



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR

CONTRATAÇÃO ÓTIMA DO USO DA TRANSMISSÃO: A GESTÃO INTEGRADA DOS RISCOS

Leontina Pinto(*) Jacques Szczupak Daniel Sica
Luiz Macêdo Débora Tortelly
ENGENHO

Robinson Semolini Daniel Cunha
Bruno Curione Sérgio Altieri
ELEKTRO

RESUMO

Este trabalho apresenta um novo modelo para a contratação do uso do sistema de transmissão, integrando todos os seus passos: a projeção do consumo/demanda, a consideração da operação da rede (inclusive manobras) e os riscos da tomada de decisão, valorados pelos seus custos associados. O resultado é um conjunto de modelos matemáticos integrados em uma plataforma computacional desenhada para o setor/mercado brasileiros e sua regulação, incorporando as percepções e metas da empresa e do agente.

PALAVRAS-CHAVE

Contratação MUST, Contratação Uso da Transmissão, Projeção Cenários Demanda, Gestão de Riscos

1.0 - INTRODUÇÃO

Sabe-se que os distribuidores devem remunerar as transmissoras de acordo com o uso do sistema. A Resolução Normativa 399/2010 descreve em detalhes as regras de contratação deste serviço, incluindo a definição da TUST - Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão - e do MUST - Montante de Uso do Sistema de Transmissão.

O custo de contratação de uso do sistema de transmissão é significativo e tende a aumentar com o crescimento da demanda. Os riscos são bastante altos, e devem crescer ainda mais, porque espera-se que o ONS passe a cobrar penalidades por possíveis desvios - na previsão (ultrapassagem ou sobrecontratação). É fundamental a construção de um modelo específico para este problema - que, apesar de real e imediato, ainda carece de metodologias estruturadas e confiáveis para a solução.

A Figura 1 apresenta o número de pontos de conexão à Rede Básica por distribuidora. A Elektro possui 113 pontos, aproximadamente o triplo da COPEL, a segunda colocada. É possível observar a importância deste problema para a Elektro e o impacto de uma contratação mal planejada.

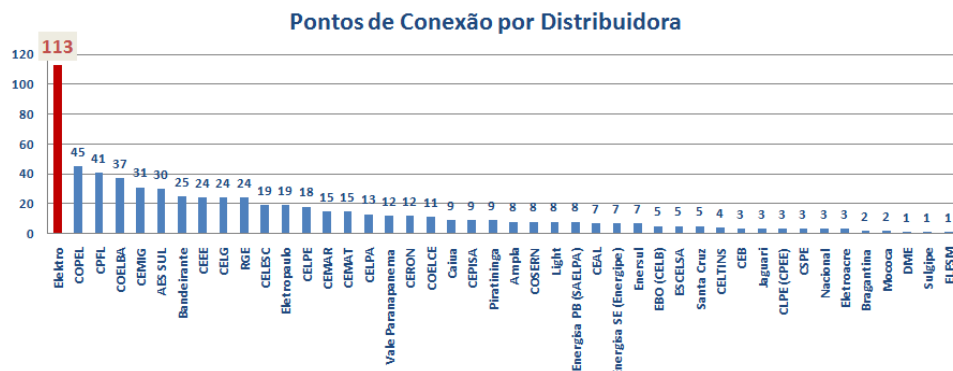


Figura 1 – Número de Pontos de Conexão à Rede Básica

(*) Av. Cândido Portinari, 400 – CEP 22 793-312 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel/fax (+55 21) 3329-3662 –Email: leontina@engenh.com

Os valores envolvidos são significativos e sugerem a análise criteriosa e a eficiente gestão dos riscos consequentes. O objetivo deste trabalho é exatamente este: a descrição de um modelo para a análise e gestão de riscos na definição do MUST a ser contratado.

2.0 - METODOLOGIA PROPOSTA

Este trabalho apresenta um modelo integrado, ilustrado na Figura 2, dividido em três módulos independentes, que serão detalhados a seguir:

- levantamento das configurações de operação possíveis para a rede (incluindo manobras e chaveamentos)
- levantamento das cargas por alimentador ao longo do tempo
- simulação dos cenários de configurações e cargas, calculando os possíveis valores para as máximas cargas em cada ponto de conexão (montante de uso de transmissão), bem como suas probabilidades associadas
- cálculo da decisão da contratação ótima e gestão dos riscos de contratação

