoritmo para a determinação de um fator capaz de avaliar esta eficiência. O algoritmo adotado utiliza os desvios de frequência observados, em relação ao valor nominal, para gerar um fator de eficiência para a regulação de frequência, a cada hora. A eficiência demonstrada depende da amplitude dos desvios e do tempo de permanência da frequência afastada de seu valor nominal. O procedimento desenvolvido determina remunerações horárias, específicas para o serviço de regulação de frequência, que são diretamente proporcionais ao incremento da eficiência e inversamente proporcionais ao nível de reservas para regulação praticado. Além disto procura-se premiar a regulação, com maior remuneração, quando a frequência se encontra abaixo do valor nominal, notando-se grande superioridade das remunerações nos períodos de carga pesada. Incentiva-se desta forma a melhoria das características individuais de regulação das unidades geradoras, e a melhoria dos valores da frequência, pela manutenção de níveis adequados de reservas para regulação. Estas, juntamente com as remunerações horárias pelas reservas operativas envolvidas, determinadas por meio dos procedimentos implementados no Capítulo 5, formam os valores finais das

remunerações da regulação de frequência. Realizou-se um estudo de caso completo, utilizando dados reais de frequência do Sistema Interligado Nacional, com a contabilização *ex-post* dos pagamentos totais dos participantes. Dois outros estudos de caso são ainda implementados, o primeiro deles considerando apenas o cálculo dos fatores de eficiência horária da regulação de frequência. O terceiro estudo de caso determina o pagamento final às unidades geradoras envolvendo, além da remuneração pelo serviço prestado, os custos por elas incorridos. Com o segundo estudo de caso mostra-se ser possível também a remuneração do serviço de regulação de frequência e das reservas operativas necessárias, recuperando-se da mesma forma todos os custos, com pequeno impacto financeiro sobre os consumidores. Mesmo aplicando-se simultaneamente esta remuneração e a das reservas operativas para confiabilidade, como geralmente acontece, este impacto continua aceitável.

No Capítulo 7, em primeiro lugar são apresentados de forma resumida o mecanismo de realocação de energia (MRE) adotado no sistema elétrico brasileiro e os aspectos financeiros a ele relacionados. Muitas usinas sujeitam-se a um déficit de geração mensal, em relação à energia assegurada, que pode ser causado por motivos variados, sendo um deles a participação nos serviços de reserva operativa e regulação de frequência. Entretanto, este não é um dos motivos previstos para serem cobertos pelo MRE, o que exige que se verifique o quanto desses custos já seria recuperado pelo referido mecanismo. Concluiu-se que existiria interferência deste mecanismo caso fosse adotada uma remuneração das reservas operativas no Brasil, relacionada à cobertura do custo de oportunidade e dos custos específicos dos serviços analisados.

Constatou-se que o MRE promove a recuperação da parte mais substancial do custo total incorrido pelos serviços, que seria o custo de oportunidade. Verificou-se que paralelamente entretanto, ele cria uma nova modalidade de custo, denominado 'custo de compensação da geração', cuja parcela referente às reservas operativas deveria ser ressarcido às usinas receptoras de energia no MRE.

Mostrou-se como este ressarcimento seria feito através da modificação da remuneração das reservas operativas, incluindo-se nela os valores indevidamente cobrados, referentes à parcela da energia não gerada, para uso como reserva operativa. Mostrou-se ainda como proceder com a remuneração, no caso de haver redução da energia assegurada, já que nesta hipótese nem todo o custo de oportunidade é coberto pelo MRE e nem todo o custo de compensação da geração precisa ser ressarcido. Caso hajam custos

específicos incorridos na prestação dos serviços, eles devem ser também recuperados, conforme proposto. Como a análise efetuada neste capítulo diz respeito exclusivamente ao sistema elétrico brasileiro, devido à iminência de profundas alterações no atual modelo do setor elétrico, optou-se por não desenvolver ainda estudos de casos específicos.

O trabalho desenvolvido apresenta metodologias eficientes, de implementação pouco exigente em termos de esforço computacional e que utiliza dados normalmente disponíveis nos sistemas elétricos, não exigindo medições especiais. Com elas chegam-se a valores justos e consistentes com o que se pratica mundialmente, para a remuneração das reservas de potência operativa, para confiabilidade e regulação de frequência e do serviço de regulação de frequência, sem elevação considerável dos custos da energia elétrica para os consumidores.

Pretende-se que o trabalho possa servir de suporte para diferentes entidades ou agentes, com diversas finalidades, principalmente:

- formação de preços e tarifas para o serviço de reserva de potência operativa, por parte de entidades reguladoras;
- formação de preços por parte de agentes fornecedores, para uso em contratos bilaterais de fornecimento do serviço;
- auxílio aos participantes na formação das ofertas em ambientes competitivos, onde haja definição de preços dos serviços considerados, com base em leilões;
- auxílio a entidades de mercado na avaliação e balizamento de valores, em procedimentos de seleção de ofertas dos serviços.

