



Análise e Estudo de Mercado: A Inteligência Natural Alia-se à Artificial

Eng. José Pascon

ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A

Jose.Pascon@elektro.com.br

Márcia Inoue

ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A

Leontina Pinto

ENGENHO Pesq. Desenv. Consult. Ltda

Luiz H. Macêdo

ENGENHO Pesq. Desenv. Consult. Ltda

Fernão R. de Almeida

Consultor Independente

Robinson Semolini

ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A

Robinson.Semolini@elektro.com.br

Fernando Ziglio

ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A

Jacques Szczupak

ENGENHO Pesq. Desenv. Consult. Ltda

Daniel Sica

ENGENHO Pesq. Desenv. Consult. Ltda

Carlos E. Almeida

Consultor Independente

RESUMO

O mercado brasileiro foi duramente afetado pelo recente racionamento. Mudou o comportamento do consumidor, e a dinâmica contida no histórico disponível pode não ser mais realista, representando um passado recente, mas não o comportamento presente. Neste contexto, modelos clássicos, como os estatísticos e as redes neurais podem ser inadequados para a explicação e a previsão confiável do futuro.

Este artigo propõe uma nova classe de ferramentas para a previsão do mercado capaz de extrair informações de um histórico em evolução. A idéia central é realizar um avanço sobre o conceito de modelagem do futuro a partir do passado condenado à obsolescência pelas constantes mudanças do mercado: racionamentos, entrada de novas fontes, saída de consumidores, etc. O modelo descrito utiliza um ferramental matemático de última geração, baseado em conceitos inovadores, para quantificar a inter-relação entre a variável-alvo (por exemplo, o mercado) e as variáveis explicativas associadas (por exemplo, índices econômicos, variações climáticas, etc.). O usuário analisa as explicações, entende a dinâmica do fenômeno e dirige o processo de previsão – que deixa de ser um mero exercício numérico para transformar-se em um processo que reflete suas reais expectativas e percepções. A metodologia proposta é robusta e flexível, podendo ser aplicada à projeção de consumo, faturamento, demanda, segmentados ou não por classe e/ou posto.

PALAVRAS-CHAVE

Estudos de Mercado, Previsão de Carga, Projeção de Mercado.

1. INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de energia elétrica foi seriamente afetado pelas fortes restrições ao consumo ocorridas em 2001. A Figura 1 apresenta a curva de carga Ex-A2 da Elektro ao longo dos meses, onde se observa a forte redução correspondente ao racionamento de 2001.

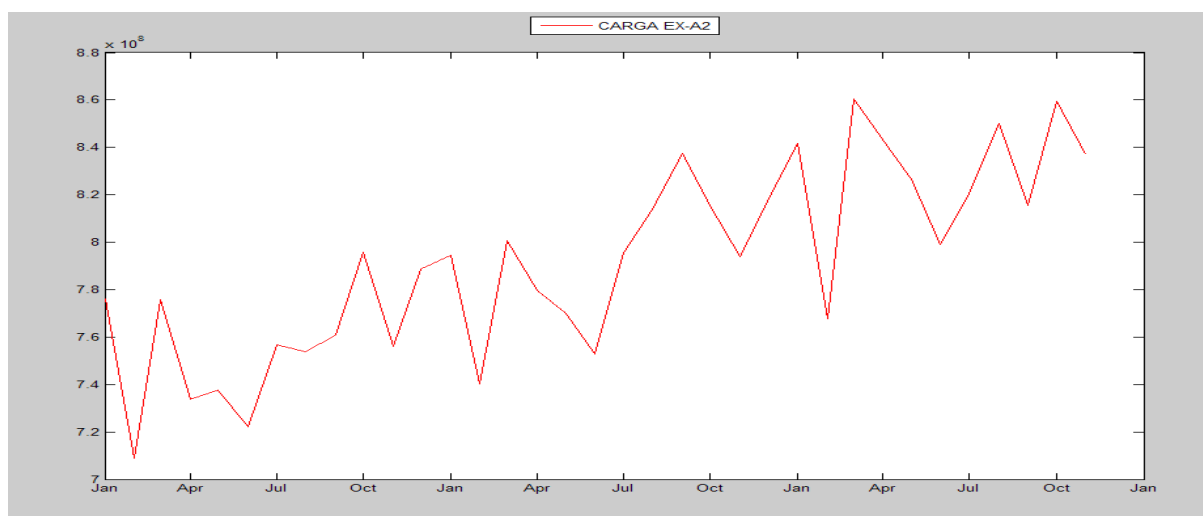


Figura. 1 – Curva de Carga da Elektro

A seqüência ao racionamento ainda é demasiadamente curta para que dela se possam tirar conclusões definitivas. Em princípio, espera-se do consumidor uma possível transição de hábitos de consumo, ainda em fase de evolução. Mais interessante, o mercado tem-se mostrado extremamente dinâmico – há uma modificação no padrão de consumo, na carteira de consumidores e até mesmo em sua resposta a condições de mercado. As incertezas associadas aos cenários futuros (matriz energética, eficiência, crescimento econômico, etc.) mostram que o mercado é, por essência, evolutivo, e modelos de previsão futura baseados em históricos passados^{6,7,8} podem levar a sérios erros de avaliação.

