



**XXIII SNPTEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL**  
**DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE**  
**ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GCR/19  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

## **GRUPO – VI**

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

### **CONTRATAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE GRANDES CONSUMIDORES: UMA ABORDAGEM ESTATÍSTICA E DE OTIMIZAÇÃO PARA DEFINIÇÃO DA MELHOR ESTRATÉGIA DE CONTRATAÇÃO**

**Delberis Lima<sup>1</sup>, Alexandre Street<sup>1</sup>, Carlos Marin<sup>1</sup>, Gabriel Vasconcelos<sup>1</sup>, Alvaro Veiga<sup>1</sup>, Arthur Brigatto<sup>1</sup>, Bruno Fanzeres<sup>1</sup>, Lucas Freire<sup>1</sup> e Raphael Saavedra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (DEE/PUC-Rio)  
Laboratory of Applied Mathematical Programming and Statistics (LAMPS)

#### **RESUMO**

Considerando que no Brasil os grandes consumidores de energia elétrica podem contratar energia no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL), o desafio destes consumidores é definir qual o melhor ambiente de contratação e qual a melhor estratégia de contratação em cada ambiente. Assim, o resultado final deste trabalho propõe definir qual o preço de contratação de energia no ACL que deixa o consumidor indiferente aos dois ambientes. Para tanto, será utilizado um modelo de previsão de cenários de consumo e um modelo de otimização para estabelecer a contratação ótima do consumidor em cada ambiente.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Grandes consumidores, Ambiente de contratação regulado, Ambiente de contratação livre, Previsão de carga, Otimização do contrato.

#### **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, os grandes consumidores, que são caracterizados por uma potência instalada igual ou superior a 3 MW, têm duas opções para contratar energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) [1]. No ACR, o consumidor firma um contrato com a distribuidora no qual se compromete a pagar, via tarifa de energia, a energia elétrica consumida. Adicionalmente, o custo referente ao uso do sistema de distribuição é repassado ao consumidor via tarifa de demanda. O contrato entre a distribuidora e o consumidor prevê tarifas de energia diferenciadas no horário da ponta e fora da ponta, mas não prevê restrição de quantidade de energia consumida. Entretanto, neste contrato, deve ser definida uma demanda contratada mensal (*ex-ante*), sinalizando para a distribuidora a infraestrutura que deverá estar disponível para atender este consumidor. No caso de ultrapassagem da demanda contratada, o consumidor fica sujeito a uma penalidade, que deverá ser paga através da diferença entre a demanda máxima e a demanda contratada, multiplicada pela tarifa de ultrapassagem.

No ACL, o consumidor firma um contrato com a comercializadora, no qual o custo da energia elétrica adquirida pelo consumidor proveniente da comercializadora é definido pelo preço de energia contratada. Neste caso, diferente do ACR, a quantidade de energia, sazonalizada mensalmente, bem como o prazo de vigência do contrato e o preço da energia, são acordados entre o consumidor e a comercializadora. Caso a energia consumida pelo consumidor seja diferente da energia contratada, o consumidor liquidará a diferença via Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Adicionalmente, a distribuidora repassa o custo da rede de distribuição para o consumidor via tarifa de uso da distribuição. A tarifa de uso da distribuição é equivalente à tarifa de demanda do consumidor no ACR, e também prevê penalidade no caso de ultrapassagem da demanda contratada. Assim, o consumidor também precisa definir a demanda contratada com a distribuidora mesmo estando no ACL.

Portanto, a decisão do consumidor de se manter no ACR ou migrar para o ACL, envolve a estimação do custo de contratação, considerando as incertezas inerentes a cada um dos ambientes. Para o caso do ACR, o consumidor

deve levar em conta sua demanda máxima mensal. Por outro lado, no ACL, o consumidor deve levar em conta, além da demanda máxima mensal, a energia a ser contratada e sazonalizada e o PLD, que é uma variável sistêmica.

Neste artigo, será apresentado um estudo, utilizando um consumidor real, no qual os dois ambientes de contratação são comparados. O estudo envolve um modelo de contratação do consumidor no ACR, para a modalidade Verde, e, no ACL, considerando um contrato padrão de quantidade. O modelo de previsão proposto envolve um modelo Autoregressivo com sazonalidade (SARIMA) para estimar a demanda e a energia do consumidor e, a partir destas variáveis, será definida a contratação de demanda e energia do consumidor através de um modelo de otimização que minimiza o custo do consumidor utilizando a demanda e/ou energia contratada como variáveis de decisão.

Para alcançar os objetivos propostos, o artigo está dividido da seguinte forma. Na seção 2 estão apresentados as modalidades de contratação utilizada no artigo. Na seção 3 está apresentado o modelo de contratação que será aplicado nos dois ambientes. Na seção 4 estão apresentados os resultados e análises obtidos a partir da aplicação dos modelos e, finalmente, na seção 5 estão apresentadas as conclusões do artigo.

