

# OTIMIZAÇÃO APLICADA A INDÚSTRIA DA ENERGIA ELÉTRICA: UM AMBIENTE EDUCACIONAL PARA CURSOS DE GRADUAÇÃO

**Diogo Martins<sup>1</sup> ; Francisco J. Gomes<sup>2</sup> –**

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Energia Elétrica,  
Campus Universitário, Bairro Martelos –  
CEP 36.036-330 – Juiz de Fora - MG

<sup>1</sup>diogo\_bino@yahoo.com.br; <sup>2</sup>chicogomes@terra.com.br

**Resumo:** *A indústria da Energia Elétrica é atualmente impactada, como talvez nenhuma outra área, pelos processos de desregulamentação e privatização das infra-estruturas nacionais. Conceitos até então estranhos ao setor, como concorrência empresarial, alta eficiência e economia de mercado passaram a integrar seu jargão cotidiano. Estas alterações se refletem, de forma direta, no perfil profissional do engenheiro eletricista e no processo educacional de sua formação, onde passam a ter destaques conceitos de planejamento, controle e otimização operacional dos sistemas elétricos. O trabalho apresenta uma ferramenta didática auxiliar, na forma de um ambiente gráfico interativo, que busca facilitar o processo de aprendizagem dos conceitos subjacentes à área de Otimização de Sistemas Elétricos, possibilitando ao estudante interagir e otimizar diversas configurações de sistemas elétricos. Baseado em ferramentas computacionais interativas, que auxiliam e orientam o usuário na tomada de decisões, analisam os resultados com base em gráficos, tabelas e situações geradas a cada etapa do programa, além de instruções sobre cada passo da solução. Análise dos resultados obtidos com sua aplicação são também apresentadas.*

**Palavras-chave:** *Educação em Engenharia, Otimização, Programação Não Linear, Otimização da Indústria Elétrica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de energia elétrica de potência vem passando por mudanças colossais nos tempos atuais. Pode-se mesmo afirmar que esta constitui talvez uma das áreas da engenharia mais profundamente impactadas pelas atuais políticas de desregulamentação e privatização, com abertura de capitais, das infra-estruturas nacionais. Novos conceitos até recentemente estranhos ao setor como eficiência, leis de mercado, competitividade, leilões de energia, passam a integrar, na atualidade, o linguajar e procedimentos cotidianos rotineiros, tornando-se fundamentais para sobrevivência econômica das empresas. Neste ambiente competitivo não constitui surpresa a incorporação, como tema prioritário, das técnicas e ferramentas otimizatórias no processo de tomada de decisão.

Apesar destas demandas, é surpreendente que muitos cursos de engenharia elétrica não considerem a teoria de otimização em suas ementas regulares da graduação. E, mais espantoso: muitos estudantes em nível de pós-graduação também não possuem contato com estas técnicas, procedimentos e ferramentas, por vezes nem com programação linear. Este fato ressalte-se, não é exclusividade da formação em engenharia elétrica no Brasil, mas assume contornos mais amplos [4].

Os conceitos matemáticos necessários ao estabelecimento dos princípios, técnicas e ferramentas de otimização se apóiam em relações abstratas que, por vezes, apresentam certa complexidade aos estudantes de graduação, pois devem subsidiar análise de situações reais e tomada de decisões relativas à operação dos sistemas elétricos reais. E, infelizmente, não

existem muitas ferramentas didáticas de suporte que facilitem este aprendizado e ofereçam ao aluno espaços que fortaleçam os conceitos necessários à utilização das técnicas de otimização. [4].

Segundo o MME:EPE [3], o Modelo Institucional do Setor Elétrico brasileiro delega aos agentes privados e públicos a decisão sobre o montante de energia elétrica a contratar e os investimentos a realizar, a partir dos leilões de usinas geradoras e sistemas de transmissão, o que direciona a expansão do parque gerador e as instalações de transmissão. Desta forma, “são os agentes de distribuição que decidem e se comprometem a pagar [...] os montantes de energia elétrica provenientes de novas instalações de geração de energia elétrica [...]. Com a informação das distribuidoras, os geradores então decidem que novos empreendimentos de geração desejam construir, apresentando, nos leilões, propostas de preços de venda de sua energia elétrica, competindo por contratos de compra de energia das concessionárias distribuidoras” [3].