Estas circunstâncias levaram à procura de uma nova forma de modelagem do mercado da Elektro, mais apropriadas a dinâmicas evolutivas. O modelo a ser apresentado, baseia-se em propriedades da decomposição de elementos em Espaços de Hilbert, descrita a seguir. Será visto que o ferramental matemático proposto não só é evolutivo (adaptativo), mas capaz de explicar, de forma eficiente e confiável, a variável desejada em função das variáveis explicativas que o formam – e, conseqüentemente, obter sua projeção a partir das projeções das variáveis explicativas.

O resultado do trabalho é concretizado em uma Plataforma computacional para a Análise e para a Projeção de Cenários Futuros de qualquer variável desejada: Cargas ou Faturamentos discretizados por classe ou grupo de consumo. A Plataforma é desenhada para uma utilização eficiente e interativa, e é dotada, além das funções matemáticas necessárias à análise e previsão, de ferramentas de geração de cenários, projeção de variáveis explicativas, tratamento de dados, visualizações gráficas e processamento de séries. Uma interface amigável e a integração aos bancos de informações relevantes liberam o usuário das tediosas tarefas de manejos de dados e libera-o para sua verdadeira função: a análise e a previsão do mercado.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento matemático do modelo central de análise e previsão, ilustrado com um caso-exemplo real: a análise e a síntese (projeção) da Carga Ex-A2 da Elektro.

2. ESPAÇOS DE HILBERT

2.1. Conceitos Básicos

A Análise Funcional e os Espaços de Hilbert¹⁻⁵ serão aqui analisados no que mais nos interessa do ponto de vista: o aplicativo. Em resumo, esses nossos espaços são constituídos por vetores, associados à ordenação das amostras de seqüências de dados como a seqüência de cargas mensais, a da renda per capita, a de temperaturas, etc. Sobre estes vetores se estabelece uma métrica, ou seja, uma forma de medição capaz, por exemplo, de comparar dois vetores e dizer se têm igual tamanho, ou se um é maior que o outro. O operador que faz isto é chamado de norma do vetor, \mathbf{x} , sendo aqui utilizada a norma euclidiana, $\|\mathbf{x}\|_2$:

$$\mathbf{x}=[x_1 \ x_2 \ \dots \ x_L]^t \Leftrightarrow \|\mathbf{x}\|_2 = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_L^2} = \sqrt{(\mathbf{x}, \mathbf{x})} = \sqrt{\mathbf{x}^t \mathbf{x}} \quad (1)$$

onde se percebe a equivalência do produto interno com a multiplicação vetor linha por vetor coluna, $(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \mathbf{x}_1^t \mathbf{x}_2$, respectivamente.

O espaço de Hilbert é um Espaço métrico completo, refletindo o fato que se uma seqüência de vetores se aproxima muito (tanto quanto se queira) de um determinado vetor, este vetor pertence ao espaço em questão. Em outras palavras, os limites pertencem ao espaço.

Um contra exemplo muito conhecido na estatística ilustra bem a situação; tome-se o limite, 0, da média de caras (1) e coroas (-1), que não é cara ou coroa e, portanto, jamais ocorre, não podendo ser tomado como solução. No caso do Espaço de Hilbert, este limite forçosamente pertenceria ao espaço.

Um conceito básico ao espaço é o de distância entre vetores. Aqui será utilizada uma distância induzida pela norma, ou seja,

$$d[\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2] = \|\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2\|_2 \geq 0 \quad (2)$$

Duas interpretações geométricas de propriedades orientarão a utilização dos Espaços de Hilbert:

- **Desigualdade de Schwartz:**

$$|(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)| \leq \|\mathbf{v}_1\| \cdot \|\mathbf{v}_2\| \quad (3)$$

Permitindo associar

$$\cos \theta = \frac{(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)}{\|\mathbf{v}_1\| \cdot \|\mathbf{v}_2\|} \quad (4)$$

como o coseno do ângulo entre os dois vetores.

Note-se que a estimativa de coseno, dada pela relação anterior, coincide com a correlação normalizada, tão utilizada em estimações estatísticas. Neste trabalho as duas denominações serão empregadas indistintamente.

3. TEOREMA DA PROJEÇÃO

A Figura 2 ilustra o Teorema da Projeção, mostrando o vetor desejado, V_d , em vermelho sendo aproximado de forma ótima pelos vetores do Espaço S . O vetor ótimo é V_p , conhecido por projeção de V_d em S , devido à propriedade de ortogonalidade entre o vetor erro, E , e qualquer vetor, V_q , do espaço S . O teorema mostra que existe um único vetor de projeção e que a norma do vetor erro neste caso é a menor possível.