## 2. AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO

De acordo com [3], a migração do consumidor do ACR para o ACL envolve uma solicitação para a distribuidora, que tem um prazo de seis meses para alocar o consumidor na nova modalidade. Por outro lado, caso o consumidor queira voltar ao ambiente regulado, a distribuidora tem cinco anos para implementar a mudança. Assim, a migração do ACR para o ACL deve ser avaliada levando-se em conta o tempo de contrato do consumidor neste ambiente, para que não haja risco do consumidor ficar descontratado. Nesta seção, será apresentada a formulação básica para a contratação dos consumidores nos dois ambientes, considerando suas respectivas modalidades de contratação: para o ACR, a modalidade Verde e para o ACL a modalidade de contrato por quantidade.

### 2.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO

No ACR a energia elétrica adquirida por parte das distribuidoras nos leilões de energia é repassada aos consumidores regulados via tarifa de energia elétrica [2]. Além disto, o custo da distribuição deve ser repassado aos consumidores via tarifa de demanda. Neste ambiente, os consumidores estão separados em dois grupos (Grupo A e Grupo B), definidos de acordo com o nível de tensão. Os consumidores do Grupo A são de alta tensão (acima de 2.3 kV) e os do Grupo B de baixa tensão (abaixo de 2.3 kV). Adicionalmente, dentro de cada grupo existem também subdivisões (subgrupos). Por fim, dentro de cada subgrupo, há diferentes modalidades que definem o tipo de contratação do consumidor. Estas modalidades são chamadas de Convencional, Horo-Sazonal Azul e Horo-Sazonal Verde. Nas próximas subseções, serão mais bem detalhadas as características da modalidade Verde, que é objeto do estudo proposto e do contrato de quantidade padrão do ACL.

#### 2.1.1 MODALIDADE VERDE

A Modalidade Verde estabelece tarifas diferenciadas de energia para o grupo de horários chamados de ponta e fora da ponta. O posto tarifário ponta corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, que costuma ocorrer entre 17h e 20 horas dos dias úteis no Brasil. O posto tarifário fora da ponta compreende as demais horas dos dias úteis e às 24 horas dos sábados, domingos e feriados. Assim, o custo associado ao consumidor cativo nesta modalidade, para um mês  $t$  qualquer é ditado por:

$$C_t^{cat} = D_t T_D + E_t^p T_E^p + E_t^{fp} T_E^{fp} \quad (1)$$

Sendo,  $C_t^{cat}$ , o custo do consumidor cativo no mês (em R\$);  $D_t = \max\{D_t^c, D_t^{max}\}$  é o maior valor entre a demanda contratada ( $D_t^c$ ) e a demanda máxima registrada ( $D_t^{max}$ ) no mês  $t$ , dadas em kW;  $T_D$  a tarifa de demanda (em R\$/kW);  $E_t^p$  é a energia consumida na ponta no mês (em MWh);  $T_E^p$  é a tarifa de consumo de energia na ponta (em R\$/MWh);  $E_t^{fp}$  é a energia consumida fora da ponta no mês (MWh);  $T_E^{fp}$  é a tarifa de consumo de energia fora da ponta (em R\$/MWh).

A formulação vale se a demanda máxima registrada não ultrapassa em 5% a demanda contratada. Para o caso em que a demanda contratada seja ultrapassada em 5% pela demanda máxima registrada, isto é, se  $1.05 \cdot D_t^c > D_t^{max}$ , o custo do consumidor nesta modalidade deve ser calculado como:

$$C_t^{cat} = D_t^c T_D + E_t^p T_E^p + E_t^{fp} T_E^{fp} + (D_t^{max} - D_t^c) \cdot T_U \quad (2)$$

$T_U$  a tarifa de ultrapassagem de demanda (R\$/kW).

## 2.2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

Ao contrário do ACR, no ACL o consumidor possui a possibilidade de negociar, com a comercializadora, os termos e parâmetros do contrato. Um desses parâmetros é o montante de energia a ser entregue, que pode ser inclusive sazonalizado<sup>1</sup> ao longo dos meses de acordo com as características de consumo. Outra característica relevante dos contratos no ACL é o tipo de fonte que o lastreia (fontes incentivadas). Dentro do grupo de energias incentivadas há ainda a divisão entre fontes que oferecem 50% de desconto na composição das tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD), as que oferecem 80% de desconto na composição da TUSD e as que oferecem 100% de desconto na composição da TUSD. A função de custo, para o mês  $t$ , de um consumidor em um contrato de quantidade no ACL é dada por:

$$C_t^{livre} = P_e^{livre} Q_t + \pi_t (E_t - Q_t) + TUSD_E E_t + TUSD_D D_t \quad (3)$$