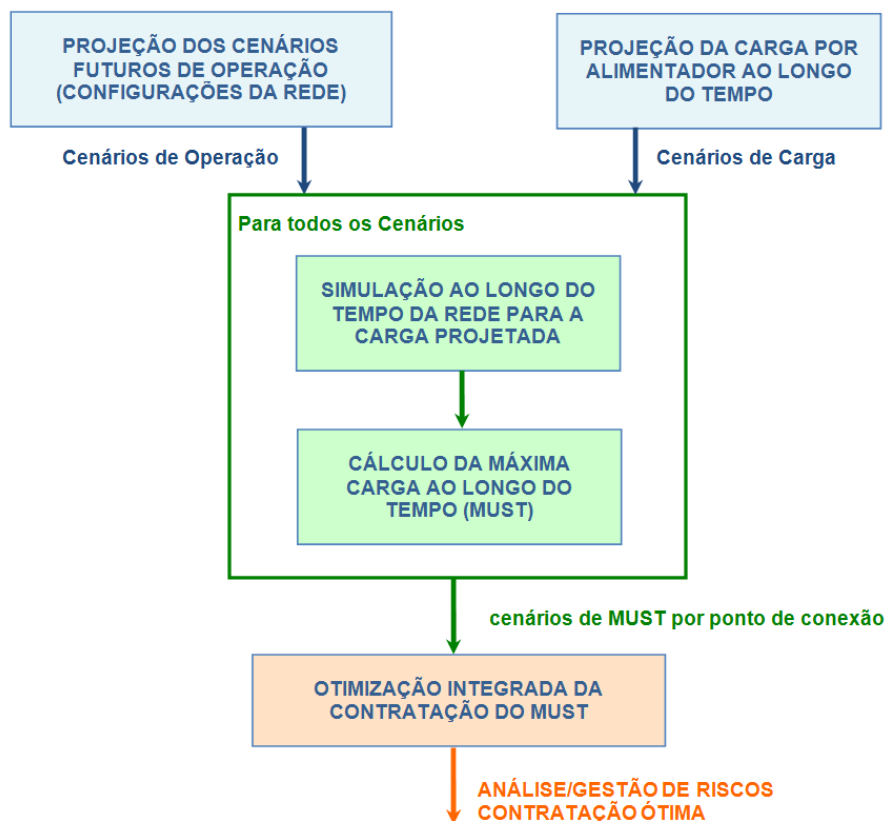


Figura 2 – Metodologia do Cálculo da Contratação do MUST

2.1 A projeção de cenários futuros

A projeção de cenários futuros exige o uso de ferramentas especializadas, capazes de realmente produzir cenários realistas e confiáveis - vale sempre lembrar o perigo da super- ou sub-contratação, severamente penalizadas. Utilizamos neste trabalho um modelo de projeção especialmente desenhado para a Elektro e para o setor de energia, capaz de identificar a dinâmica de consumo em cada alimentador e sua evolução ao longo do tempo. Cenários de operação são derivados do próprio planejamento da operação, que possui a lista de possíveis eventos futuros e procedimentos operativos a eles associados.

2.2 Simulação conjunta dos cenários de demanda/operação

Conhecidos os cenários futuros de consumo/demanda em cada alimentador e possíveis manobras operativas, é possível simular os futuros cenários de operação e desenhar a região de possíveis montantes efetivamente "drenados" da rede de transmissão - em outras palavras, pode-se construir a curva de probabilidades associadas ao MUST.

2.3 Análise e Gestão de Riscos

A curva de possíveis cenários futuros de MUST é um dado importante, mas ainda não suficiente: presta-se à análise, mas não à gestão dos riscos de contratação. Por exemplo, sabe-se que os cenários são relacionados, e um alto MUST em um ponto pode significar um remanejamento de carga que leva à redução do MUST em outro ponto da rede. É importante integrar este conhecimento de modo a mitigar os riscos de contratação.

Nosso objetivo é definir uma "cesta" de produtos capazes de garantir um nível máximo de risco aceito pelo agente, integrando *todos* os pontos de conexão, construindo um verdadeiro portfólio para a contratação do MUST mitigando os riscos associados aos possíveis cenários futuros de evolução da demanda.

3.0 - GERAÇÃO DOS CENÁRIOS FUTUROS DE OPERAÇÃO

Em princípio, a demanda no ponto de conexão à rede é calculada como o máximo da carga, ao longo do ano, refletida ao ponto de conexão (incluindo, portanto, as perdas da rede a ele associada). No entanto a rede associada aos pontos de fronteira não é fixa. Tomemos como exemplo o trecho de rede ilustrado na Figura 3, que apresenta seis alimentadores conectados aos pontos F_1 e F_2 , onde o alimentador A_3 é normalmente ligado a F_1 .