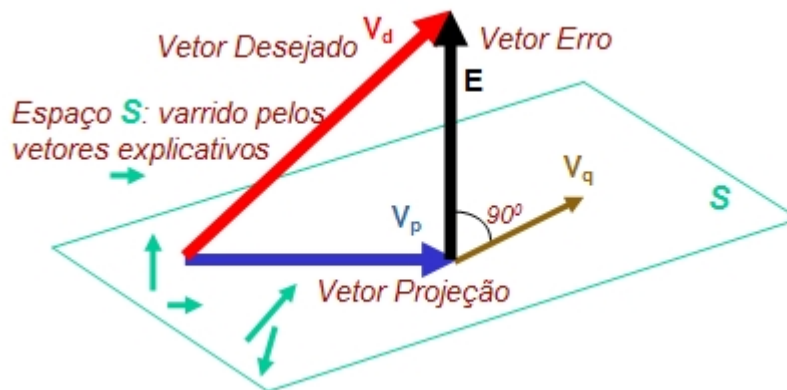


Figura 2 – Ilustração do Teorema da Projeção

Pode-se observar que E não pertence a S e, portanto não pode ser aproximado por vetores de S .

Usualmente o Espaço S é definido por um conjunto de vetores linearmente independentes, formando a base do espaço. Assim ter-se-iam desde as senóides harmônicas, como base (família devido à dimensão infinita) na aproximação de funções periódicas por Série de Fourier às codificações ortogonais usadas em comunicações CDMA.

No caso da Elektro isto não ocorre. Nada se sabe sobre a base do espaço considerado. Na realidade, as seqüências de variáveis explicativas, ainda desconhecidas, deverão constituir os vetores desta base desconhecida. Isto nos leva a modificar o Teorema da Projeção de forma a poder utilizá-lo nestas circunstâncias.

4. ALGORITMO SEQUENCIAL

O espaço S é montado, vetor explicativo a vetor explicativo, usando a ortogonalidade do vetor erro. Como E é ortogonal a qualquer vetor de S então o é em relação aos explicativos, já que pertencem ao espaço. No procedimento seqüencial adotado, as variáveis explicativas são selecionadas em sucessão, de forma que ao tomar V_1 como a primeira, sabe-se que ela pertence ao espaço S (ainda desconhecido) das variáveis explicativas. Para facilitar a visualização do processo, a Figura 3 mostra a decomposição de V_d sobre V_1 , desenhada como se todas as variáveis explicativas (e portanto S) fossem conhecidas.

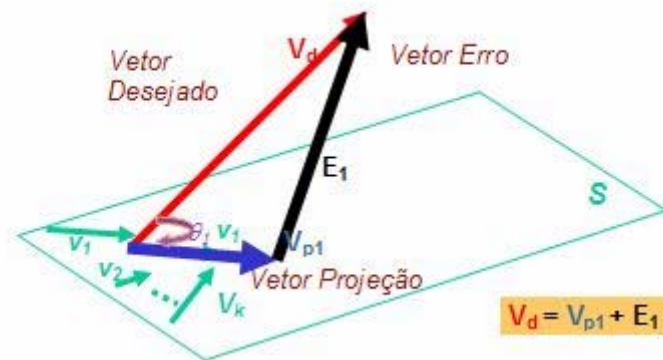


Figura 3 – Ortogonalidade do Vetor Erro

O tratamento das variáveis é seqüencial, de forma que ao tomar V_1 como a primeira, sabe-se que ela pertence ao espaço S (ainda desconhecido) das variáveis explicativas. Para facilitar a visualização do processo, a Figura 3 mostra a decomposição de V_d sobre V_1 , desenhada como se todas as variáveis explicativas (e portanto S) fossem conhecidas.

O erro E_1 é, portanto, ortogonal apenas ao que foi definido em S , ou seja, a V_1 , mas não necessariamente aos demais (desconhecidos) vetores explicativos.

E_1 , resultante da primeira aproximação, é agora, ele próprio, aproximado, como indicado na Figura 4.

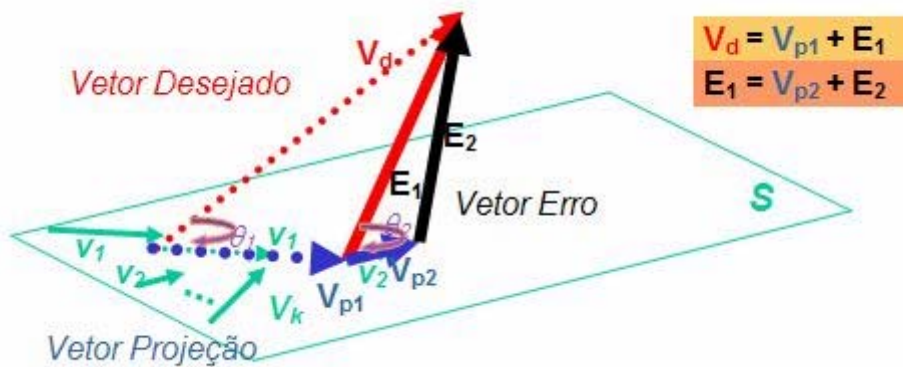


Figura 4 – Nova Iteração a Partir do Resíduo (Erro) Anterior

O novo erro E_2 será, por sua vez, aproximado, gerando um novo erro, E_3 , e assim por diante. O algoritmo se baseia na capacidade de retirar componentes de cada um destes vetores erro, reduzindo sucessivamente a norma, tamanho, do resíduo final da aproximação. A Figura 5 ilustra a sucessão de aproximações, realçando a decomposição do vetor desejado em uma soma de aproximações (projeções) e um resíduo (erro) final.