Em que,  $P_e^{livre}$  é o preço do contrato de energia do consumidor livre (em R\$/MWh);  $Q_t$  é a energia contratada (em MWh) para o mês  $t$ ;  $T$  é o período de análise;  $\pi_t$  é o preço de liquidação de diferenças (PLD em R\$/MWh) da energia para o mês  $t$ ;  $E_t$  é a energia consumida (em MWh) no mês  $t$ ;  $TUSD_E$  é a tarifa de uso do sistema de distribuição referente à energia consumida no mês  $t$  (em R\$/MWh);  $TUSD_D$ , a tarifa de uso do sistema de distribuição referente à demanda no mês  $t$  (em R\$/kW). Destaca-se que para os contratos no ACL, o consumidor está sujeito à penalidade se o seu consumo for maior que sua energia contratada. Esta penalidade ocorre somente ao final de um ano de contrato, e, por isto, não entra no cálculo do custo mensal. Matematicamente, para o período de análise  $T$ , temos que o custo anual do consumidor é:

$$C_T^{livre} = \sum_{t \in T} C_t^{livre} + Pen_{spot} \quad (4)$$

sendo  $Pen_{spot}$  a penalidade (em R\$) aplicada por exposição negativa no período de análise, definida apenas se  $\sum_{t \in T} (Q_t - E_t) < 0$ , de acordo com a seguinte expressão:

$$Pen_T = \left( \sum_{t \in T} E_t - Q_t \right) \bar{\pi}_T \quad (5)$$

sendo  $\bar{\pi}_T$  definido por:

$$\bar{\pi}_T = Máx \left( \delta, \sum_{t \in T} \frac{\pi_t}{|T|} \right) \quad (6)$$

Em que  $\delta$  representa o Valor de Referência (VR) que corresponde a um preço determinado pela ANEEL com base no valor de aquisição de energia proveniente de empreendimentos de geração;  $|T|$  é o número de meses dentro do período analisado.

## 3. MODELO PARA CONTRATAÇÃO

Para que o consumidor possa minimizar o custo de contratação no ACR e ACL, deve-se considerar atacar o problema em duas etapas. Na primeira etapa será apresentado um modelo para previsão e, conseqüentemente, de simulação da demanda e energia que serão utilizados como dados de entrada para definir a melhor contratação em cada ambiente. Estes modelos são usados gerar um conjunto de cenários  $(D_{s,t}^{max}; E_{s,t})$ ,  $\forall s \in S$  e  $t \in T$  para a demanda máxima e energia obtidos da primeira etapa, será aplicado um modelo de otimização estocástico que permite avaliar a melhor contratação do consumidor, que buscará minimizar o custo associado à demanda contratada, no caso do ACR, e da energia no caso do ACL. Na Figura 1 está apresentada uma ilustração do modelo de contratação proposto. Assim, a partir do histórico de dados do consumidor, é possível prever a demanda máxima e a energia de cada mês e, com isto, definir o contrato ótimo.

<sup>1</sup> Entende-se por sazonalização a divisão do total contratado ao longo do período entre os meses.

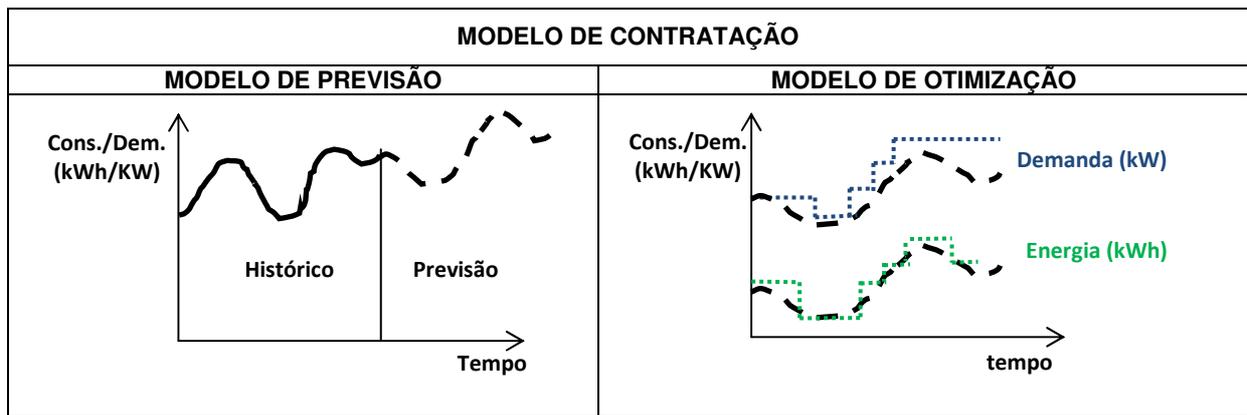


Figura 1: Modelo de contratação proposto.