A demanda associada a cada ponto de conexão é dada pela máxima carga suprida ao longo do tempo em estudo (um ano) "vista" do ponto de fronteira e será dada portanto pelo valor máximo, ao longo do tempo, da soma entre as cargas dos alimentadores A_1 , A_2 e A_3 , acrescidas das perdas associadas. - denotada, neste trabalho, pela função f e facilmente calculada através de um modelo de fluxo de carga [1]. Analogamente, a demanda associada ao ponto de conexão F_2 corresponde à máxima carga ao longo do tempo "vista" a partir do ponto e será calculado através de um fluxo de carga a partir da carga total dos alimentadores A_4 , A_5 e A_6 , acrescida das perdas associadas.

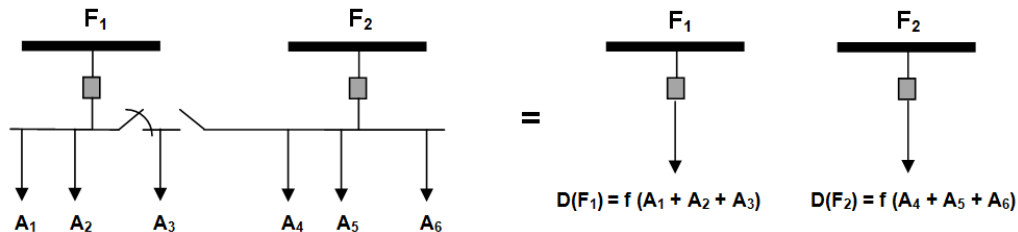


Figura 3 - Demandas vistas dos pontos de fronteira

No entanto, uma emergência (que inclui inclusive o aumento da sua demanda) pode exigir a transferência (o "chaveamento") desta carga para a fronteira F_2 , menos sobrecarregada. Neste caso, a Figura 3 transforma-se na Figura 4, e os cálculos das demandas vistas a partir dos pontos de fronteira devem ser correspondentemente atualizados.

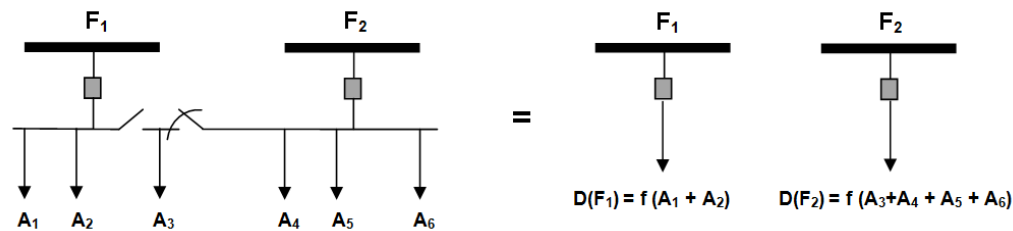


Figura 3 - Demandas vistas dos pontos de fronteira após manobra operativa

Finalmente, é importante lembrar que os cenários podem ser dependentes da demanda - isto é, cargas mais altas poderiam exceder os limites da rede, levando à necessidade de manobras de chaveamento. Em outras palavras, a configuração "chaveada" é associada à alta demanda, e os dois cenários são interdependentes.

4.0 - PROJEÇÃO DE CENÁRIOS DE DEMANDA FUTUROS

4.1 A definição da precisão necessária

A demanda anual do MUST é definida como a máxima carga requerida nos pontos de fronteira. Depende, portanto, dos clientes efetivamente conectados a cada ponto e da evolução da carga/perdas a eles associada. É importante notar que esta previsão deve ser realizada de maneira precisa e confiável. Uma simples divisão por fatores de participação - que possivelmente não se mantenham ao longo do tempo - poderá introduzir erros capazes de impactar o resultado e colocar em risco a decisão a ser tomada.

Propomos, assim, uma metodologia que chegue à precisão da projeção da evolução anual da carga por alimentador, com a maior discretização possível (por exemplo, patamares semanais). Esta "granularidade" permite a modelagem elétrica precisa dos circuitos necessária à simulação das manobras operativas e obtenção realista dos possíveis montantes realmente utilizados em cada ponto de conexão.