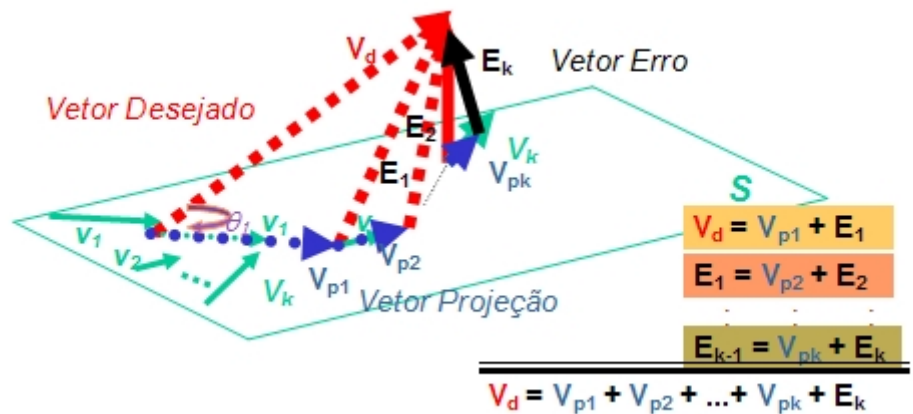


Figura 5 – Sucessão de Aplicações

Do ponto de vista prático, não interessa ao projetista alcançar a propriedade matemática do espaço ser completo, ou seja, resíduo final zero. O objetivo é que a incerteza no resíduo E_k seja suficientemente pequena para ser incluído nas incertezas implícitas à operação do sistema de distribuição. A busca de novas variáveis explicativas se encerra uma vez que este resultado seja alcançado.

5. O CASO EXEMPLO

Este caso exemplo abrange um estudo completo da explicação e da previsão da carga mensal da Elektro. Tomaremos como base do estudo os dados de jan/2003 a jun/2005, buscando a explicação das variáveis. A partir daí, realizaremos a previsão até outubro de 2005 e compararemos os resultados obtidos com os verificados.

5.1. A Correção da Carga segundo os dias do mês

Inicialmente, deve-se notar que este caso-exemplo é um estudo meramente ilustrativo do desempenho do modelo proposto. Não buscamos aqui analisar a dinâmica do mercado da Elektro ou realizar projeções futuras.

Tomaremos como caso-exemplo a explicação e a previsão da carga ex-A2 da Elektro, cuja dinâmica foi ilustrada na Figura 1. Não é possível, a princípio, assumir que os comportamentos pré- e pós-acionamento sejam aderentes. Também não é aconselhável a utilização do “transitório” pós-acionamento, quando o mercado ainda se ajusta ao novo patamar. Por este motivo, tomaremos como informação útil apenas os dados a partir de janeiro de 2003, ilustrados na Figura 6 – um histórico de meros dois anos, incompatível com modelos matemáticos clássicos. Nosso desafio inicial será produzir, a partir de informação tão exígua, a explicação e a previsão confiáveis da carga da Elektro.

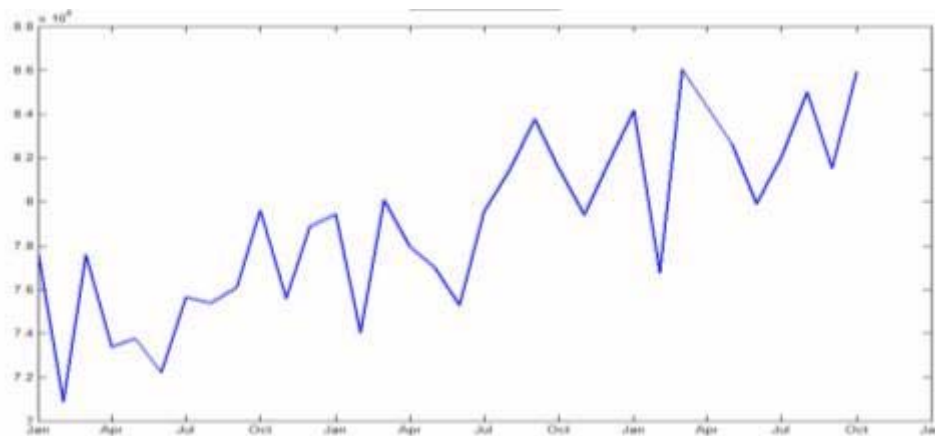


Figura 6 – Carga Ex-A2 2003/2005

À primeira vista, a série disponível oscila entre picos e vales, apresentando “quebras” sucessivas de comportamentos. Esta dinâmica, aparentemente “nervosa”, pode ser significativamente suavizada quando percebemos que esta se deve, em grande parte, ao “efeito calendário”: diferentes números de dias em cada mês levam a variações no consumo total. Podem ser observados, por exemplo, os “vales” de fevereiro que se devem não a uma redução de consumo diário, mas ao menor número de dias no mês. Somando-se a isto a existência de feriados e “feriados-ponte” (por exemplo, uma segunda-feira impressada entre o domingo e um feriado na terça).