O modelo apresenta complexidades adicionais, haja vista que a livre negociação é permitida entre os geradores e consumidores livres. Definidas as novas usinas geradoras e conhecido o crescimento das cargas, é estabelecida a expansão do sistema de transmissão necessária ao transporte da energia elétrica desde as fontes de produção até o local de consumo.

Ainda de acordo com o Plano Decenal, enquanto o planejamento da expansão permite minimizar os custos totais futuros da energia elétrica para a sociedade como um todo, o objetivo de cada um dos agentes é, principalmente, a maximização de seus resultados. Desta forma, os agentes tomam decisões de investimentos baseados em suas estratégias e aspirações de taxas de retorno. Em suma, cada agente privado desenvolve seu plano de expansão empresarial, com objetivos que podem ser bastante distintos daqueles do planejamento governamental.

Esta situação clarifica a necessidade de inserir, como conteúdo curricular normal dos engenheiros eletricitas, o conhecimento e a utilização de técnicas e procedimentos otimizados de operação dos sistemas elétricos. Aos conceitos ordinários da otimização, que envolvem a capacidade de manejar funções e restrições operacionais lineares e não lineares, condições Khun-Tucker, funções penalidade e outros [1], agrega-se a necessidade do domínio das ferramentas computacionais, sem o que não se otimiza sistemas reais. Neste quadro, as ferramentas computacionais podem adquirir dupla finalidade: inicialmente, tornam-se imprescindíveis, pois seus mecanismos, artifícios de desenvolvimento e capacidade de processar quantidades massivas de dados possibilitam toda as facilidades e praticidades atualmente conhecidas. Contudo, pode também, simultaneamente, ser utilizado como importante ferramenta didática auxiliando a compreensão de conceitos de modo fácil e interativo. Neste contexto, o computador se transforma em ferramenta de desenvolvimento indispensável no processo pedagógico.

Seguindo esta diretriz, a elaboração do projeto apresentado no presente trabalho nasceu de uma proposta didática para facilitar o aprendizado dos conceitos básicos das técnicas de otimização de sistemas elétricos de potência. A ferramenta desenvolvida consiste de um ambiente digital gráfico baseado em interface gráfica amigável desenvolvida em MATLAB<sup>®</sup>. O ambiente desenvolvido permite o trabalho com técnicas otimizatórias clássicas, basicamente o método do gradiente, solução iterativa por Newton-Raphson e a Iteração Lambda, com aplicabilidade das condições de Khun-Tucker. Os procedimentos são aplicados a sistemas com centrais térmicas, sistemas com térmicas em modo “take-or-pay” e ao planejamento de um parque hidrotérmico abrangendo térmicas e hidroelétricas. Todos estes procedimentos utilizam uma interatividade com o aluno facilitando seu trabalho e compreensão dos conceitos necessários ao conhecimento das ferramentas de otimização dos sistemas.

O trabalho está dividido como segue: o capítulo 2 apresenta os modelos e procedimentos utilizados; os capítulos 3 e 4 apresentam as interfaces do programa e resultados ilustrativos. O capítulo 5, com as conclusões gerais e sugestões encerra o trabalho.

## 2. MODELOS E ALGORITMOS: DESPACHO ÓTIMO

O primeiro enfoque para a otimização aborda o problema do despacho ótimo, onde as gerações de  $N$  centrais térmicas devem satisfazer às restrições de demanda e geração, com o menor custo possível.

### 2.1 Problema de $N$ térmicas com perdas

Considere-se um sistema de  $N$  unidades térmicas com as seguintes características:

$$H_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \text{ MBTU/h} \quad (1)$$

$$\alpha_i \text{ MW} \quad (2)$$

$$\beta_i \text{ MW} \quad (3)$$

$$\delta_i \text{ \$/MBTU} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

Onde a equação (1) é a curva energética de cada unidade,  $\alpha$  e  $\beta$  são as potências máximas e mínimas de operação respectivamente e  $\delta$  é o custo por MBTU (“*Mega British Thermal Unit*”),  $P_i$  são as potências individuais de cada central e  $H_i$  é a relação energética entrada-saída da planta.

