

Utilização de Algoritmos Genéticos para Previsão da Contratação de Energia pelas Distribuidoras

Dorel Soares Ramos, *IEEE, Senior Member*, Guilherme Luiz Susteras

Resumo—As regras definidas pelo Decreto 5.163/2004 trazem incentivos e penalidades aos Distribuidores no processo de apresentação de suas declarações de necessidades de compra de energia ao Ministério de Minas e Energia. Nesse sentido, cabe aos Geradores tentarem prever o comportamento daqueles agentes de forma a se prepararem para os leilões de que pretendem participar. Este artigo propõe-se a analisar as referidas regras, apresentando um modelo de otimização, suportado por Algoritmos Genéticos, que simula o comportamento das distribuidoras, obtendo-se uma importante ferramenta de apoio à definição de estratégias de comercialização de uma empresa geradora, potencial proponente vendedora nos leilões.

Palavras-chave—Algoritmos Genéticos, Contratação de Energia, Estratégias de Comercialização de Energia, Otimização, Setor Elétrico Brasileiro.

I. INTRODUÇÃO

O setor elétrico representa uma das mais importantes peças da economia nacional. É impossível imaginar-se uma economia próspera sem investimentos em energia, especialmente a eletricidade, força motriz da indústria, comércio e serviços; trata-se de um insumo básico.

Na última década, este setor teve sua regulamentação norteada por três diferentes modelos institucionais: o primeiro, até meados da década de 1990, de caráter monopolista e preponderantemente estatal; o segundo, iniciado com o projeto RE-SEB [1] e caracterizado por uma orientação de mercado e; finalmente, o terceiro e atual modelo, instituído pelo governo do presidente Luis Inácio Lula da Silva [2], que promoveu ajustes no modelo oriundo do Projeto RE-SEB, visando corrigir algumas vertentes nucleares do modelo anterior, em que se diagnosticou funcionamento insatisfatório.

Nessa perspectiva, este modelo tem como premissas três objetivos principais:

1. Garantir a segurança de suprimento de energia elétrica;
2. Promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados; e
3. Promover a inserção social no Setor Elétrico, em particular pelos programas de universalização do atendimento.

Particularmente, no que tange ao segundo objetivo, o documento [2] argumenta que as principais ações para promover a contratação eficiente de energia para os consumidores regulados seriam:

- Proceder à compra de energia sempre por meio de leilões, na modalidade “menor tarifa”;
- Contratar energia por licitação conjunta dos distribuidores (pool), visando obter economia de escala na contratação de energia de novos empreendimentos, repartir riscos e benefícios contratuais e obter tarifas de suprimento mais uniformes entre as distribuidoras; e
- Contratar separadamente a energia de novas usinas (atendimento à expansão da demanda) e de usinas existentes, ambas por licitação.

Para atender a essas premissas, foram criados dois ambientes contratuais – um regulado e um livre, bem como novos organismos para garantir a funcionalidade do mercado de acordo com os objetivos preconizados no modelo.

II. OS AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO

Os ambientes de contratação previstos no Modelo são:

- Ambiente de Contratação Regulada – ACR: compreende a contratação de energia para o atendimento aos consumidores regulados (consumo cativo dos distribuidores, ou seja, consumidores residenciais, comerciais e industriais que não atendem os requisitos para se tornarem livres ou, ainda que atendam tais requisitos, não tenham exercido esta opção) por meio de contratos regulados; e
- Ambiente de Contratação Livre – ACL: compreende a contratação de energia para o atendimento aos consumidores livres, por intermédio de contratos livremente negociados.

A. Ambiente de Contratação Regulada

Neste ambiente de contratação participam todas as distribuidoras, as quais devem atender a totalidade de seus mercados (consumidores cativos). Todas as aquisições de energia devem ser feitas por meio de licitações, com a realização de leilões por menor preço de energia, cujos

vendedores devem assinar contratos com todos as distribuidoras participantes do leilão em tela.

Há uma segmentação do mercado das distribuidoras de forma que:

- os novos empreendimentos (energia nova) deverão ser comercializados para atender a expansão do mercado, mediante licitações que se realizarão em cinco ou três anos antes da data de início de entrega da energia elétrica, por meio de contratos com duração de 15 a 35 anos;
- os empreendimentos existentes serão comercializados exclusivamente para atender a demanda atual, mediante contratos com duração de 3 a 15 anos em licitações realizadas com um ano de antecedência.

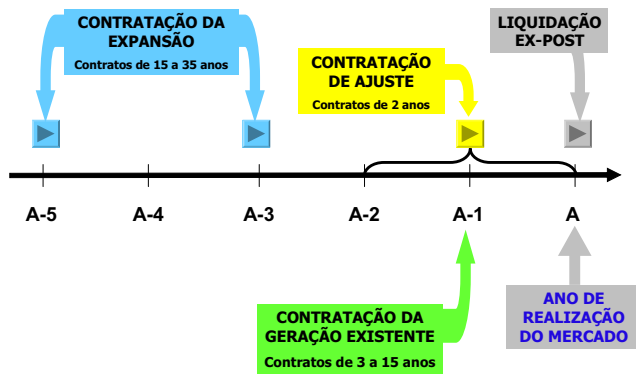


Figura 1 – Contratação das Distribuidoras

A idéia contida nesta segmentação é a de que a energia gerada por usinas existentes (energia “velha”) e, teoricamente, já amortizadas, poderia ser comercializada por preços menores do que aquela gerada pelas novas usinas, cujos preços tenderiam ao Custo Marginal de Expansão.

B. Ambiente de Contratação Livre

Neste ambiente podem participar todos os geradores, comercializadores e consumidores livres, com total liberdade para negociarem seus contratos de compra e venda de energia.

As figuras 2 e 3 a seguir ilustram, respectivamente (i) as relações contratuais possíveis nos dois ambientes de contratação e (ii) a convivência entre os ambientes. Pode-se observar que no segmento de geração prevalece um ambiente plenamente competitivo, posto que os agentes geradores podem participar, sem restrição, tanto do ambiente regulado, quanto do ambiente de livre contratação. Quando participando do ambiente regulado, os geradores disputam mercado em leilões nos quais os ofertantes disputam o atendimento da necessidade global das Distribuidoras, em determinado momento, com os vencedores obtendo contratos bilaterais com todas as distribuidoras participantes do referido leilão.