4.2 O algoritmo básico de projeção

O processo de projeção da dinâmica futura de uma variável em estudo requer:

- a identificação das variáveis explicativas - capazes de "explicar" a evolução da variável em estudo (explicada)
- a identificação do modelo relacional que associa a evolução da variável explicada à evolução de suas variáveis explicativas
- a projeção da evolução da variável explicativa (ou, melhor ainda, dos seus possíveis cenários futuros)
- a projeção da evolução da variável explicada a partir dos cenários futuros das explicativas e seu modelo relacional

As referências [2-4] apresentam o modelo para a projeção da dinâmica futura de uma variável de interesse, incluindo a consideração das incertezas de previsão, que vem sendo adotado com sucesso na projeção de cenários de consumo e mercado, incluindo a projeção por classes (residencial, comercial, industrial, rural, etc.). O modelo é baseado em análise funcional e Espaços de Hilbert, de forma a decompor automaticamente a variável em análise em suas componentes explicativas, como ilustrado na Figura 4. As incertezas associadas à previsão são calculadas a partir do "mapeamento" das incertezas associadas às variáveis explicativas (e não a erros não explicados, como nas metodologias tradicionais).

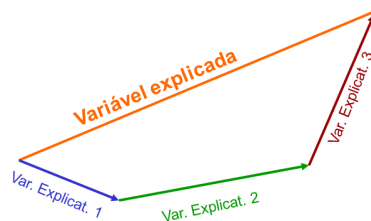


Figura 4 – Decomposição da variável explicada em suas variáveis explicativas

A Figura 5 ilustra o esquema da consideração de incertezas na previsão a partir das incertezas nas variáveis explicativas. É possível observar que estas incertezas correspondem ao mapeamento das explicações e não de erros de aproximação, como em muitos dos clássicos modelos estatísticos/neurais.

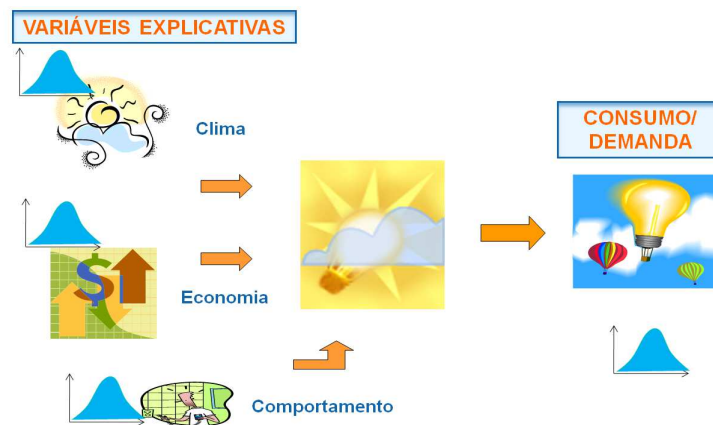


Figura 5 –Projeção sob incertezas (representadas pelas curvas de distribuição de probabilidades, em azul)

4.3 Aplicação à projeção da carga/demanda

Disponível o modelo, a aplicação à projeção por alimentador seria intuitivamente uma extensão automática. No entanto, isso não é verdadeiro: a projeção para as (muitas) centenas de alimentadores de uma empresa é, na realidade, um desafio de porte. É necessário um processo quase que artesanal para a busca das variáveis explicativas (que podem variar de região para região), a construção dos modelos de decomposição específico, a projeção futura - um trabalho praticamente impossível considerando o elevado número de alimentadores e suas especificidades. Por outro lado, a simples desagregação em fatores de participação desprezaria a significativa evolução do mercado, que modifica constantemente a distribuição do consumo/demanda na região de concessão.

Novos desafios exigem novas soluções. A dimensão do problema só poderia ser reduzida com o agrupamento (clusterização, em linguagem especializada) de consumidores com características semelhantes. Construímos, para tanto, um modelo matemático capaz de identificar e classificar automaticamente o consumo nos alimentadores em grupos com características e evolução semelhantes. O modelo final, descrito mais detalhadamente em [5], pode ser resumido através dos seguintes passos:

1. Coleta das séries temporais do consumo/demanda para cada alimentador
2. Estratificação ótima destas séries temporais em grupos (ou "clusters"). O modelo de clusterização, descrito em [5], baseia-se em dois critérios (simultaneamente atendidos): as distâncias média e máxima entre os elementos de cada vetor.
3. Cálculo da série representativa de cada grupo, conhecida como o "centróide de cada cluster"
4. Tratamento de cada centróide: identificação das variáveis explicativas, construção do modelo relacional e projeção dos cenários futuros
5. Aplicação do modelo construído para o centróide a cada série do grupo, gerando assim, automaticamente, as projeções de cenários associados

Evidentemente, este algoritmo só será adequado se for possível, realmente, agrupar as séries de consumo/demanda por alimentador em um conjunto relativamente pequeno de grupos, que possam ser estudados individualmente. Este é, em nossa experiência, o caso do mercado brasileiro - que possui alguns poucos "modos" evolutivos e é especialmente adequado à clusterização. No caso da Elektro, 86% dos clientes foram concentrados em 10 grupos. Muitos dos clientes que demandaram grupos específicos são já parte da carteira dos "clientes especiais", que possuem dinâmica específica e conhecida, tratada por setores específicos da empresa.