Supor que as perdas na linha sejam expressas pela equação (4) que segue:

$$PL = \varepsilon_1 P_1^2 + \varepsilon_2 P_2^2 + \dots + \varepsilon_N P_N^2 \quad (4)$$

O cálculo do custo operacional para cada unidade será então obtido pela equação (5):

$$F_i = (H_i \times \delta_i) \text{ \$/h} \quad (5)$$

O ponto de operação ótimo de um sistema não restrito, sem perdas, ocorre quando todas as unidades possuem o mesmo custo marginal  $\lambda$  demonstrado pela equação (6) [5,2]:

$$\frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \frac{dF_3}{dP_3} = \lambda \quad (6)$$

Se as perdas são consideradas, a condição ótima exige que as unidades operem com o mesmo custo marginal, devidamente ponderado pelo Fator de Penalidade (FP):

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \left( 1 - \frac{dPL}{dP_i} \right) = \lambda * FP \quad (7)$$

Chega-se, assim, ao seguinte sistema de equações (8):

$$\begin{aligned}
2a_1P_1 + b_1 &= \lambda(1 - 2\varepsilon_1P_1) \\
2a_2P_2 + b_2 &= \lambda(1 - 2\varepsilon_2P_2) \\
&\dots \\
2a_NP_N + b_N &= \lambda(1 - 2\varepsilon_NP_N)
\end{aligned}
\tag{8}$$

## 2.2 Método de Newton-Raphson

O conjunto de equações (8) representa a condição do despacho ótimo, que pode ser solucionada por distintos procedimentos. Um dos mais utilizados é o Método de Newton-Raphson, que transforma o conjunto de equações não lineares em um sistema de equações lineares. O método apresenta os seguintes passos:

- a- Selecionar uma solução factível inicial;
- b- Para esta solução, calcular as perdas totais PL e as perdas incrementais  $dPL/dP_i$ , que serão consideradas constantes ao longo da iteração, linearizando o sistema;
- c- Calcular  $\lambda$  tal que  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = PL + PR$ ;
- d- Se a variação de  $P_1, P_2$  e  $P_3 \dots P_n$  estiver dentro da tolerância, o problema convergiu; caso contrário retorne ao passo “b”.

Um dos pontos críticos na busca do ponto ótimo para o problema é o exame das condições de Khun-Tucker, caso as restrições de desigualdade se tornem ativas. O exame destas condições bem como as alterações que serão então introduzidas no problema para a próxima iteração são aspectos que devem ser trabalhados com os estudantes.

## 2.3 Método da iteração lambda

Um procedimento alternativo para solução do problema consiste em se igualar os custos incrementais das diversas unidades, buscando valor para  $\lambda$ , igual para todas as máquinas, que satisfaça a restrição da demanda do sistema. O método apresenta os seguintes passos:

- a- Selecionar  $\lambda$  ( $\lambda_1$ ) tal qual  $P_1 + P_2 + P_3$  seja inferior a demanda mais as perdas ( $dm + PL$ );
- b- Selecionar  $\lambda$  ( $\lambda_2$ ) tal qual  $P_1 + P_2 + P_3$  seja superior a  $dm + PL$ ;
- c- Calcula-se a média aritmética  $((\lambda_1 + \lambda_2)/2)$ . Se o valor obtido para  $P_1 + P_2 + P_3$  utilizando o valor médio for inferior a  $dm + PL$ ,  $\lambda_1$  é substituído pelo valor médio. Caso seja superior quem é substituído é  $\lambda_2$ ;
- d- Repete-se o passo “c” até obter-se um valor  $P_1 + P_2 + P_3$  que satisfaça  $dm + PL$  dentro de um limite de erro aceitável.

De forma semelhante ao anterior, o exame das condições de Khun-Tucker, caso as restrições de desigualdade se tornem ativas, é também ponto crítico neste algoritmo. A forma de sua apresentação, discussão e tomada de decisão pelo aluno é fundamental para se conseguir sucesso na convergência do algoritmo.