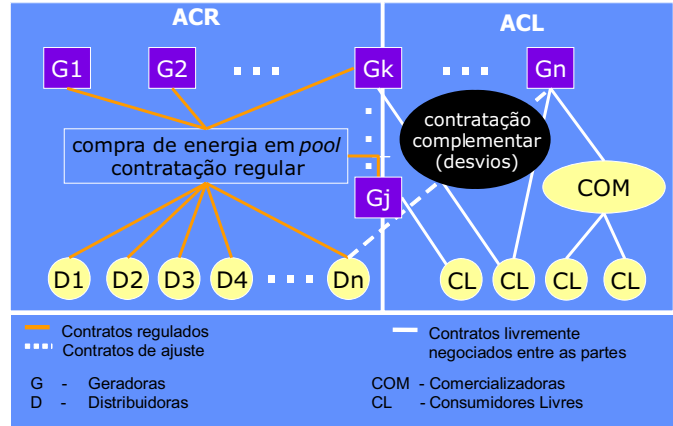


Figura 2 – Visão geral das relações contratuais

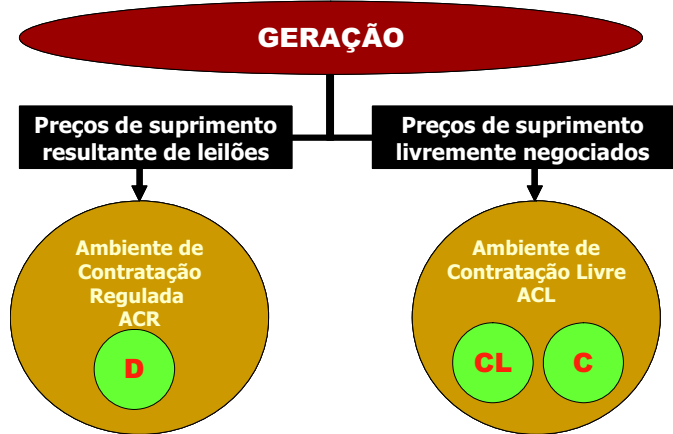


Figura 3 – Convivência entre mercado competitivo e regulado

III. POSICIONAMENTO DOS GERADORES

As mudanças no Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro exigem que as geradoras adaptem-se à nova realidade comercial. Neste sentido, para que possam desenvolver adequadamente suas estratégias de comercialização de energia, faz-se necessário conhecer o mercado e, mais especificamente, seu comportamento na contratação de energia.

A definição da estratégia de comercialização de energia de um Gerador passa pela melhor distribuição de sua energia disponível para contratação entre ambos ambientes de comercialização, o regulado (ACR) e o livre (ACL)

Neste processo, um grande número de ferramentas de previsão de preços e de condições de despacho das usinas, de simulação das regras de mercado e dos comportamentos dos agentes, além de modelos econômico-financeiros, são utilizados. Trata-se de toda uma cadeia interdependente em que cada elo representa papel relevante no desenho da estratégia.

Neste sentido, um modelo de otimização da contratação das Distribuidoras (ACR), considerando as condições de contorno apresentadas nos regulamentos – leis, decretos, resoluções, portarias e etc. – é uma importante ferramenta no processo de preparação das estratégias de comercialização por parte das geradoras. Este é o objetivo da ferramenta desenvolvida.

IV. CONTRATAÇÃO DAS DISTRIBUIDORAS: FUNÇÃO OBJETIVO A SER OTIMIZADA

Para emular o comportamento dos agentes de distribuição, deve-se especificar um modelo que permita otimizar a contratação das distribuidoras nos diversos leilões disponíveis, minimizando o valor presente dos prejuízos esperados – ou maximizando o valor presente dos lucros esperados – em cada ano por conta da limitação do repasse ao consumidor do valor da aquisição da energia e das penalizações aplicadas por subcontratação ou sobrecontratação.

$$\min z = \sum_{ano} \frac{\sum_{leilão} \text{Custo} - \sum_{leilão} \text{Repasse} + \text{Penalidades}}{(1+i)^n} \quad (1)$$

O Custo de cada leilão, em cada ano, é dado pelo produto do preço daquele leilão com o volume efetivamente contratado no ano em questão, isto é, considerando as possíveis reduções de volume ocorridas desde o início do suprimento daquele leilão.

O Repasse de cada leilão, em cada ano, é dado pelo limite imposto na regulamentação, um para cada tipo de leilão.

As Penalidades são aplicadas, em cada ano, segundo quatro possibilidades de ocorrência:

1. Contratação abaixo da demanda: neste caso, a Distribuidora contratou energia abaixo de seu mercado observado, estando sujeito a uma penalidade prevista nos regulamentos;
2. Contratação acima da demanda: neste caso, a Distribuidora contratou energia acima de seu mercado observado, estando sujeita aos lucros e prejuízos decorrentes desta opção;
3. Recontratação de energia existente abaixo do Limite Inferior definido na regulamentação; ou
4. Recontratação de energia existente acima do Limite de Reposição.

V. ALGORITMOS GENÉTICOS

Para proceder à otimização do problema supra descrito, pelas características intrínsecas, destacando-se seu caráter não-linear e sua facilidade de implementação, foi decidida pela utilização de Algoritmos Genéticos.

A. Introdução aos Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos (AG's) são métodos computacionais que simulam o comportamento evolucionário das espécies, baseados na teoria Darwiniana, cujo objetivo é a otimização de uma dada função objetivo. Foram propostos em 1975 por John Holland e desde então têm sido aplicados em diversos problemas da engenharia [3].

O Algoritmo Genético utilizado neste trabalho é conhecido como Algoritmo Genético Simples (AGS). Um AGS compreende um conjunto de indivíduos (população) e um conjunto de operadores genéticos que atua sobre a população. De acordo com a teoria da evolução, somente os indivíduos mais capazes de uma população sobrevivem, gerando descendentes. Analogamente, o AGS analisa um conjunto de

soluções potenciais devidamente codificado (neste caso, codificação binária, ou seja, os indivíduos são *strings* de bits), que constitui a população. O AGS então manipula os indivíduos mais aptos, utilizando-se dois operadores genéticos, para a obtenção de uma população otimizada [4].

Dentre as vantagens da utilização dos Algoritmos Genéticos, destaca-se a facilidade de implementação computacional, a inexistência de restrições quanto ao tipo do problema (ou seja, a função objetivo pode ser discreta, não contínua, não convexa) e a possibilidade de se integrar o algoritmo com aplicativos externos que calculem a função objetivo (isto significa que para o Algoritmo Genético a função objetivo pode ser uma “caixa preta”).