4.4 Alguns Resultados

A Figura 6 apresenta alguns dos grupos encontrados e as séries de seus componentes. É possível observar a coerência do algoritmo de clusterização, o que justifica os bons resultados de previsão ilustrados na Figura 7. Vale notar que o único erro significativo de previsão ocorre em dezembro de 2008, e é causado pelas férias coletivas consequentes da crise econômica - um evento absolutamente imprevisível.

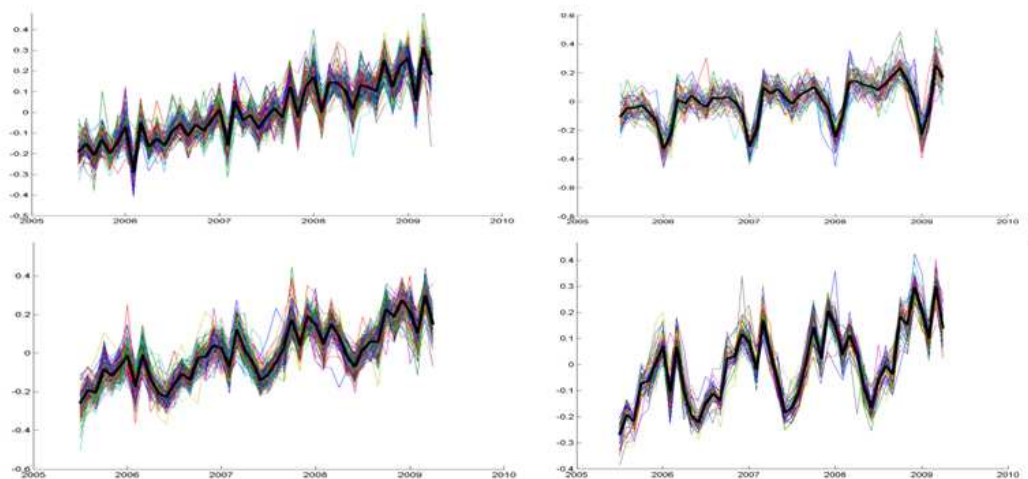


Figura 6 - Agrupamento das séries de consumo/demanda dos alimentadores

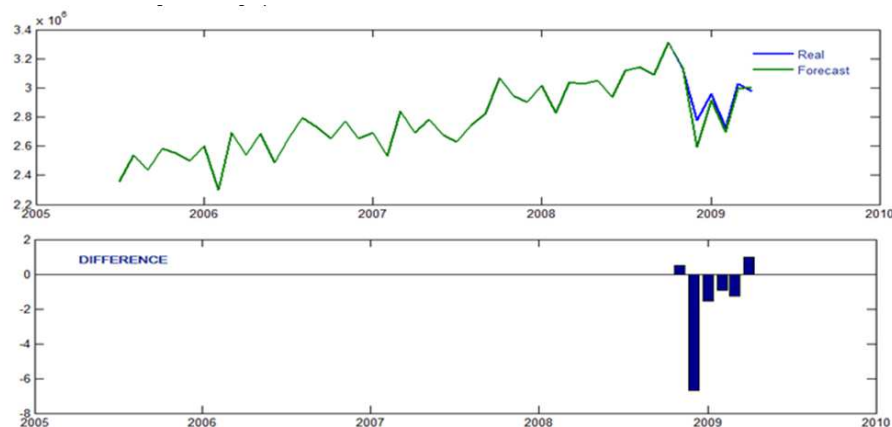


Figura 7 - Erros típicos de projeção por alimentador - pior caso: crise econômica

5.0 - A SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS FUTUROS DE OPERAÇÃO

Inicialmente, é importante lembrar que os cenários podem ser dependentes - isto é, uma demanda mais alta poderia causar sobrecargas à rede e requer a manobra de chaveamento - em outras palavras, a configuração "chaveada" só existe porque a demanda ultrapassou um valor limite para a rede original. Assim, os cenários de operação e demanda são gerados e simulados em conjunto, considerando todos cada interdependência existente.