A Figura 7 apresenta a curva de carga corrigida, levando em conta o número de dias e o peso relativo dos feriados/feriados-ponte. A série original é suavizada e fica mais clara a sua sazonalidade.

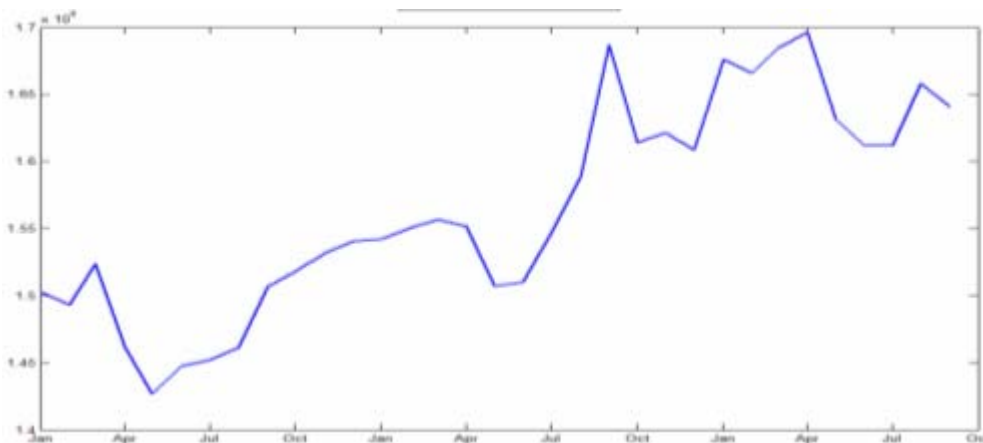


Figura 7 – Carga Ex-A2 2003/2005 Corrigida

5.2. A Componente Econômica

Sabe-se que a carga da Elektro é fortemente dependente da economia – e nossa análise se inicia assim com a avaliação do impacto das variáveis econômicas na dinâmica da carga. Buscamos, para representar a economia, uma variável bastante conhecida, analisada e – principalmente – projetada: o PIB. É importante notar que de nada adianta uma variável explicativa para a qual não existam projeções futuras – teríamos a possibilidade da explicação (análise), mas não de previsão (síntese).

A Figura 8 apresenta a evolução da Carga Ex-A2 e da Tendência do PIB-Brasil normalizados em torno da média. É possível observar que as tendências realmente seguem um mesmo padrão – e a observação é confirmada pelo cálculo do modelo matemático que identifica uma explicação de 88% da carga devida ao PIB-Brasil.

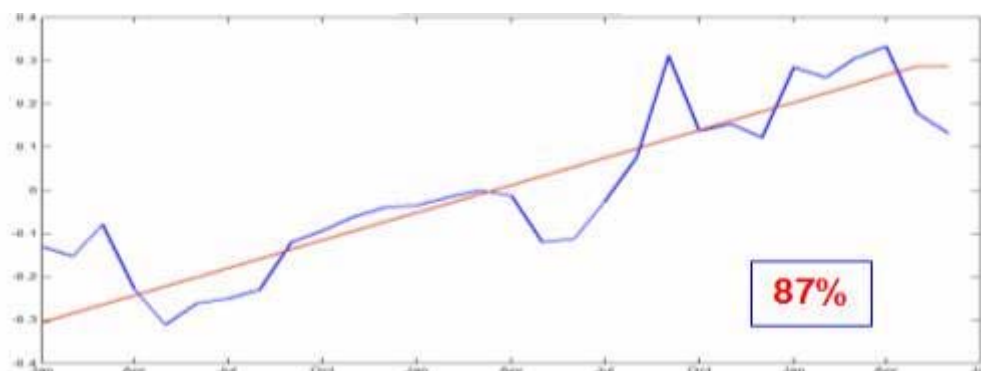


Figura 8 – Carga Ex-A2 Corrigida (azul) e PIB-Brasil (vermelho) Normalizados

A Figura 9 apresenta o resíduo da Carga não explicada pelo PIB-Brasil.