### 3.1 MODELO DE PREVISÃO

Existem vários modelos propostos na literatura para previsões de séries temporais. De acordo com [4], os modelos baseados em séries temporais permitem que valores futuros de uma série temporal possam ser previstos a partir de valores passados. A técnica se baseia na identificação da correlação temporal que existe entre os valores da série. Dentre os diversos modelos de séries temporais, os modelos SARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average with Seasonality*) podem ser utilizados nos casos de séries não estacionárias, que são adequados para o problema proposto, dado que, em geral, a demanda e energia dos consumidores apresentam tendências de crescimento ao longo do tempo. A aplicação do modelo SARIMA em uma série temporal envolve três etapas: identificação, estimação e verificação ou diagnóstico. A identificação do modelo envolve simular os possíveis modelos para serem comparados. O critério de escolha dos modelos neste trabalho será o valor do AIC. Quanto menor o valor do AIC, melhor será a estimativa do modelo. A checagem do modelo será feita a partir das análises de diagnósticos, que permitem avaliar qual a distância entre o resultado previsto do modelo e os valores realizados da série (análise *out of sample*).

### 3.2 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

A aplicação do modelo de otimização para definir o melhor contrato do consumidor será feita considerando as regras vigentes para o ACR na modalidade Verde e para um contrato de quantidade no ACL. No caso do ACR, as regras estabelecem que a demanda contratada só pode ser reduzida uma vez ao ano. Já para o caso do ACL, não será considerada restrição para a sazonalização da energia. A aplicação do modelo de otimização irá considerar uma métrica que envolve o Valor Esperado do custo do consumidor e o CVaR (*Conditional Value at Risk*) que, para o ACR, será aplicado para a modalidade Verde e, para o ACL, para um contrato de quantidade padrão. A notação utilizada para representar os modelos de otimização é a seguinte:

Constantes	
$\lambda$	Constante que estabelece o peso que deve ser dado ao Valor Esperado e CVaR.
$D_{s,t}^{max}$	Demanda máxima simulada no mês $t$ no cenário $s$ .
$E_{s,t}$	Energia simulada no mês $t$ e cenário $s$ .
$u$	Percentual de ultrapassagem onde não há penalidade, sendo, para as regras estabelecidas no ACR, $u = 5\%$ .
$M$	Número grande ( <i>Big M</i> ) utilizado com parâmetro auxiliar no problema de otimização.
$d_0^c$	Demanda contratada no primeiro mês.
$p_e^{livre}$	Preço do contrato no ACL (R\$).
$\pi_{s,t}$	PLD associado ao mês $t$ e cenário $s$ .
$\alpha$	Parâmetro de aversão ao risco que define o nível de confiança da medida de risco CVaR.
Variáveis de decisão	
$D_t^c$	Demanda a ser contratada no mês $t$ .
$d_{s,t}^{nu}$	Variável aleatória que representa a parte da demanda que não foi ultrapassada no mês $t$ para o cenário $s$ .
$d_{s,t}^u$	Variável aleatória que representa a parte da demanda que foi ultrapassada no mês $t$ para o cenário $s$ .
$x_{s,t}$	Variável binária utilizada para representar a ultrapassagem da demanda no no mês $t$ para o cenário $s$ .
$y_t$	Variável binária utilizada para representar o mês onde haverá redução de demanda.
$C_{s,t}$	Função que calcula o custo associado à demanda contratada para o mês $t$ e cenário $s$ .
$Q_t$	Quantidade de energia a ser contratada no mês $t$ .
Variáveis auxiliares	

$\delta_{s,t}$	Variável auxiliar que representa o lado esquerdo de custos a partir do valor de custo $z$ no período de análise.
$z$	Variável auxiliar que atinge o Valor em Risco (VaR) da distribuição de custos no período de análise.
$u_s$	Variável que é acionada caso haja penalidade contabilizada para o período de análise.

Considerando, inicialmente o ACR:

$$\min_{D_t^c, d_{s,t}^{nu}, d_{s,t}^u, x_{s,t}, y_t, C_{s,t}, \delta_{s,t}, z} (1 - \lambda) \frac{1}{S} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} C_{s,t} + \lambda \left( z + \frac{1}{S} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} \frac{\delta_{s,t}}{1 - \alpha} \right) \quad (7)$$

s.a:

$$d_{s,t}^{nu} + d_{s,t}^u \geq D_{s,t}^{max} \quad \forall t, s \quad (8)$$

$$d_{s,t}^{nu} + d_{s,t}^u \geq d_{s,t}^c \quad \forall t, s \quad (9)$$

$$d_{s,t}^{nu} \leq d_{s,t}^c (1 + u) \quad \forall t, s \quad (10)$$

$$d_{s,t}^{nu} \leq d_{s,t}^c + M(1 - x_{s,t}) \quad \forall t, s \quad (11)$$

$$d_{s,t}^u \leq d_{s,t}^c u - M(1 - x_{s,t}) \quad \forall t, s \quad (12)$$

$$d_{s,t}^u \leq M x_{s,t} \quad \forall t, s \quad (13)$$

$$x_{s,t} \in \{0,1\} \quad \forall t, s \quad (14)$$

$$d_1^c \geq d_0^c - M y_1 \quad (15)$$

$$D_t^c \geq D_{t-1}^c - M y_t \quad \forall t > 1 \quad (16)$$

$$y_t \in \{0,1\} \quad \forall t \quad (17)$$

$$T_D d_{s,t}^{nu} + T_D^u d_{s,t}^u = C_{s,t} \quad \forall t, s \quad (18)$$

$$\delta_{s,t} \geq C_{s,t} - z \quad (19)$$

$$\delta_{s,t} \geq 0 \quad \forall t, s \quad (20)$$

A expressão (7) representa a função custo de contratação de demanda obtido pelo Valor esperado e o CVaR, ponderados por  $\lambda$ .