## **8.2 Contribuições Originais**

A metodologia geral de remuneração das reservas operativas proposta, com a distinção entre reservas para confiabilidade e para regulação de frequência, isolando-se ainda a remuneração do serviço de regulação como uma atividade diferenciada, pode ser encarada como uma contribuição original à pesquisa e ao desenvolvimento voltados aos serviços auxiliares à operação do sistema elétrico.

Da mesma forma, podem ser consideradas originais as metodologias específicas implementadas para a remuneração das reservas operativas para confiabilidade e para a

regulação de frequência, pela introdução de novos conceitos e técnicas, e pelo perfil que pode vir a permitir a sua aplicação, tanto em ambientes com caráter regulamentado quanto competitivo.

Nestas metodologias é possível destacarem-se diversos aspectos que podem se caracterizar como contribuições originais, tais como:

- remuneração das reservas para confiabilidade com base no incremento da confiabilidade do sistema elétrico, através da diminuição da LOLP, produzido por um aumento destas reservas;
- remuneração individualizada de cada unidade geradora participante, com base no incremento por ela conseguido na confiabilidade do sistema elétrico, ou seja, a remuneração do benefício individual da unidade;
- técnica utilizada para o cálculo da taxa de diminuição da LOLP, para cada unidade geradora, pela simulação da entrada sucessiva em operação de unidades geradoras com as mesmas características;
- utilização da taxa de aumento da eficiência da regulação de frequência, em função do aumento das reservas específicas, para a determinação dos pagamentos por este serviço;
- técnica utilizada para a diferenciação das remunerações horárias pelo período em que a frequência encontra-se abaixo do seu valor nominal, isto é, em que a regulação é feita 'para cima'.

Tomando apenas o Brasil como referência, todo o trabalho desenvolvido constituiria uma contribuição original, uma vez que neste sistema ainda não se havia apresentado uma proposta completa visando pagamentos pelos serviços de reservas operativas e regulação de frequência, direcionada a ambientes não competitivos. No processo de reestruturação do modelo do setor elétrico brasileiro que se encontrava em curso até o final de 2003, houve a possibilidade de que estes pagamentos se implantassem, sendo preciso então uma metodologia para isto. Entretanto, com a proposta de se interromper a implementação de tal modelo, optando-se por um outro, com filosofia muito diferente, a

ser implantado a partir de 2004, é necessário aguardarem-se as novas diretrizes relativas aos serviços ancilares.

### **8.3 Sugestões para o Desenvolvimento de Trabalhos Futuros**

A pesquisa desenvolvida nesta tese enseja a possibilidade de que diversos outros trabalhos sejam desenvolvidos, com o objetivo de trazer a ela maior eficiência, ou de se desenvolverem novas aplicações. Algumas sugestões de pesquisa seriam:

- análise da possibilidade de aplicação da metodologia desenvolvida na remuneração de outros serviços ancilares, como por exemplo o suporte de potência reativa;
- análise da possibilidade de utilização da teoria de jogos, em conjunto com a metodologia proposta, para otimizar a distribuição da remuneração total recebida entre os agentes fornecedores;
- implementação dos procedimentos que fossem necessários para possibilitar a aplicação da metodologia proposta em ambientes com perfil competitivo;
- implementação de ferramenta computacional para o cálculo da LOLP, adaptada para a metodologia proposta, de forma a agrupar este cálculo e a geração das curvas dos benefícios incrementais em uma única ferramenta, visando diminuir o esforço computacional e otimizar os algoritmos utilizados;
- introdução da remuneração individualizada das unidades geradoras, conforme as suas características próprias de desempenho na regulação da frequência do sistema;
- estudo do uso do erro de controle de área para diferenciação das remunerações entre as áreas de controle do sistema elétrico, com base no seu desempenho próprio, com análise das contribuições entre áreas dos benefícios da melhoria da confiabilidade e da regulação de frequência;
- definição de critérios para o repasse dos pagamentos dos serviços ancilares analisados aos diferentes segmentos consumidores;

- análise das vantagens e desvantagens da utilização de outros parâmetros para avaliação do desempenho da regulação de frequência e da confiabilidade do sistema elétrico;
- determinação de um valor de custo específico associado à deficiência de regulação de frequência no sistema;
- estudos visando o conhecimento detalhado dos custos incorridos pelos agentes prestadores dos serviços, principalmente aquele relacionado à operação das unidades geradoras fora do seu ponto de máximo rendimento.