As principais desvantagens no uso deste método são o esforço computacional necessário para se avaliar os diversos indivíduos a cada geração e a falta de garantia quanto ao alcance da solução ótima – pode-se obter um ótimo local, ou ainda, uma solução muito boa, mas que não se garante ser a ótima.

B. Terminologia

Como o método de otimização, no contexto dos Algoritmos Genéticos, se baseia em uma teoria biológica, algumas equivalências entre o mundo biológico e a programação computacional são feitas:

- Genes: cada um dos elementos do cromossomo, representado por bits;
- Cromossomo ou string: conjunto de genes (bits) que representam os valores das variáveis do problema;
- Indivíduo: conjunto de cromossomos que formam uma solução candidata, ao qual é associado um valor da função de avaliação;
- Geração: conjunto de indivíduos testados paralelamente a partir dos quais, em função de sua aptidão (ou fitness) serão gerados descendentes.

A figura abaixo ilustra o exemplo em que se deseja modelar um problema com duas variáveis de três bits cada.

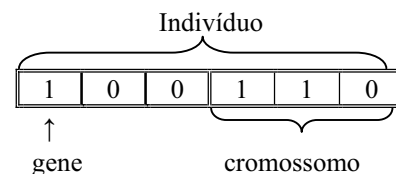


Figura 4 – Exemplo de indivíduo modelado para Algoritmos Genéticos

C. Algoritmo Genético Básico

O fluxograma básico de um Algoritmo Genético está ilustrado na Figura a seguir [5]

O sorteio da população inicial é feito através da geração de números aleatórios de probabilidade uniforme, de tal forma

que, para cada bit, se o valor sorteado for menos do que 0,5 o bit será 0, caso contrário será 1.

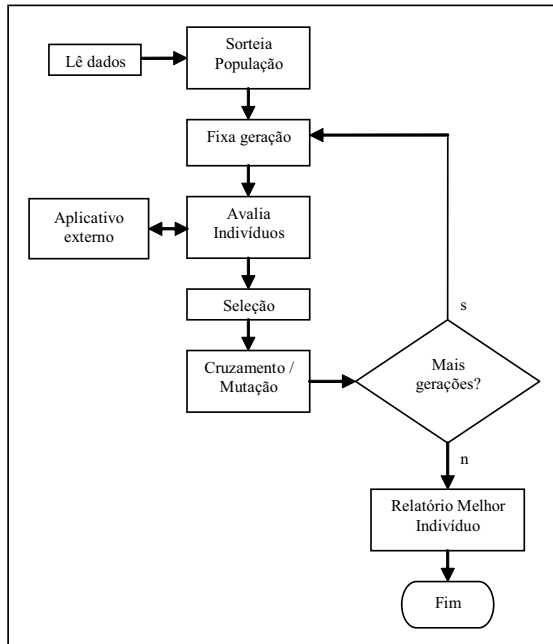


Figura 5 – Algoritmo Genético Básico

A avaliação dos indivíduos de cada geração é feita pela função de avaliação definida a priori. Para o processo de seleção, deve-se normalizar a função de avaliação de forma a associar o resultado da função de avaliação a uma probabilidade de ser selecionado para o processo de cruzamento.

Antes de proceder à seleção, deve-se fazer o escalamento da função aptidão. No começo da execução do AG é comum a existência de poucos indivíduos extraordinários em uma população com colegas medíocres. Quando se utiliza o método de seleção proporcional (roleta, conforme explicado mais adiante), os indivíduos extraordinários ocuparão uma grande fatia do círculo, conduzindo a uma convergência prematura.

Durante a execução, pode ainda existir uma diversidade significativa dentro da população; entretanto, o valor médio de aptidão da população pode estar próximo do melhor valor de aptidão da população. Se esta situação não é controlada, membros médios e melhores membros produzem o mesmo número de cópias em futuras gerações e a sobrevivência do mais apto, necessária para o aperfeiçoamento, torna-se uma caminhada aleatória entre os medíocres. Em ambos os casos, o escalamento pode ajudar [4].

O escalamento utilizado neste trabalho é o escalamento linear, determinando uma relação linear entre o valor de aptidão original e o valor de aptidão escalado, conforme a figura 6 a seguir.

Na seqüência se pode então passar ao processo de seleção, que pode ser feito de várias formas e, no caso do Algoritmo Genético Simples, a solução adotada está embasada no método da roleta. O método da roleta consiste em associar a

cada cromossomo um pedaço da roleta (ou setor) de tamanho proporcional à sua função de avaliação.

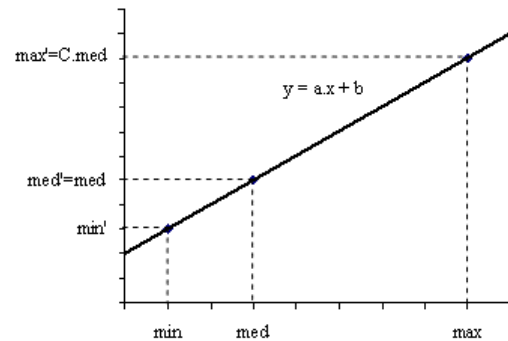


Figura 6 – Escalamento Linear

A seleção é feita da seguinte forma:

- 1) Sorteia-se um número entre 0 e a soma das funções de avaliação.
- 2) Soma-se, em qualquer ordem, o valor do setor alocado de cada cromossomo.
- 3) O cromossomo cujo setor fizer esta soma ultrapassar o número sorteado será o cromossomo escolhido.

A figura abaixo ilustra o método descrito:

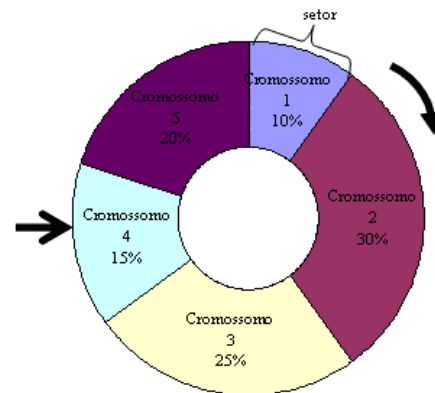


Figura 7 – Seleção pelo método da roleta

Durante a seleção, por se tratar de um processo probabilístico, pode ocorrer a perda do melhor indivíduo daquela geração, isto é, pode acontecer de o indivíduo mais apto não ser escolhido para formar a geração seguinte. Para solucionar esta questão existe o processo de Elitismo, no qual os n melhores indivíduos da geração atual são copiados na geração seguinte.