## 2.4 Método do gradiente

A busca do ótimo pelo método do gradiente é um modo bem eficaz e utiliza sua caminhada baseando-se no gradiente da função. O método é inicializado e mantém, durante todo seu procedimento de busca, a condição de factibilidade. A característica a destacar no algoritmo utilizado é sua adaptabilidade para lidar com as restrições do problema, situação esta que o método convencional do “*steepest descend*” não consegue resolver. A manutenção da restrição de igualdade (demanda igual a geração) é mantida por meio da adoção de uma unidade “*swing*” que torna nulo o conjunto de alterações na distribuição factível da geração entre as centrais. O método apresenta os seguintes passos:

a- Escolhe-se, inicialmente, uma solução factível para o sistema.

b- Seleciona-se uma unidade “*swing*”. Para melhor visualização do problema considerar um sistema com 3 unidades, onde a unidade 3 atua como “*swing*”:

$$\Delta F = \sum_{i \neq x} \left[ \frac{dF_i}{dP_i} - \frac{dF_x}{dP_x} \right] \Delta P_i \quad (9)$$

$$\Delta F = \left( \frac{dF_1}{dP_1} - \frac{dF_3}{dP_3} \right) \Delta P_1 + \left( \frac{dF_2}{dP_2} - \frac{dF_3}{dP_3} \right) \Delta P_2 \quad (10)$$

c- Selecionar a unidade com maior coeficiente, ou seja, a que terá maior influência na Função Objetivo e alterar esta unidade, efetuando a compensação com a unidade “*swing*”. Retornar ao passo **b** efetuando a substituição da unidade “*swing*” caso a restrição de desigualdade seja violada.

d- Repetir até convergir dentro da tolerância estipulada.

### 3. MODELOS E ALGORITMOS: PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO ENERGÉTICA

O segundo enfoque adotado aborda o gerenciamento energético, com a otimização efetuada dentro de um período estipulado de planejamento, sendo também introduzidas restrições à quantidade de insumo disponível, seja este insumo um combustível fóssil, nuclear ou mesmo a reserva hidrológica.

#### 3.1 Recursos Limitados: Método “*Take-or-Pay*”

O enfoque fundamental desta técnica, e que possibilita a otimização integrada de térmicas e hidroelétricas, é o “*take-or-pay*”: existe agora uma restrição de se consumir uma quantidade estipulada de combustível (“*take*”) ou, não satisfazendo a restrição, pagar uma penalidade (“*pay*”) [4]. A técnica utilizada atribui um preço fictício (“*shadow price*”) ao recurso limitado para controlar seu consumo, de acordo com as leis de mercado: para um preço alto o consumo será baixo; caso seja considerado barato o consumo será alto. Controla-se, desta forma, o consumo das unidades com recursos pré-estipulados. O método apresenta os seguintes passos:

a- Inserir os dados iniciais: coeficientes das equações, mínimos e máximos de operação, o custo real do combustível das unidades térmicas, a demanda de cada período de operação, a quantidade de combustível a ser consumido.

- b- Aplicar um método de otimização do despacho ótimo – por exemplo, “método do gradiente” - otimizando-se cada período.
- c- Verificar o consumo dos recursos controlados: se for maior que o consumo estipulado, incrementar o “shadow price”; se for inferior, diminuir o “*shadow price*” e retornar ao passo anterior;
- d- Repetir estes procedimentos até a convergência dentro dos limites estipulados.

### 3.2 Coordenação hidrotérmica ou iteração $\lambda - \gamma$ .

É fato conhecido que o sistema brasileiro é fundamentalmente hidrotérmico, com 85% de nossa energia provindo de fontes hidroelétricas. A coordenação hidrotérmica, ou iteração  $\lambda - \gamma$  [4], tem como objetivo operar economicamente um sistema com térmicas e hidroelétricas, assegurando ainda um manejo seguro dos recursos hídricos, sem desperdício ou exaustão. As peculiaridades do problema repousam no fato que diversos fatores internos e externos ao problema, como afluência nos reservatórios, capacidade de estocagem, manejo de água para aplicações secundárias como agricultura, lazer, pesca, etc. aparecem como restrições nos modelos utilizados. Neste quadro traçado, deve-se determinar a participação econômica ótima das térmicas que propicie o uso racional da água minimizando o risco de déficit na geração de energia, sem por vertimento de águas turbináveis ou volume excessivo restante no reservatório ao final do período.