No AGL, como os contratos são livremente negociados, será utilizado um modelo de contrato de quantidade padrão, no qual o consumidor buscará minimizar o custo de contratação de energia considerando a liquidação ao PLD.

$$\min_{Q_t, C_{s,t}, \delta_{s,t}, z, u_s} (1 - \lambda) \frac{1}{S} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} C_{s,t} + \lambda \left( z + \frac{1}{S} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} \frac{\delta_{s,t}}{1 - \alpha} \right) \quad (21)$$

s.a:

$$P_e^{livre} Q_t + \pi_{s,t} (E_{s,t} - Q_t) + TUSD_E E_{s,t} + TUSD_D D_t^c + u_s \bar{\pi}_T = C_{s,t}, \forall s, t = T \quad (22)$$

$$P_e^{livre} Q_t + \pi_{s,t} (E_{s,t} - Q_t) + TUSD_E E_{s,t} + TUSD_D D_t^c = C_{s,t}, \forall t < T, s \quad (22)$$

$$\delta_{s,t} \geq C_{s,t}^E - z \quad \forall t, s \quad (23)$$

$$\delta_{s,t} \geq 0 \quad \forall t, s \quad (24)$$

$$Q_t \geq 0 \quad \forall t, s \quad (25)$$

$$u_s \geq \sum_t (E_{s,t} - Q_t) \quad \forall s \quad (26)$$

$$u_s \geq 0 \quad \forall s \quad (27)$$

A expressão (21) representa a função custo de contratação de energia obtida pelo Valor Esperado e CVaR, ponderado por  $\lambda$ .

#### 4. RESULTADOS

Os resultados do trabalho proposto estão apresentados para o ano de 2014 e para um grande consumidor real que está inserido na modalidade Verde. Para uma análise comparativa entre o ACR e ACL, deve-se considerar, inicialmente, a aplicação do modelo de previsão e simulação para obtenção dos cenários futuros de demanda e energia para o ano de 2014. Em seguida, com as simulações das duas modalidades, os modelos de otimização são aplicados para definir a melhor contratação para o consumidor em cada modalidade. Finalmente, a partir dos valores de demanda e energia otimizados, os custos serão calculados para o ano de 2014, considerando dados realizados de demanda e energia do consumidor. As tarifas aplicadas para calcular o custo do consumidor no ACR,

foram calculadas a partir dos dados da Light [5], distribuidora que atende o consumidor, para o ano de 2014. Já para simular o custo no ACL, foram considerados os cenários de PLD médios usados na otimização da energia.

#### 4.1 RESULTADOS DO MODELO DE PREVISÃO E SIMULAÇÃO

Os estudos para o modelo de previsão consideram a variável AIC como critério para definir o modelo SARIMA ( $p,d,q$ ) a ser utilizado, sendo  $p$  é o número de termos auto-regressivos,  $d$  o número de diferenças a ser considerado para garantir estacionariedade do modelo, e  $q$  o número de termos da média móvel do modelo. Tanto para a previsão obtida para a demanda como energia, o modelo obtido foi SARIMA (1,1,1), com sazonalidade 12 para as parcelas autorregressiva e média móvel. Nas Figura 2 e Figura 3 estão apresentados os históricos de demandas máximas e energia empilhados (de 2004 até 2014 do consumidor). O histórico de 2004 à 2013 foi usado para obtenção do modelo.