Uma vez selecionados os indivíduos, a etapa seguinte é a do cruzamento. Primeiro, sorteia-se um número de 0 a 1 e, caso o valor sorteado seja menor que a taxa de cruzamento, procede-se o referido processo; caso contrário, apenas repetem-se os cromossomos dos “pais” para a próxima geração.

O processo de cruzamento pode ser feito em único ponto e múltiplos pontos. Significa dizer que o ponto de corte dos pais

para a formação dos novos indivíduos pode ser único ou múltiplo.

Para o processo de cruzamento de um ponto, utilizado neste trabalho, sorteia-se um número n entre 1 e o tamanho do string, de tal forma que um dos filhos terá os genes de 1 a n de um dos pais e de $n+1$ até o final do outro. Analogamente, o outro filho receberá os n primeiros genes do segundo pai e os demais genes do primeiro, conforme ilustrado abaixo:

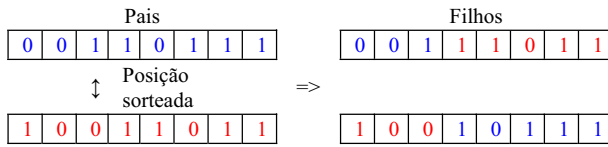


Figura 8 – Processo de cruzamento de um ponto

Um dos operadores mais importantes no processo de evolução das espécies é a mutação. É a partir deste mecanismo que saltos qualitativos na população podem ser verificados. Para executar tal processo, para cada gene (bit) de toda a população sorteia-se um número de 0 a 1 e, caso o número sorteado seja menor do que a taxa de mutação definida, faz-se a troca do valor daquele bit, de forma que se era 0 passa a ser 1 e vice-versa. O processo pode ser assim ilustrado:

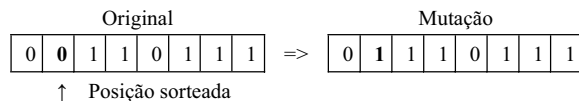


Figura 9 – Processo de mutação

VI. PASSOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO

A. Codificação do problema

A codificação do problema consiste em transformar as variáveis de decisão do problema em um cromossomo, podendo ser binária, inteira, real, etc., tendo a primeira sido utilizada neste trabalho.

A codificação binária nada mais é do que a “tradução” de valores (posição de chaves em um circuito, o despacho de usinas em um sistema ou o volume de energia a ser contratado) em números binários.

No caso deste trabalho, a codificação binária utilizada foi a Gray. Números binários Gray têm a característica de terem sempre a distância de um bit dos números subsequentes. A escolha do binário Gray deu-se a partir de simulações de casos comparativos, obtendo-se resultados melhores e em menor número de gerações em relação ao binário convencional.

B. Definição da Função de Avaliação

A Função de Avaliação determina a aptidão de cada indivíduo em perpetuar seus genes nas próximas gerações – o processo de seleção natural. Quando se deseja maximizar uma dada função objetivo, a função de avaliação pode ser a própria função objetivo.

Quando o problema envolve restrições, deve-se expandir a função de avaliação original, agregando multiplicadores de Lagrange, para penalizar o não atendimento das restrições.

C. Definição dos parâmetros do AG

Os parâmetros mais importantes de um Algoritmo Genético são:

- Tamanho da população: este parâmetro afeta diretamente o desempenho do algoritmo. Populações muito pequenas podem levar ao total fracasso do algoritmo; por outro lado, populações grandes demais podem deixá-lo excessivamente lento. Valores típicos variam de 30 a 100 indivíduos por geração.
- Taxa de cruzamento: nem todos os indivíduos selecionados para cruzamento passarão por este processo; alguns indivíduos podem ter simplesmente seus cromossomos copiados para a próxima geração. Este parâmetro define qual a probabilidade de ocorrer cruzamento e seu valor fica geralmente entre 0,6 e 0,95.
- Taxa de mutação: a mutação é um processo muito importante na evolução das espécies; é a partir dele que se garantem “saltos” qualitativos de uma geração para outra, tirando a solução de uma região de mínimo (ou máximo) local. Valores típicos variam de 0,001 a 0,01.

D. Definição do critério de parada

Para o encerramento da execução, pode-se considerar como critério de parada a convergência do problema (por exemplo, está há n gerações sem saltos qualitativos ou o melhor indivíduo é apenas $x\%$ melhor que a média dos indivíduos) ou um número fixo de gerações (por exemplo, 500).

VII. MODELO DE OTIMIZAÇÃO DA CONTRATAÇÃO DAS DISTRIBUIDORAS

A otimização da contratação das distribuidoras, seguindo a modelagem descrita é realizada através da utilização de algoritmos genéticos. Aqui, apresentam-se os detalhes do modelo desenvolvido.

A. Entradas e saídas do modelo

As entradas do modelo podem ser divididas em quatro grandes grupos:

- 1) Preços: devem-se determinar os preços esperados em R\$/MWh, nos diferentes tipos de leilões, para entrega nos anos indicados;
- 2) Cenário: definem-se os dados do mercado simulado, em MW-médios
- 3) Penalização
- 4) Parâmetros de execução

Com base nestes dados de entrada, o modelo calcula o prejuízo (e eventuais ganhos) correspondente a cada indivíduo da geração.

O indivíduo representa volumes de contratação em cada leilão e percentuais de redução dos contratos de energia existente. Aqueles indivíduos com menores prejuízos são classificados de tal forma a terem mais chance de se

reproduzirem, perpetuando seus genes na geração seguinte; em outras palavras, a probabilidade de reprodução é feita proporcional ao Valor Presente dos lucros esperados.

De forma esquemática, o modelo pode ser representado conforme Figura 10.

O modelo traz como saídas, baseado no melhor indivíduo da última geração:

- Os volumes a serem contratados em cada leilão; e
- O valor de redução dos contratos de energia existente a serem aplicados anualmente.

A obtenção dos parâmetros do AG não é tarefa trivial, pois não há uma regra que os relacione ao tipo do problema ou ao tamanho do cromossomo. Deve-se obtê-los de forma empírica, ou seja, na base da tentativa e erro

Assim, foram simulados 3 [perfis de contratação] x 2 [população] x 5 [recombinação] x 2 [mutação] = 60 casos diferentes, de onde se obteve a configuração final dos parâmetros, quais sejam:

- População: 30
- Probabilidade de recombinação: 0,95
- Probabilidade de mutação: 0,01

A simulação gera 500 gerações para alcançar a solução mais próxima possível da ótima. Nesta configuração o modelo demora aproximadamente 5 minutos para ser executado em um microcomputador Pentium IV 2,66 GHz com 512 MB de memória RAM.