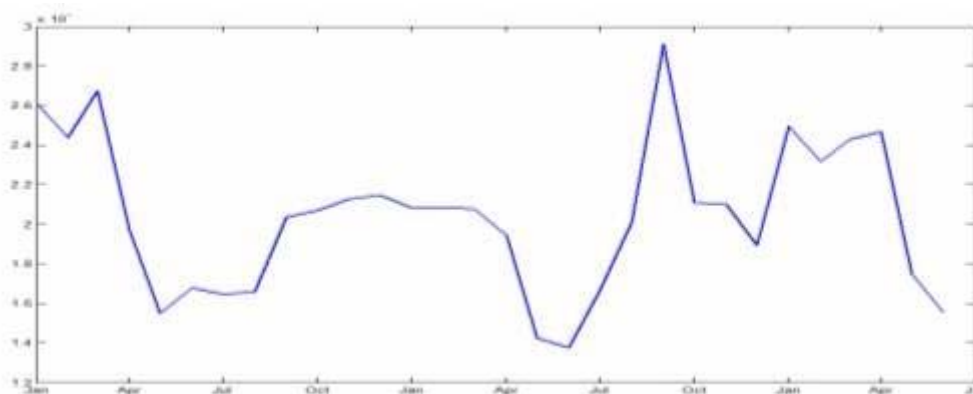


Figura 9 – Resíduo = Carga – PIB

5.3. A Componente Climática

A carga da Elektro depende também do clima. O próximo passo será identificar, no resíduo não explicado pelo PIB, a influência da temperatura. Tomaremos neste artigo a temperatura média da região da Elektro – refinamentos posteriores podem incluir, por exemplo, as médias ponderadas por fatores de participação da região na carga global.

A análise da influência da temperatura na carga passa pelo entendimento do processo de resposta da variável ao estímulo das explicativas. Sabe-se que, como em todas as regiões tropicais, a carga responde positivamente ao aumento de temperatura. Em períodos frios, entretanto, quando toda a refrigeração está desligada, *decréscimos* em temperatura podem não levar à redução da carga. Este fato pode ser ilustrado pela Figura 10, onde se apresenta a evolução da carga e da temperatura para o mês de abril de 2005. Pode-se observar que a carga segue a temperatura (com eventuais “quebras” associados a fins de semana ou feriados) até a última semana de abril – quando estaciona em um patamar mínimo e não responde mais à queda de temperatura.

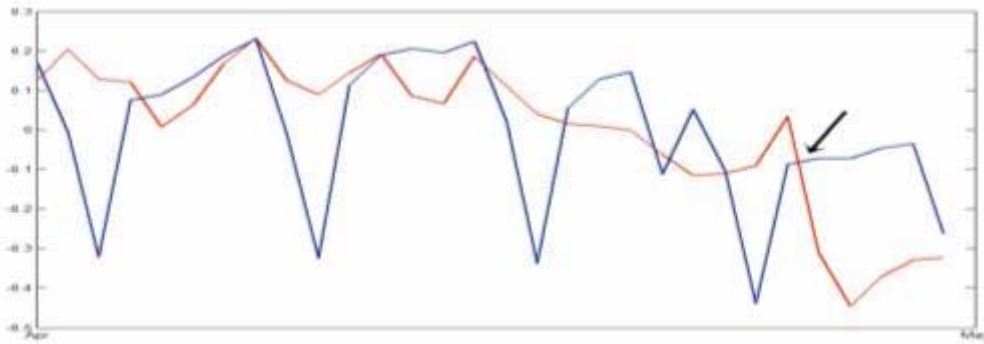


Figura 10 – Resposta da Carga (azul) à Temperatura (vermelho) durante abril/05

Optamos, assim, por modelar a resposta da carga a partir de um nível mínimo de temperatura – tomado, neste estudo, como 19 graus centígrados.

A Figura 11 mostra a comparação entre o resíduo da carga (não explicado pelo PIB) e a média das temperaturas na região da Elektro e a explicação calculada pelo modelo: 91% (dos 23% não explicados pela carga).

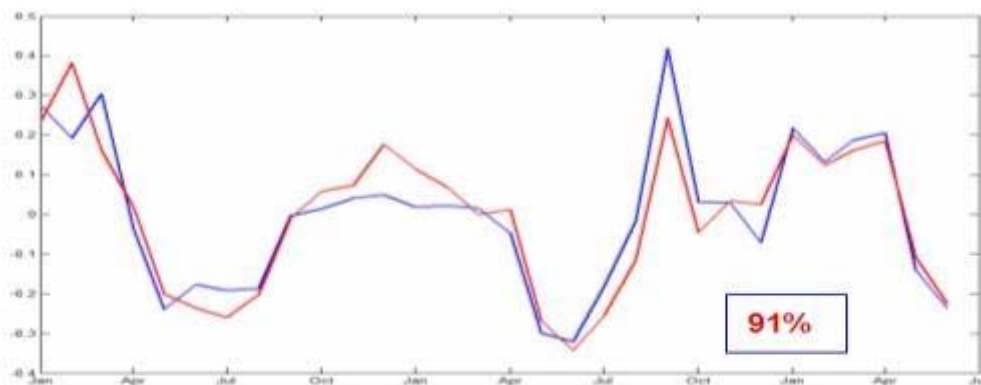


Figura 11 – Resíduo (azul) x Temp Elektro (vermelha) acima de 19°

5.4. A Composição das Variáveis Explicativas

A Figura 12 apresenta o diagrama esquemático da composição das variáveis explicativas da carga.