O método clássico para solução deste problema é baseado no chamado algoritmo de iteração  $\lambda - \gamma$ , que consiste, em sua forma clássica, de três laços iterativos: o mais interno ajusta os multiplicadores de Lagrange  $\lambda_j$  para solução das equações de coordenação hidrotérmica e do balanço de potência; o laço intermediário faz uma varredura dos diversos intervalos de tempo adotado para o planejamento enquanto o laço mais externo atualiza o multiplicador de Lagrange do “custo” do recurso restrito  $\gamma$ . O método apresenta os seguintes passos:

- a - Iniciar  $\lambda_k, \gamma$  e  $P_{T,k}$
- b - Iniciar marcador de intervalos  $j = 1$ ;
- c - Resolver as equações de coordenação para  $P_{T,j}$  e  $P_{L,j}$ , equação (11):

$$h_j \frac{dF(P_{T,j})}{dP_{T,j}} + \lambda_j \frac{\partial P_{perdas,j}}{\partial P_{T,j}} = \lambda_j \quad (11)$$

- d - Verificar se as equações de balanço de carga, equação (12), são satisfeitas:

$$P_{L,j} + P_{perdas,j} - P_{H,j} - P_{T,j} \leq \varepsilon_1 \quad (12)$$

Em caso positivo, ir para o passo e. Em caso negativo, projetar novo valor para  $\lambda_j$  e retornar ao passo c;

- e- Calcular a equação (13)

$$q_j = q(P_{H,j}). \quad (13)$$

- f- Se  $j = j_{\max}$ , ir para o passo g. Caso contrário, atualizar  $j$  e retornar ao passo c.

g- Verificar cumprimento da restrição volume, equação (14):

$$\left| \sum_{j=1}^{j_{\max}} h_j q(P_{H,j}) - V_{tot} \right| \leq \varepsilon_2 \quad (14)$$

Restrições adicionais podem ser inseridas no problema, como, por exemplo, perdas na linha ou turbinagens máximas e mínimas em intervalos pré-estipulados, o que aumenta seu grau de complexidade e motivação para sua solução.

#### 4. O AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

O desenvolvimento do ambiente teve por objetivo primário permitir o fortalecimento dos conceitos e o aprendizado da otimização aplicada a sistemas elétricos. Buscou-se, para isto, confrontar os alunos com diversas situações possíveis, onde os resultados de alterações e de mudanças nas condições operacionais pudessem ser calculados e analisados. O ambiente disponibiliza, para isto, uma tela de entrada que permite a escolha do procedimento de otimização que será utilizado (figura 1).