O levantamento destes cenários é feito em conjunto com a equipe de Planejamento da Operação e parte das contingências/mitigadores já estudados, bem como dos procedimentos operativos a serem realizados. Estes cenários e procedimentos associados são, evidentemente, informações confidenciais da empresa e não serão aqui detalhados. A simulação de cada cenário é feita em dois passos:

1. Simulação da rede/carga ao longo do tempo através de um fluxo de carga especializado para a distribuição, parametrizado para permitir uma maior eficiência [6].
2. Cálculo da MUST: máxima carga observada para cada cenário simulado

A simulação de cada cenário gera o Montante de uso do sistema de transmissão associado, bem como sua probabilidade de ocorrência. O processo de simulação de todos os cenários constrói, portanto, a região de probabilidades do MUST por ponto de conexão, ou equivalentemente sua distribuição de probabilidades acumuladas, como ilustrado hipoteticamente na Figura 8.

Uma leitura apressada dos resultados da simulação poderia levar a uma solução intuitiva para a contratação do MUST: bastaria fixar um risco máximo desejado e obter o valor associado do MUST a ser contratado - por exemplo o valor M^* associado a um risco $(1-P^*)$. Embora intuitiva, esta solução é possivelmente incorreta: como a demanda dos diversos pontos de conexão é inter-relacionada, o risco não pode ser analisado de forma independente. É necessária uma gestão capaz de considerar estas inter-relações, calcular o risco do problema integrado e encontrar a melhor solução para o contratação conjunta.

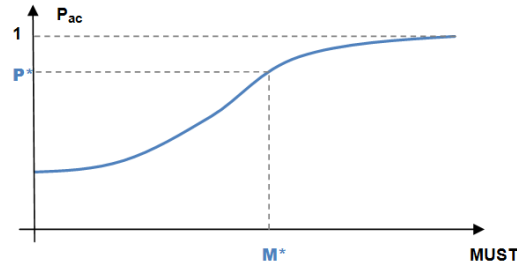


Figura 8 - Distribuição de Probabilidades acumuladas do MUST para um ponto de conexão

6.0 - A GESTÃO INTEGRADA DOS RISCOS E A CONTRATAÇÃO ÓTIMA

O cálculo dos riscos de contratação do MUST exige a análise, para cada cenário, das possíveis sobras ou exposições do MUST contratado para cada ponto de conexão. A solução ótima do problema pode ser escrita como

$$\text{Min } \sum_s p_s [\sum_c c_e E(s, c) + c_u U(s, c)] \quad (1)$$

$$E(s, c) = \text{Min}_t \{0, [M(c) - C(s, c, t)]\} \quad \forall t \quad (2)$$

$$U(s, c) = \text{Max}_t \{0, [C(s, c, t) - M(c)]\} \quad \forall t \quad (3)$$

onde p_s é a probabilidade do cenário s

c_e e c_u são respectivamente os custos do excesso e da ultrapassagem nos contratos

$E(s, c)$ e $U(s, c)$ são respectivamente o excesso e ultrapassagem verificados no cenário s , ponto de conexão c para qualquer instante t do horizonte de estudo

$M(c)$ é o montante contratado para o ponto de fronteira s

$C(s, c, t)$ é a carga verificada para o cenário s , ponto de fronteira c no instante t

O problema (1-3) pode ser estendido para a inclusão de restrições de gestão - por exemplo, não se deseja correr o risco de um custo de ultrapassagem maior que um limite ε aceitável - conhecido como máximo valor em risco (VAR). Valores em risco condicionados (CVAR) ou outros requisitos podem ser igualmente incluídos.

$$c_u U(s, c) \leq \varepsilon \quad \forall s \quad (4)$$

A Figura 9 apresenta a distribuição de custos associada à decisão ótima da contratação do MUST para alguns cenários futuros. É possível notar a significativa abertura (incerteza) - que não pode ser evitada, dadas as características do problema e da empresa. O risco existe, é preciso conhecê-lo e traçar políticas para a sua gestão.