VIII. RESULTADOS OBTIDOS – AFERIÇÃO DO MODELO

Em 17 de dezembro de 2004 a Companhia Paranaense de Energia publicou um boletim onde apresentava seu perfil de contratação pós-leilão, ilustrado na Figura 11 [6].

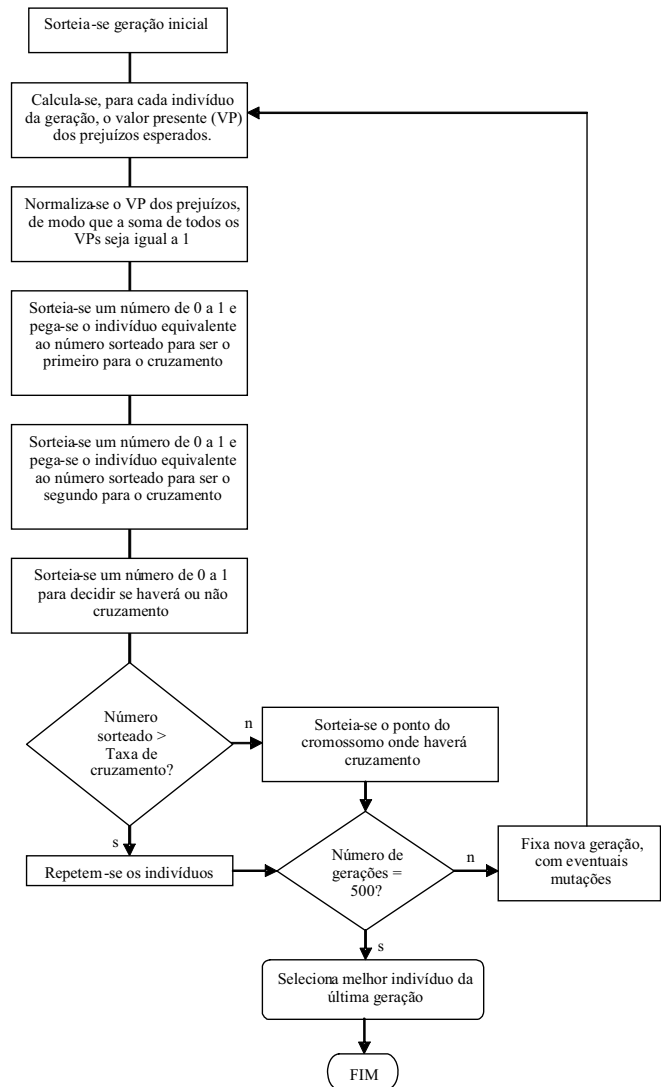


Figura 10– Algoritmo genético esquematizado

Conhecendo-se o volume que já havia sido contratado, inclusive antes da publicação da Lei 10.848/2004, e com a informação da contratação no Mega-leilão, pode-se simular o comportamento da COPEL no modelo desenvolvido, de forma a aferi-lo.

É evidente que não se divulgaram as premissas adotadas por esta companhia para a declaração de necessidade de contratação, de maneira que os parâmetros de simulação devem ser estimados. Inicialmente, deve-se fornecer ao modelo os preços esperados, em R\$/MWh, para os diversos leilões, nos diversos anos, bem como os parâmetros de penalização (PLD para sub e sobrecontratação) e a Taxa de Desconto considerada para cálculo do Valor Presente.

Finalmente, um dos principais parâmetros a ser estimado é o crescimento previsto da carga. Estimou-se um crescimento de carga de 3% no ano de 2006 (considerando um aquecimento maior da economia) e, em seguida, um valor constante de 2,5% ao ano.

O resultado obtido é o ilustrado nas figuras 12 a 15.