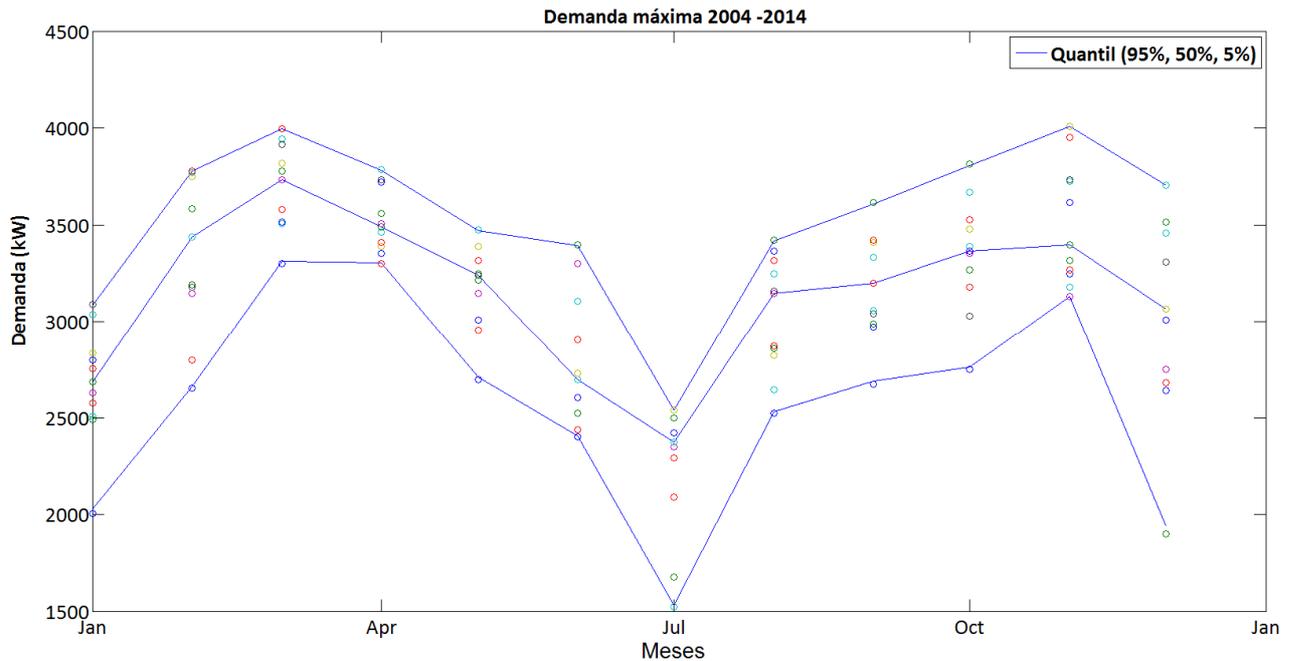


Figura 2: Histórico de demanda máxima do consumidor (2004 – 2014).

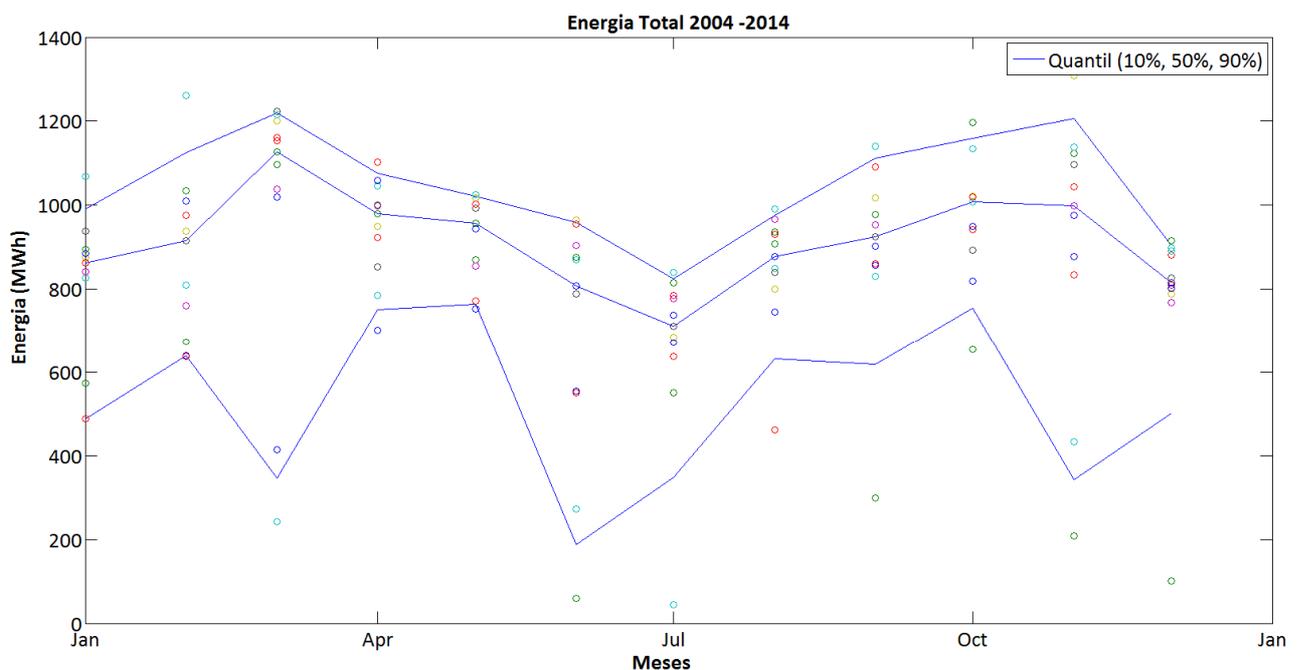


Figura 3: Histórico de energia do consumidor (2004 – 2014).