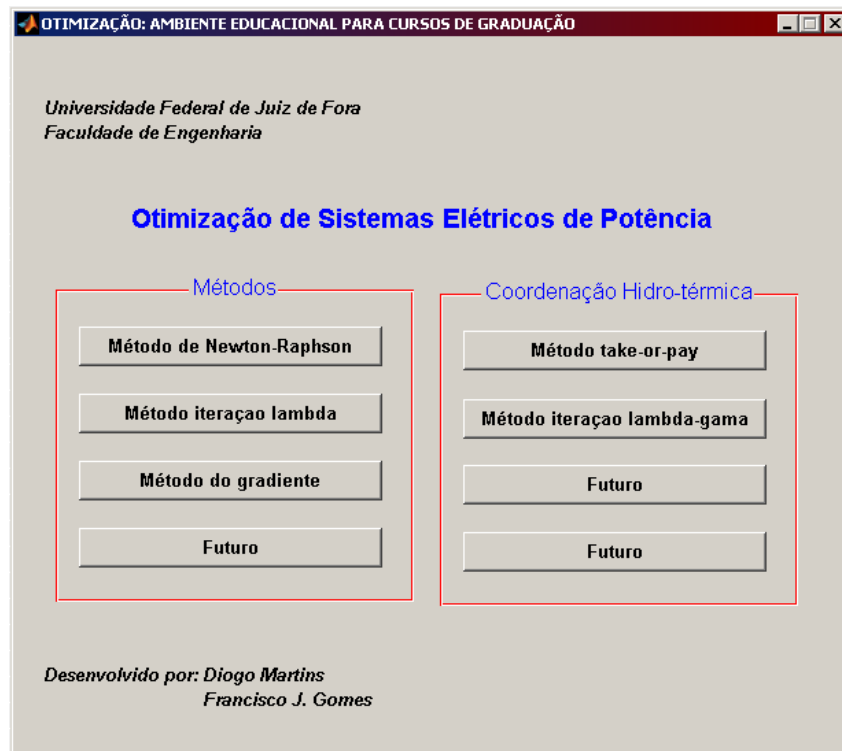


Figura 1: Tela Inicial do Ambiente com os Métodos

São disponibilizadas opções para despacho ótimo, com 03 alternativas, que são a solução iterativa por Newton-Raphson, a iteração  $\lambda$  e o método do gradiente. Para a coordenação hidrotérmica são disponibilizados o método do “take-or-pay”, que pode também ser aplicado a sistemas totalmente térmicos, e a coordenação hidrotérmica utilizando a iteração  $\lambda - \gamma$ . O sistema, de forma semelhante aos ambientes reais, já disponibiliza ícones para introdução futura de novos métodos para as duas opções apresentadas (despacho e coordenação). Trabalha-se, no momento, na introdução de um método baseado em Programação Dinâmica

para manejo de reservatórios acoplados e uma segunda opção para o “take-or-pay” com outro algoritmo do método do gradiente [5].

Embora todos os métodos já apresentem inicialmente os casos “padrão”, o ambiente disponibiliza a opção de inserção de dados iniciais permitindo que o usuário possa analisar a variabilidade das soluções em função de alterações diversas nos sistemas analisados. Dada a pouca disponibilidade de espaço, o ambiente será apresentado mostrando-se algumas telas de uma seqüência de procedimentos no caso padrão de despacho para o método de Newton-Raphson e a Iteração  $\lambda$ . Na versão padrão, o ambiente permite que o usuário introduza ou altere os dados das curvas energéticas das diferentes centrais – no caso, com adoção de polinômios até do 3º grau - as restrições operacionais de desigualdades associadas aos mínimos e máximos das gerações, a demanda, a equação que expressa as perdas nas linhas e o custo do combustível associado a cada central (figura 2).

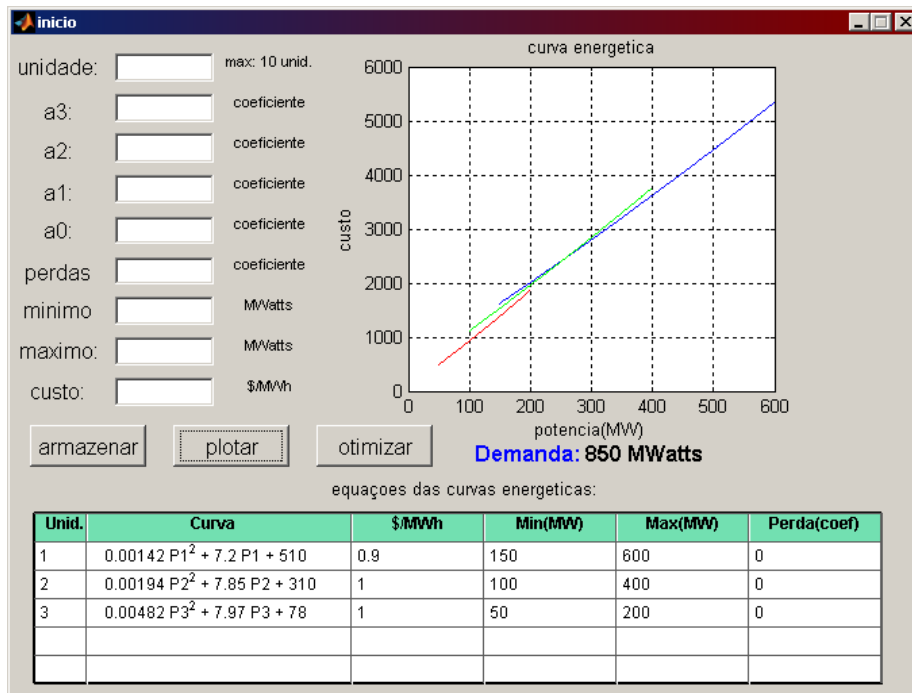


Figura 2: Entrada dos dados e Curvas de Custo das Centrais

Ao efetuar a inserção das constantes da curva energética e os custos associados ao combustível o sistema disponibiliza as curvas de custo de cada central possibilitando uma comparação visual por parte do usuário.