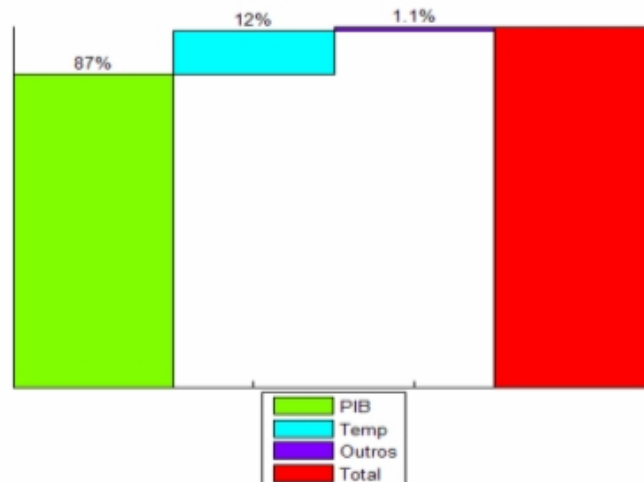


Figura 12 – Diagrama esquemático da composição das variáveis explicativas

É possível ver que a parte não explicada da carga é muito pequena – 1.1%. Um exame na Figura 13, que apresenta a carga e os resíduos de cada decomposição revela um aspecto interessante: além de pequeno, o resíduo de 1.1% corresponde a uma carga quase constante – provavelmente ligada a iluminação pública ou outros tipos de consumo quase-linear.

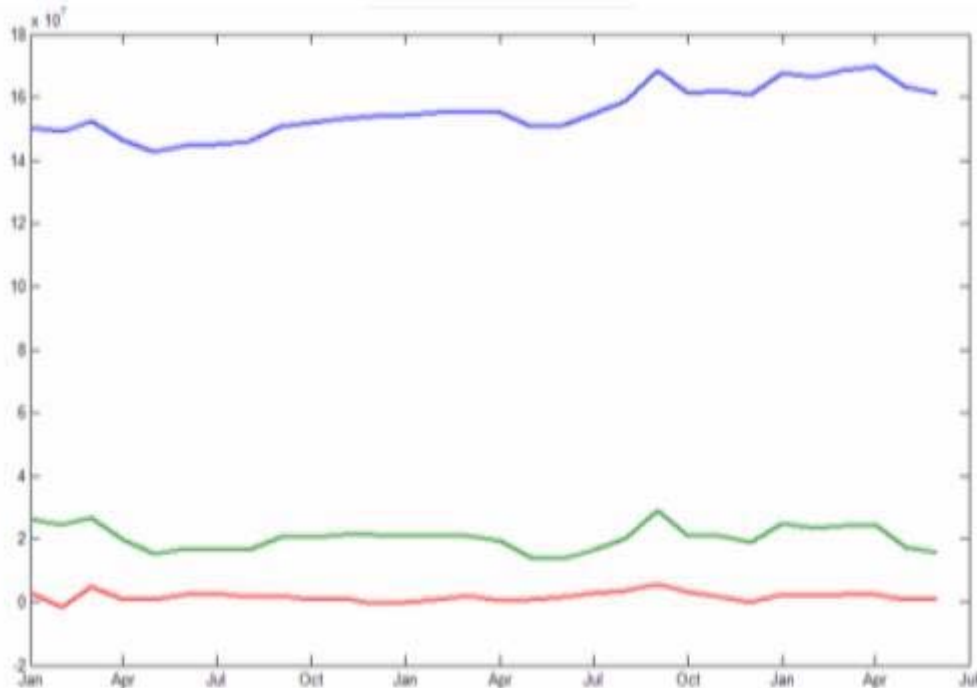


Figura 13 – Carga inicial (azul), resíduo após a retirada do PIB (verde) e da temperatura (vermelho).

5.5. A Previsão

De posse da *Explicação*, pode-se passar à *Previsão*. O algoritmo toma as decomposições obtidas para o período de análise e aplica-as às projeções de variáveis explicativas, de modo a projetar a explicada. A qualidade da previsão será aqui aferida através da comparação entre os meses de julho a outubro, já verificadas mas não informadas ao algoritmo:

- Partiremos das variáveis reais de temperatura e PIB (as explicativas) para o período de projeção (julho/outubro)
- Aplicaremos a decomposição obtida às variáveis explicativas para obter a explicada (a carga)
- Compararemos o valor da carga projetada e da carga verificada.

A Figura 14 apresenta a comparação entre as cargas prevista e verificada para o período desejado. O maior erro verificado foi igual a 1.3% para o mês de agosto.