Analisando os resultados do modelo proposto e comparando com o que foi de fato realizado em 2014, verificou-se um MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) de 5.8% para a demanda e 8.5% para energia, indicando que ambos os modelos estão adequados para a simulação proposta. Com os resultados obtidos, foi aplicado o modelo de otimização para diferentes valores de  $\lambda$  (0, 1 e 0.5) e  $d_0 = 3800$  kW. A contratação ótima obtida pelo modelo proposto para demanda e energia (considerando um preço de contrato de 400 R\$/MWh) está apresentada na Figura 4 e Figura 5. Em ambos os casos, dado a sazonalidade bem marcada do consumidor no meio do ano, a contratação ótima resulta em uma redução de demanda e energia contratada neste período. Entretanto, para a demanda, o fator de aversão à risco estabelece uma contratação valores maiores na medida que  $\lambda$  cresce. Já para a energia, o risco ocorre na sobrecontratação, dado que os cenários mais baixos de PLD obrigam uma liquidação positiva com valores menores, aumentando o risco no caso de elevada sobrecontratação. Na Figura 5, também está apresentado o cenário médio de PLDs para o ano de contratação (2014).

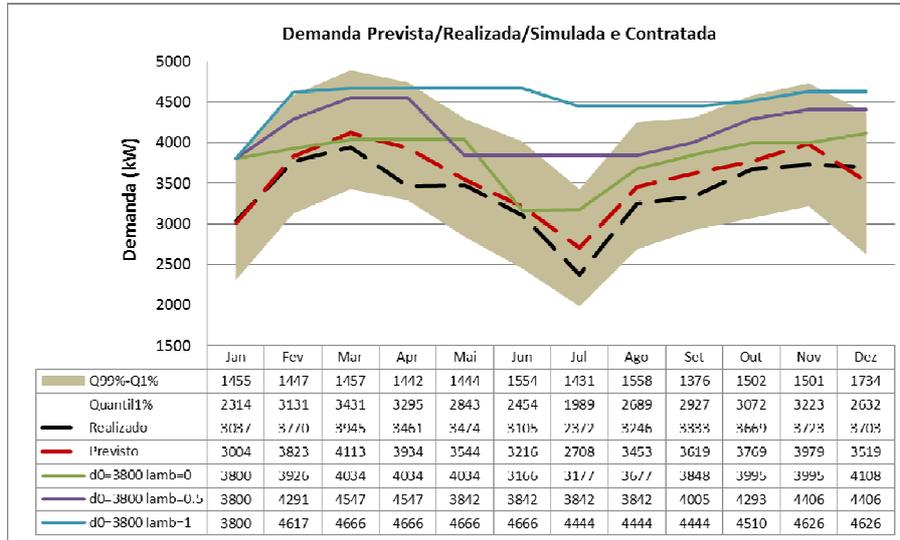


Figura 4: Demanda Prevista/Realizada/Simulada e contratação ótima.

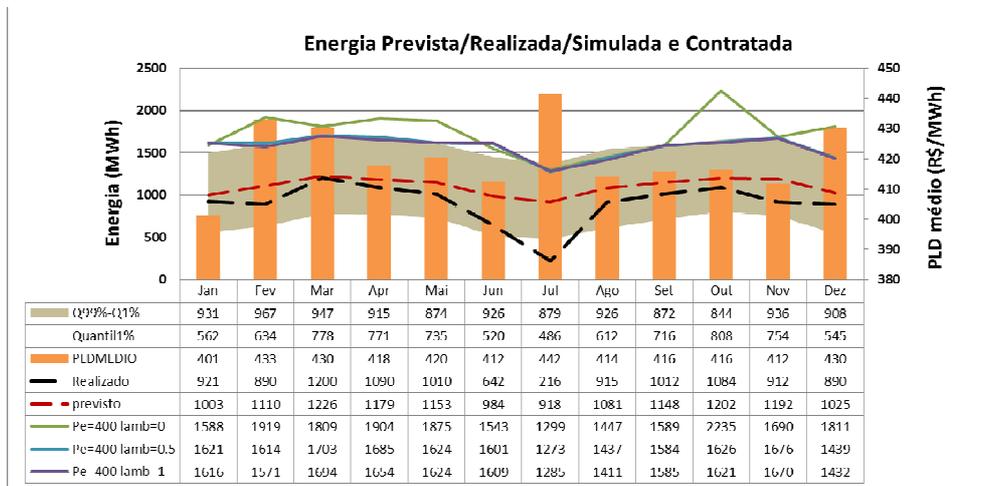


Figura 5: Energia Prevista/Realizada/Simulada e contratação ótima.