The screenshot shows the 'valores\_iniciais' window with a prompt: 'Digite os valores iniciais para se iniciar as iterações pelo metodo de newton'. It contains ten input fields for 'Unidade 1' through 'Unidade 10', each followed by 'MWatts'. The values entered are: Unidade 1: 250, Unidade 2: 300, Unidade 3: 300, and the others are empty. Below the fields, a note states: 'O somatorio das cargas deve ser igual a demanda mais as perdas na linha'. An 'OK' button is at the bottom.



Figura 3: Solução inicial para o Método de Newton

Após inserção dos dados, o ambiente disponibiliza então a tela inicial para a otimização onde, em função da demanda prevista e existência das perdas, uma solução inicial deve ser fornecida pelo usuário (figura 3, para o método de Newton).

A imagem mostra uma janela de software com o título "valores\_iniciais\_it\_lambda". O conteúdo da janela é o seguinte:

Escolha o intervalo inicial de lambda obedecendo as condições abaixo:

lambda 1:  OK

lambda 2:  OK

Condições:

1- Lambda 1: a soma das potencias geradas deve ser menor que a demanda mais as perdas

2- Lambda 2: a soma das potencias geradas deve ser maior que a demanda mais as perdas

Condição 1: <=

Condição 2: >=

Continuar

Figura 4: Solução inicial para a Iteração  $\lambda$

Caso a opção seja a iteração  $\lambda$ , a tela disponibilizada será a da figura 4, onde os valores iniciais de  $\lambda$  são fornecidos pelo usuário. O procedimento otimizador, porém, não ocorre de forma automática, pois entra aqui um aspecto crucial para o aluno: o entendimento e a aplicabilidade das condições de ótimo de Kuhn-Tucker. Para isto, sempre que uma restrição de desigualdade é violada o cálculo é interrompido e o usuário solicitado a intervir tomando a decisão sobre a nova configuração do sistema.

A imagem mostra duas mensagens de feedback em caixas de texto:

**CORRETO:** as condições de Kuhn Tucker foram obedecidas.

**ERRADO:** a(s) unidade(s) 1 2 não obedece(m) as condições de Kuhn Tucker

Figura 5: Interatividade do ambiente e condições de Kuhn-Tucker

Dependendo das decisões tomadas, o ambiente informa sobre os resultados alcançados e a satisfação das condições de ótimo obrigando a uma análise por parte do usuário para prosseguimento da solução e satisfação das condições de Kuhn-Tucker (figura 5).

Este procedimento interativo prossegue até que se alcance o resultado final, onde são, então, disponibilizadas as gerações individuais, o histórico das soluções intermediárias, as restrições operativas e os custos marginais associados (figura 6).