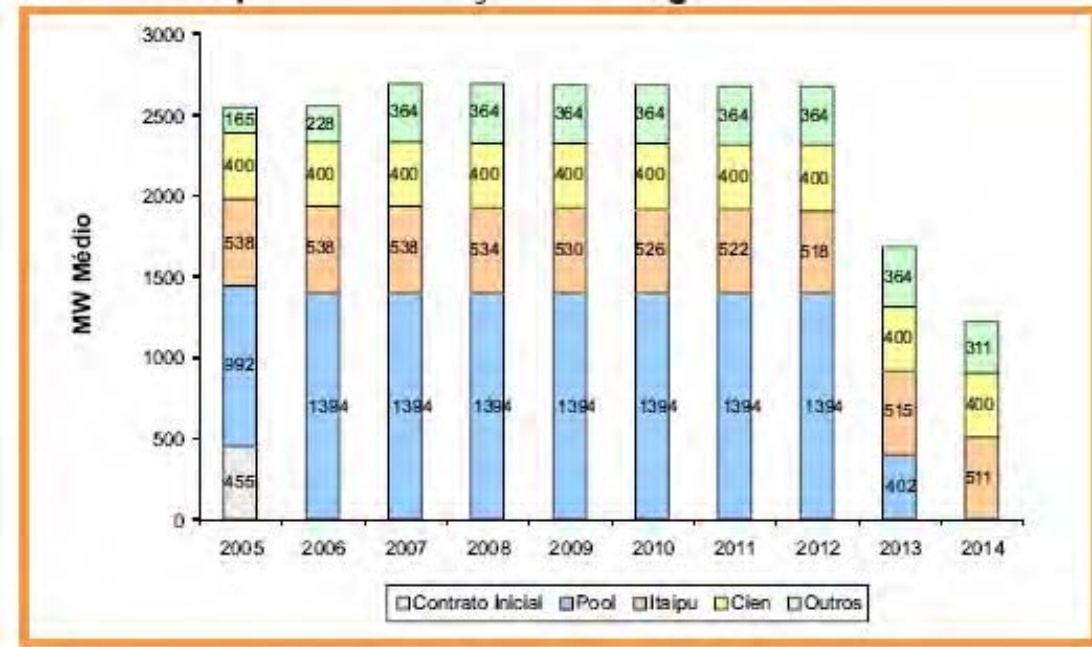


Figura 11 – Perfil de contratação da Copel

Contratação nos leilões de transição de energia existente

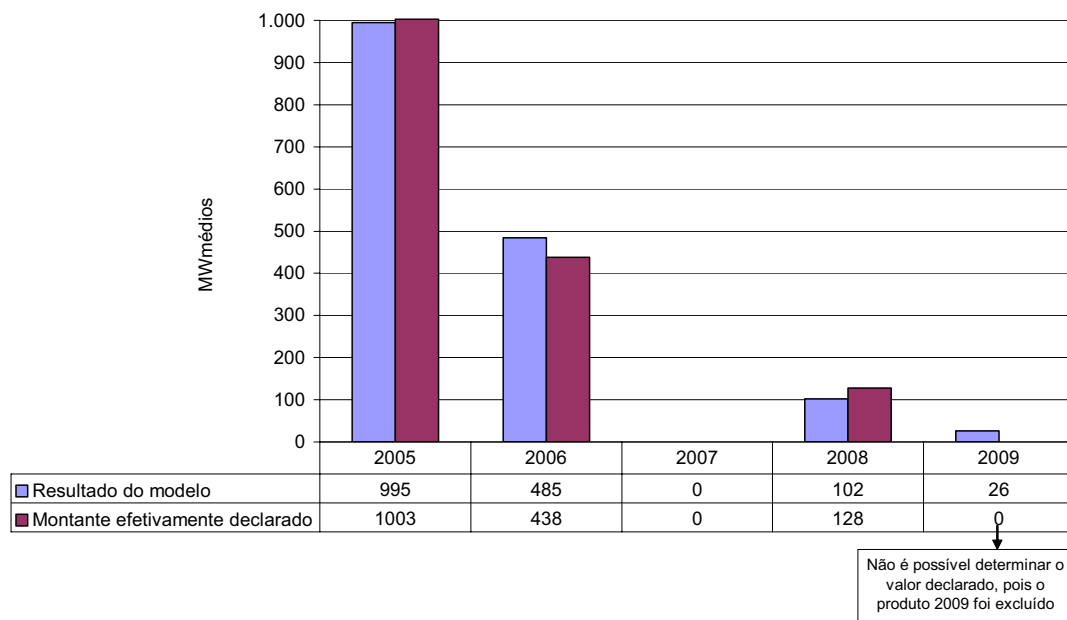


Figura 12 – Contratação proposta para os leilões de energia existente

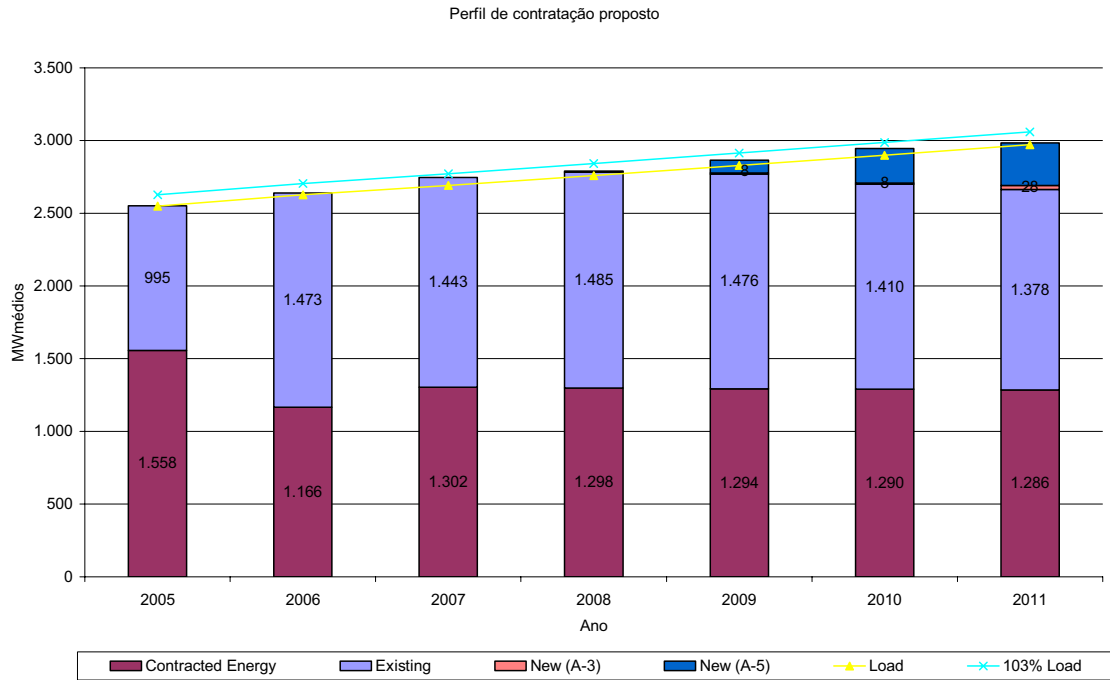


Figura 13 – Perfil de contratação proposto para a Copel

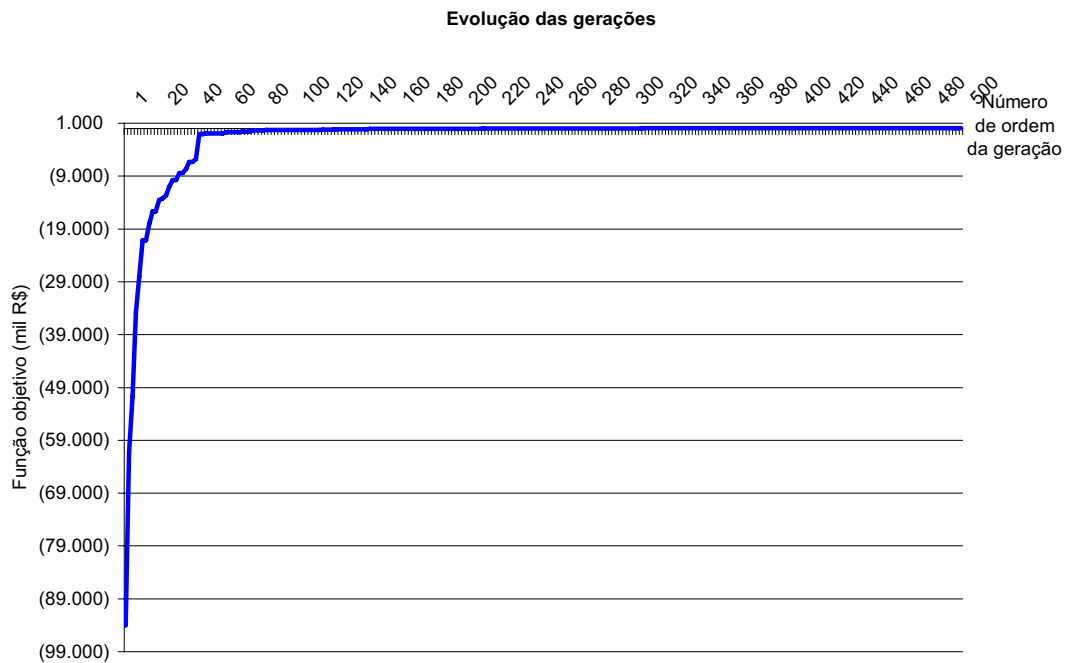


Figura 14 – Evolução das gerações

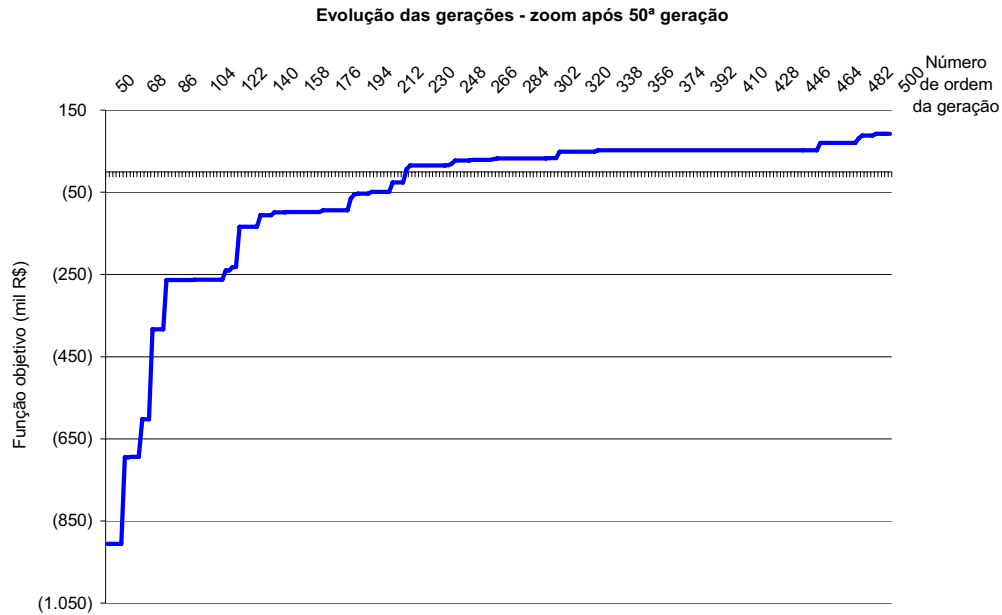


Figura 15 – Evolução das gerações (zoom após a 50ª geração)

A. Análise dos resultados

Inicialmente, pode-se analisar o desempenho do Algoritmo Genético na busca de uma solução ótima para o problema. A análise das figuras 14 e 15 mostra que nas primeiras 50 gerações há um “pulo” significativo no valor da função objetivo, sendo que a partir de então se notam variações cada vez menores daquele valor; aparentemente, a escolha de 500 gerações parece adequada.

Também se pode perceber que, conhecendo-se as regras de mercado e utilizando-as adequadamente com o devido

planejamento, é possível para as Distribuidoras obterem ganhos financeiros, obtendo-se maiores rentabilidades do que seus pares.