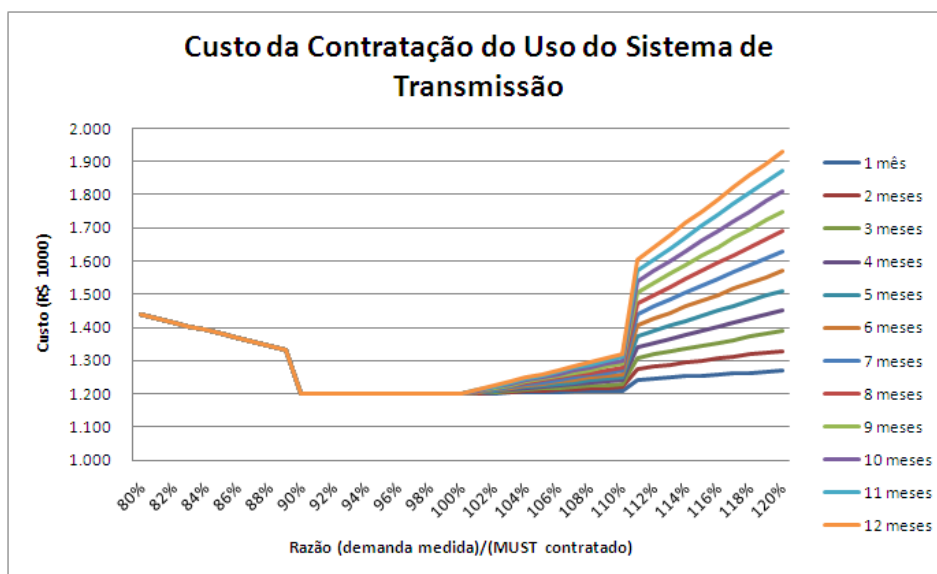


Figura 9 - Distribuição de custos associados à contratação integrada do MUST

7.0 - CONCLUSÃO

A contratação do Montante de Uso de Transmissão é um desafio de porte, que permeia áreas interdisciplinares tão amplas quanto a previsão da carga em cada ponto de fronteira ao longo do tempo, a simulação elétrica da rede e a gestão econômico/financeira dos custos e riscos associados. Descrevemos aqui uma metodologia completa que integra

- ✓ A projeção de cenários de carga por ponto de conexão ao longo do horizonte de estudo. Esta projeção é realizada de forma precisa, sem aproximações como fatores de participação ou crescimentos padronizados, capturando fielmente a dinâmica do consumo e seu impacto no MUST.
- ✓ A simulação da rede para os possíveis cenários de operação, incluindo restrições elétricas e procedimentos operativos, de forma a representar realisticamente as necessidades de MUST da empresa
- ✓ A gestão completa dos riscos de contratação, encontrando a solução que minimiza custos de penalidades e acomoda percepções e restrições da empresa - por exemplo, a aversão ao risco e limites ao valor em risco.

Como resultado, obtemos uma solução precisa e confiável, adequada às necessidades da Elektro e de seus clientes, minimizando riscos de ultrapassagens onerosas e desnecessárias, e enviando ao órgão centralizador (ONS) uma sinalização real das necessidades da região e seus consumidores.

É importante notar que este trabalho não pretende - e não poderia pretender - eliminar completamente os riscos da contratação do MUST. Estes sempre existirão - já que são consequência do comportamento humano, por definição instável e até certo ponto imprevisível. Nosso objetivo é delimitar completamente a região de incertezas de forma eficiente e realista, permitindo uma análise confiável e uma decisão que possa implementar as políticas e metas da empresa, mitigando ao máximo os riscos e mantendo seus impactos dentro de limites aceitáveis.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) A. Monticelli, A. Garcia, *Introdução a Sistemas de Energia Elétrica*, Editora Unicamp, 2003
- (2) J. Szczupak, L. Pinto, L. Macêdo, J. Pascon, R. Semolini, M. Inoue, C. Almeida, F. Almeida, "Load Modeling and Forecast based on a Hilbert Space Decomposition", *IEEE Power General Meeting*, 2007
- (3) (4) L. Pinto, J. Szczupak, C. Almeida, L. Macêdo, M. Inoue, R. Massaro, R. Semolini, J. Pascon, "Previsão inteligente de mercados de energia: mais que repetir o passado, antecipar o futuro", *XIX SNPTTE*, Rio de Janeiro, 2007

(4) L. Pinto, J. Szczupak, C. Almeida, L. Macêdo, M. Inoue, R. Massaro, R. Semolini, J. Pascon, E. Albarelli, D. Tortelly, "Load Forecast under Uncertainty: Accounting for the Economic Crisis Impact", *IEEE Powertech*, Bucharest, 2009

(5) D. Sica, L. H. Macedo, J. Szczupak, L. Pinto, R. Semolini and M. Inoue, "Granular Load Forecast by Clustering Techniques", *Naum/Wseas Power and Energy Conference*, Corfu, 2010