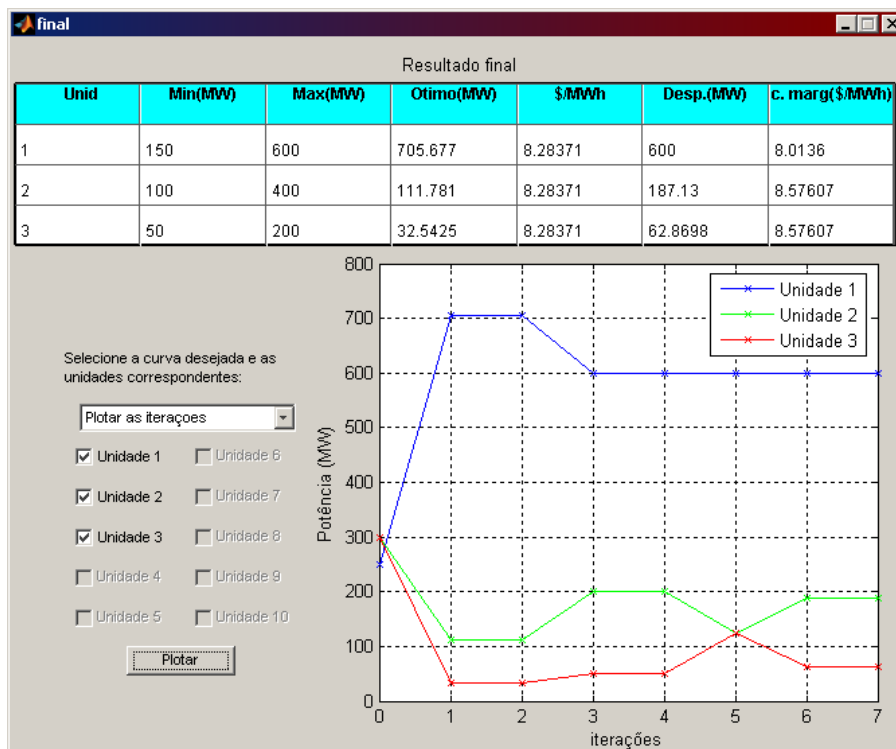


Figura 6: Tela final com o sistema otimizado para um despacho ótimo de três centrais térmicas

A interatividade com o aluno estabelecida pelo ambiente constitui um passo pedagógico fundamental no processo educacional, na medida em que delega a responsabilidade da decisão para o aluno mas, ao mesmo tempo, efetua as avaliações corretas e as informa ou, caso contrário, alerta sobre as decisões equivocadas e as conseqüências para a solução do problema. O aluno, desta forma, mesmo utilizando o ambiente, é obrigado a raciocinar e refletir sobre todos os procedimentos utilizados, durante todo o processo de busca das condições ótimas para o sistema, fortalecendo seus conceitos e estabelecendo um processo de construção do conhecimento.

## 5. CONCLUSÃO

No ambiente competitivo da indústria elétrica atual a otimização torna-se uma ferramenta indispensável. O trabalho apresentou um ambiente didático para otimização de sistemas elétricos de potência que facilita o aprendizado dos conceitos fundamentais subjacentes às ferramentas matemáticas utilizadas para estabelecimento das condições de despacho ótimo e coordenação hidrotérmica. Atuando de forma interativa com o usuário, obrigando-o a refletir sobre as decisões tomadas e mostrando-lhe as conseqüências de cada solução proposta, o sistema se revela extremamente útil para o aluno, permitindo-lhe uma compreensão e consolidação das condições de ótimo de Khun-Tucker de forma mais prática e eficiente. O ambiente vem sendo utilizado como ferramenta didática no Curso de Otimização de Sistemas de Potência da FEUFUF, onde tem se mostrado de grande valia e se constituído em importante ferramenta didática, o que permite recomendá-lo como uma opção válida para auxílio ao aprendizado na matéria.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAZAARA, M. S. AND SHETY, C. M. **Nonlinear Programming: Theory and Algorithms**. John Willey, New York, 1979.
- [2] ELGERD, O. I. **Electric Energy Systems Theory**. Tata Macgraw-Hill, NY, 2004
- [3] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; COLABORAÇÃO EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015**. Brasília: MME:EPE, 2006.
- [4] RAU, N. S. **Optimization Principles: Practical Applications to the Operation and Markets of the Electric Power Industry**. John Wiley, New York, 2003.
- [5] WOOD, A. J. AND WOLLENBERG, B. F. **Power Generation, Operation & Control**. John Wiley, New York, 1984.

## OPTIMIZATION APPLIED TO THE INDUSTRY OF THE ELECTRICAL ENERGY: AN EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR GRADUATION COURSES

**Abstract:** *The Electrical Energy Industry is influenced, currently, as perhaps none another area, by the deregulation and privatization processes of national infrastructures. Concepts until then strange to the sector, as enterprise competition, high efficiency and market economy had started to integrate its daily jargon. These alterations if reflect, of direct form, in the professional profile of the engineer electrician and in the educational process of its formation, where they start to have prominences planning concepts, it has controlled and operational optimization of the electrical systems. The work presents a didactic tool to assist, in the form of an interactive graphical environment, that searches to facilitate the process of learning of the underlying concepts to the area of Electrical Systems Optimization, making possible for the student to interact and to optimize various configurations of electrical systems. Based in interactive computational tools, that assist and guide the user in taking of decisions, that on the basis of analyze the graphical results, tables and situations generated to each stage of the program, beyond instructions on each step of the solution. Analysis of the results gotten with its application also is presented.*

**Keywords:** *Engineering Education, Optimization, Nonlinear Programming, Electric Industry Optimization*