Avançando-se nas análises, apresenta-se a seguir uma figura que demonstra que um dos principais objetivos das regras do novo modelo, qual seja o incentivo à contratação da totalidade da demanda, foi atendido. De fato, observa-se um incentivo para que as Distribuidoras contratem sempre entre 100% e 103% de sua demanda projetada.

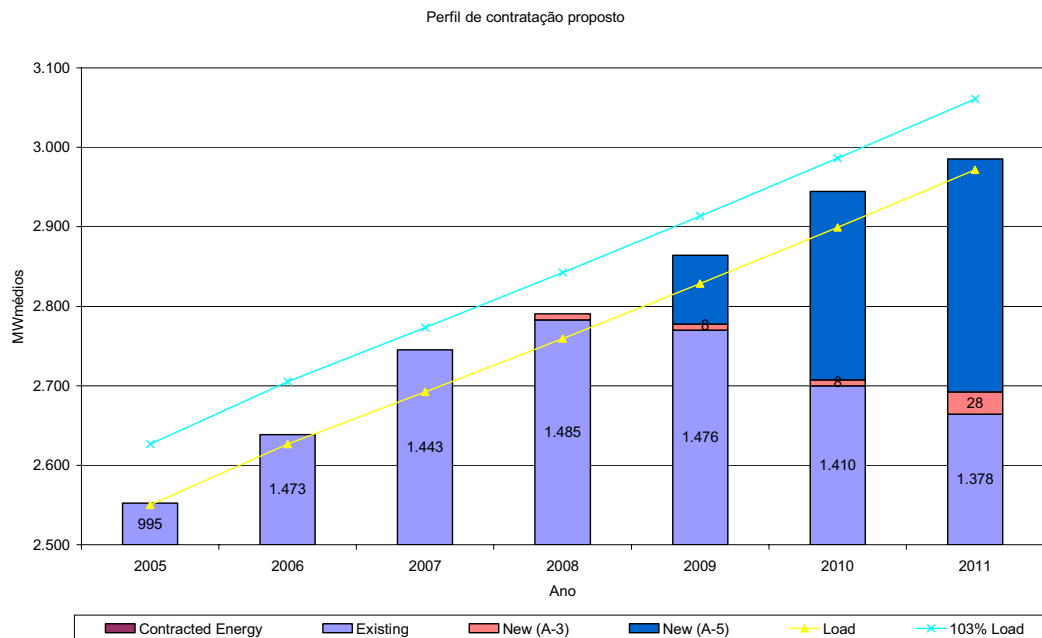


Figura 16 – Análise do incentivo para contratação da totalidade da demanda

Na continuidade das análises, passa-se a analisar a efetividade da opção de redução de até 4% do volume dos contratos de energia existente a critério exclusivo da Distribuidora, conforme disposto no artigo 29, inciso II do Decreto 5.163/2004.

Conforme se observa na Figura 17 (onde a linha pontilhada indica o volume de contratos de energia existente sem o exercício da opção de redução), enquanto nos primeiros anos nota-se a importância da opção de redução de volume de energia existente como ferramenta de gestão do risco de desvio de mercado pelas Distribuidoras, a partir de um dado momento – quando surge a possibilidade de compra de energia nova, com sua respectiva oportunidade de ganho na arbitragem de volumes entre A-3 e A-5 – nota-se que a Distribuidora tende a preferir reduzir os contratos de energia existente, comprando energia nova em seu lugar, embora houvesse

demanda suficiente para que fosse utilizado na integridade o contrato de energia existente.