(6) L. Pinto, "Fluxo de Potência para o Cálculo da Demanda", *Relatório Engenho/Elektro*, 2011

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Leontina Pinto é engenheira elétrica pela UFRJ (1979), mestre em ciências em Engenharia de Sistemas pela COPPE/UFRJ (1981) e doutora em Matemática Aplicada pelo IM/UFRJ (1986). Foi pesquisadora do CEPEL, professora da COPPE/UFRJ e PUC-RIO e é atualmente diretora-executiva da Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda. Seus interesses incluem o planejamento/operação de sistemas de energia, a comercialização e gestão de riscos em mercados de energia, a projeção de cenários futuros de mercados e preços.

Jacques Szczupak, engenheiro elétrico pela UFRJ (1964), mestre em ciências pela COPPE/UFRJ (1967) e Ph.D. pela Universidade da Califórnia, 1975. Professor na COPPE/UFRJ, (1967-1972, 1975-1977, 1987-1989) e na PUC-RJ (1989-2007), pesquisador no CEPEL (1977-1987) e é atualmente diretor técnico-administrativo da Engenho, Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda. Seus interesses incluem o processamento digital de sinais e a modelagem e implementação de sistemas.

Daniel Sica é formado em Engenharia Elétrica/Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2007) e Mestre em Processamento de Sinais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2009), onde cursa atualmente o Doutorado na mesma área. Ingressou na ENGENHO em 2005, onde exerce atualmente o cargo de Gerente de Pesquisas para a área de projeção de cenários. Seus interesses envolvem a climatologia, mercado, carga, demanda e preços.

Luiz Henrique Macêdo é engenheiro eletricitista pela UFG (1999), mestre em Telecomunicações pela PUC-Rio (2001) e doutor em Processamento de Sinais pela PUC-Rio (2006). Desde 2006 é Gestor de Pesquisa da Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda. Seus interesses incluem a projeção de cenários climatológicos e de consumo para estudos energéticos, a análise e a simulação regulatória, e o desenvolvimento de plataformas de apoio à decisão voltadas para o setor.

Débora Tortelly é engenheira elétrica pela UFF (1976), pós graduada em Engenharia Econômica e Engenharia de Sistemas em Otimização pela Gama Filho (1981) e pela UNICAMP (1988), respectivamente, é Master of Business Administration (MBA) em Gestão de Energia e Economia pela COPPE/UFRJ (2009). Foi diretora executiva da Eletroger/AES, Management Developer do Grupo AES, Gerente de Planejamento e Gestão de Mercado do Grupo CPFL, Coordenadora de Planejamento de Expansão do Sistema Elétrico da Light e é atualmente diretora de estudos e aplicação da Engenho Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda. Seus interesses incluem o planejamento de expansão de sistemas de energia, a comercialização e gestão de riscos em mercados de energia, a projeção de cenários futuros de mercados.

Robinson Semolini é graduado em Estatística pela UNICAMP (1996) e Mestre em Engenharia Elétrica e de Computação pela UNICAMP (2002). É atualmente Gerente de Planejamento de Mercado na Elektro e realiza seu Doutorado em Economia pela UNICAMP.

Daniel Queiroz Vasconcelos Cunha é engenheiro eletricitista, graduado na Universidade Estadual de Campinas. Trabalha desde 2008 na área de compra de energia, da Elektro Eletricidade e Serviços S/A. Seus interesses abrangem as áreas de otimização de sistemas, gestão de riscos, comercialização de energia, contratação do uso do sistema de transmissão e assuntos regulatórios do setor elétrico.

Bruno Curione Almeida é graduado em administração de empresas pela PUC Campinas, pós-graduado em gestão de negócios pela FGV, MBA em Finanças pelo IBMEC-SP e Mestrando em Planejamento Energético pela Unicamp. Trabalha no setor Elektro desde 2000, onde exerceu diversos cargos e atualmente é gerente de suprimento de energia na Elektro Eletricidade e Serviços S/A. Suas áreas de interesse englobam a comercialização de energia, regulação, otimização e gestão de riscos.

Sérgio Augusto Alves Altieri é graduado em engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Campinas, pós-graduado em administração de empresas pela FGV/SP e MBA pelo IBMEC-SP. Trabalha no setor elétrico desde 2002, atuando principalmente na área comercial e de comercialização de energia. Seus interesses abrangem a comercialização de energia, regulação, otimização e gestão de riscos.