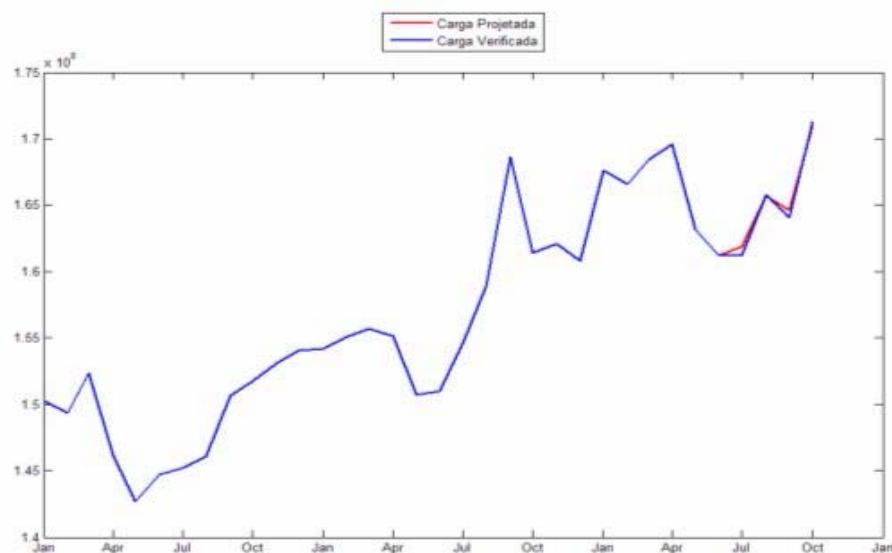


Figura 14 – Carga Projetada (vermelho) e Verificada (azul)

5.6. Observações Finais

Como mencionado anteriormente, é importante notar que este estudo não busca a previsão real e precisa da carga da Elektro, mas simplesmente ilustrar as características e potencialidades do modelo proposto. Os resultados conseguintes devem, portanto, ser tomados como um mero estudo ilustrativo para avaliar a qualidade e a potencialidade da ferramenta.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta um modelo inovador para a Previsão de Mercado que realiza as Projeções futuras a partir do conhecimento e da explicação da dinâmica da variável em estudo: consumo, faturamento, demanda, etc. A idéia central de toda a metodologia é unir a “inteligência artificial” dos métodos numéricos à “inteligência natural” do usuário – que agrega sua experiência e sensibilidade ao processo, possibilitando a obtenção não apenas de um resultado numérico, mas de toda uma explicação racional para o comportamento da variável em estudo.

A ferramenta proposta transforma-se então em um ambiente não apenas de síntese de resultados, mas – principalmente – de aprendizagem. Possíveis erros detectados geram aperfeiçoamentos, mudanças ou evoluções no comportamento do consumidor são debitados e incorporados, gerando uma evolução contínua rejuvenesce com o tempo e afasta a obsolescência.

7. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A Plataforma para a Análise e Previsão de Mercado está, neste momento, em processo de finalização de desenvolvimento e testes. Espera-se que, com a sua utilização mais intensiva, sejam identificadas novas funcionalidades e necessidades sejam identificadas e implementadas.

Neste momento, nossos esforços estão concentrados na obtenção de uma boa projeção de cenários para a economia e para o clima ^{9, 10}, já que a precisão da projeção do mercado dependerá fundamentalmente da qualidade da informação de suas variáveis explicativas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FRANKS, L.E., *Signal Theory*, Prentice Hall, 1969
- 2 DEBNATH, Lokenath, MIKUSINSKI Piotr, *Introduction to Hilbert Spaces with Application*, 1999, Academic Press.
- 3 AKHIEZER, N.I., GLAZMAN, I.M. Glazman, *Theory of Linear Operators in Hilbert Space*, 1988, Dover
- 4 HAYKIN, Simon, *Adaptive Filter Theory (4th Edition)*, Prentice Hall, 2001
- 5 MITRA. S.K., *Digital Signal Processing – A Computer-Based Approach*, McGraw-Hill, 1998
- 6 NAGASAKA, K., MAMUN, M., *Long-term peak demand prediction of 9 Japanese power utilities using radial basis function networks*, Power Engineering Society General Meeting, 2004, p. 315/322 Vol.1
- 7 KHOA, T.Q.D. PHUONG, L.M. BINH, P.T.T. LIEN, N.T.H., *Application of wavelet and neural network to long-term load forecasting*, PwerCon, vol. 2004, Volume: 1, p. 840/844 Vol.1
- 8 KANDIL, M.S. EL-DEBEIKY, S.M. HASANIEN, N. E. *Long-term load forecasting for fast developing utility using a knowledge-based expert system*, IEEE Trans on Power Systems, May 2002, Volume: 17, Issue2, p. 491/496
- 9 PINTO, L., SZCZUPAK, J., MACEDO, L, SZCZERBACKI, C., PASCON, J, ALMEIDA, C, SEMOLINI, R., *A New Approach to Load Forecast: Incorporating Climate, Economic and Social Behavior Predictions*, IEEE Powertech, St. Petersburg, 2005
- 10 PINTO, L., SZCZUPAK, J., MACEDO, L, PASCON, J, SEMOLINI, R., INOUE, M., ZIGLIO, F., ALMEIDA, F.R., *A New Approach for Load Forecasting: Predicting the Causes, Forseeing the Consequences*, X SEPOPE, Florianópolis, Maio de 2006