Esse comportamento pode levar a um deslocamento de energia existente (supostamente mais barata) por energia nova (certamente mais cara) para os consumidores cativos. Conseqüentemente, haveria mais energia “velha” disponível no mercado livre, o que beneficiaria essencialmente os consumidores livres, que teriam maiores volumes de energia mais barata à sua disposição, indo provavelmente contra a premissa de Modicidade Tarifária para os consumidores cativos, muito embora contribuindo para garantir a expansão adequada da oferta, já que no mercado livre não existe uma sensível predisposição ao estabelecimento de contratos de longo prazo (superior a 10 anos), dificultando a obtenção de PPA’s (“*Power Purchase Agreement*”) por parte dos Agentes Geradores nesse mercado.

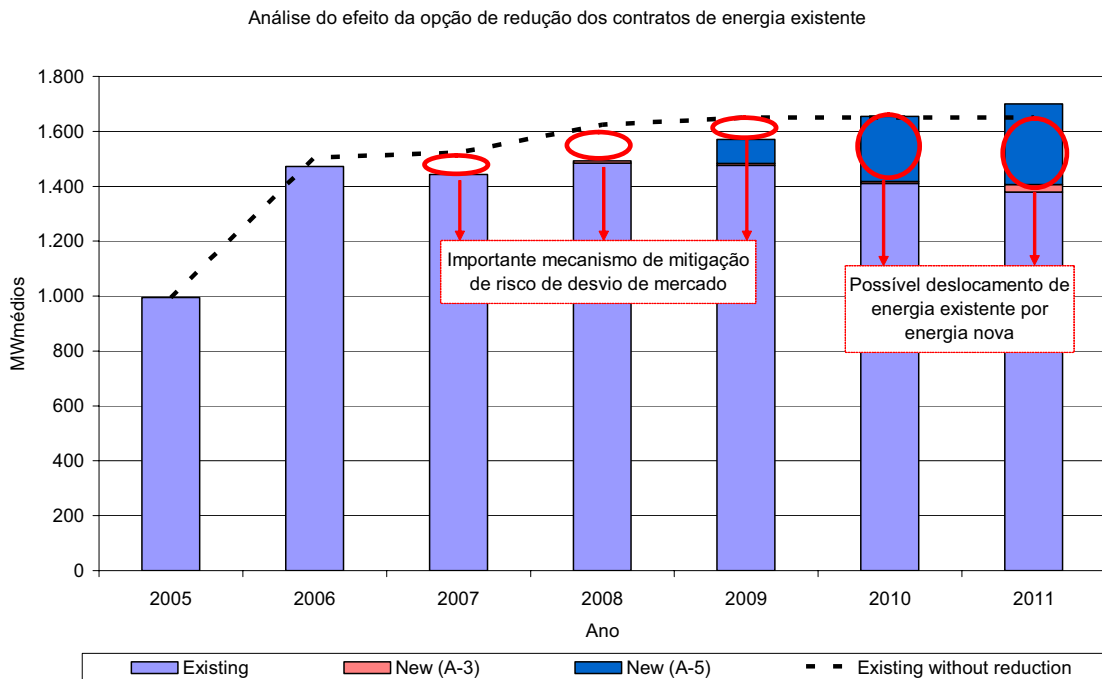


Figura 17 – Análise da opção de redução dos contratos de energia existente

IX. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo de otimização de contratação para simular o comportamento das Distribuidoras antes do leilão, no momento de entrega de suas declarações de necessidades de contratação ao Ministério de Minas.

Os resultados simulados para o caso Copel no modelo desenvolvido apresentam grande aderência com o comportamento de fato do agente (vide Figura 12).

A informação provida pelo modelo serve como ponto de partida para que os Geradores desenhem suas estratégias de comercialização, auxiliando na montagem de uma

expectativa de balanço entre oferta e demanda. Este balanço, em conjunto com outras ferramentas (como simuladores de leilão, aplicativos para cálculo da expansão ótima do sistema e etc.) ajudam a definir uma faixa de preços esperada tanto nos negócios do Ambiente Regulado como no Ambiente Livre.

Esse mesmo modelo permitiu analisar a efetividade das regras propostas pelo Decreto, em particular as de incentivo à contratação da totalidade da demanda e a de opção de redução do volume dos contratos de energia existente.

X. REFERÊNCIAS

- [1] MME (1996). Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro – RE-SEB. Brasília, novembro/1996.
- [2] MME (2003). Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico. Brasília, 17/dez/2003.
- [3] Barcellos, J.C.H. (2000). Algoritmos Genéticos Adaptativos: Um estudo comparativo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, abr/2000.
- [4] Dornellas, C.R.R. (1997). Otimização do Despacho de Reativos Utilizando Algoritmos Genéticos. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, nov/1997.
- [5] Kagan, N. e Oliveira, C.C.B. (2003). Configuração de Redes de Distribuição Através de Algoritmos Genéticos. Notas de aula da disciplina PEA 2522 – Técnicas de Otimização em Engenharia de Potência. São Paulo, 2003.
- [6] COPEL (2004). Boletim RI Informe 20 – Contratos de Energia da COPEL. Disponível em [http://www.copel.com/pagcopel.nsf/arquivos/bri20_04port/\\$FILE/BRI20_04port.pdf](http://www.copel.com/pagcopel.nsf/arquivos/bri20_04port/$FILE/BRI20_04port.pdf). Acesso em 17 de janeiro de 2005.
- [7] Ramos, D.S.R, Fadigas, E.A.A. e Lima, W.S. (2000). Novo Ambiente Regulatório Brasileiro, Regras de Mercado e Condicionantes para Geradores Termelétricos. São Paulo: Petrobras/FUSP, 2000.
- [8] Ramos, D.S. (2004). Notas de aula da disciplina PEA 5771 - Formação de Preços e Comercialização de Energia no Novo Ambiente do Setor Elétrico. São Paulo, 2004.
- [9] Ghoshray, S., Yen, K. K. More Efficient Genetic Algorithm For Solving Optimization Problems. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1995.
- [10] Soto, J. R. O, Dornellas, C. R. R., Falcão, D. M. Optimal reactive power dispatch using a hybrid formulation: Genetic Algorithms and Interior Point. IEEE Porto Power Tech Conference, 2001.
- [11] Chambers, L. D. Practical Handbook of Genetic Algorithms: Complex Coding Systems, Volume III. CRC Press, Boca Raton: 1999.
- [12] Shadhidepour, M., Yamin, H., Li, Z. Market Operations in Electric Power Systems – Forecasting, Scheduling and Risk Management. IEEE/John Wiley & Sons, New York: 2002.