A partir da contratação ótima apresentada para o ACR e ACL, os dados foram aplicados à Ferramenta do Consumidor, desenvolvida no âmbito do projeto de P&D da ENEVA com a PUC-Rio (nº PD-7625-0001/2013). A Ferramenta do consumidor permite que se simulem contratos de demanda e energia para grandes consumidores utilizando dados discretizados de 15 em 15 minutos e, com isto, se defina o preço de indiferença entre ACR e ACL. Na Figura 6 estão apresentados os resultados de custos associados às duas modalidades de contratação apresentadas para diferentes preços de contratos de energia no ACL. Como esperado, a contratação de energia no ACR não é alterada em função do preço de contrato do ACL. Para o ano de 2014 verificou-se um custo anual do consumidor no ACR de R\$ 5.416.812. Como é possível observar no gráfico, a partir de 360 R\$/MWh o ACL começa a deixar de ser competitivo com relação ao ACR. Isto ocorre porque a liquidação positiva do consumidor ao PLD diminui à medida que o preço de contrato se aproxima dos valores de PLD que, em média, são um pouco maiores que 400 R\$/MWh. É importante ressaltar que os preços reais de PLD em 2014 foram em média, bem

superiores aos preços utilizados na simulação. Entretanto, para a análise apresentada, foram considerados os valores médios simulados de PLD do período de análise. Além disto, cada cenário de PLD foi aleatoriamente combinado com um cenário de consumo de energia simulado.

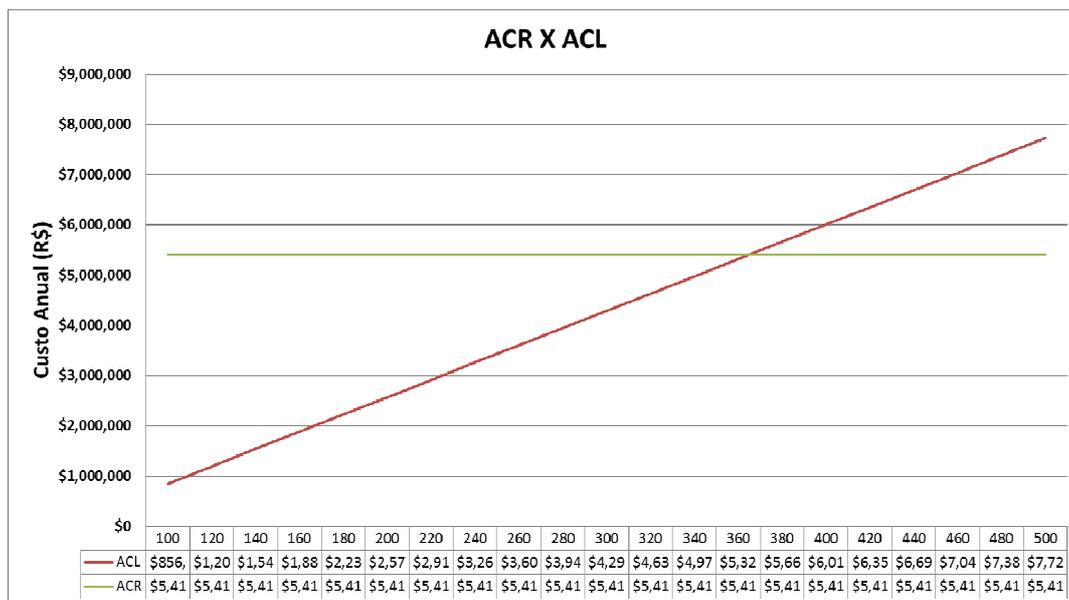


Figura 6: Comparação entre ACR e ACL com diferentes preços de contratos.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um estudo para estabelecer uma comparação entre o ACR e ACL para um grande consumidor de energia elétrica para o ano de 2014. O estudo proposto envolve um modelo de previsão de demanda máxima e energia consumida do consumidor e a simulação destas grandezas. Também foi apresentado um modelo de otimização que permite definir a demanda e a energia ótima contratadas que minimiza o custo de contratação do consumidor em cada ambiente. Finalmente, as duas modalidades foram comparadas com o auxílio da Ferramenta de contratação do consumidor utilizando dados de demandas e consumo realizados e discretizados em 15 minutos para o consumidor no ano de 2014. Conforme esperado, à medida que o preço de contrato de energia se aproxima da média de PLDs utilizados, o ACL deixa de ser uma opção atrativa para o consumidor. No caso do consumidor apresentado, preços maiores que 360 R\$/MWh já tornam o ACL menos atraente, dado os riscos envolvidos nesta contratação. O preço de indiferença, de acordo com a Figura 6, está em torno de 370 R\$/MWh.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL. Resolução normativa Nº 264, de 13 de Agosto de 1998.
- [2] ANEEL. Resolução normativa Nº 255, de 6 de março de 2007.
- [3] ANEEL. Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.
- [4] BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M.; REINSEL, G.C. Time series analysis: forecasting and control. 3th ed. New York: Prentice Hall, 1994.
- [5] LIGHT. Consulta online: <http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx>. Dados referentes a 2014.

## 7. DADOS BIOGRÁFICOS

**Delberis A. Lima** conclui graduação e M.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, em 2000 e 2003, respectivamente. Ele foi pesquisador visitante na Universidad de Castilla—La Mancha, Ciudad Real, Espanha, em 2005. Atualmente, é professor na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Sua área de pesquisa inclui planejamento, operação e parte econômica de sistemas de energia, e mercados de energia.