

Otimização de Sistemas Hidrotérmicos por Enxame de Partículas: Uma Abordagem Orientada a Objetos

Gelson da Cruz JUNIOR², Cassio Dener Noronha VINHAL³

Lauro Ramon GOMIDES¹, Gelson da Cruz JUNIOR², Cassio Dener Noronha VINHAL³

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG

¹laurorg@gmail.com, ²gcruz@eee.ufg.br, ³cassio@eee.ufg.br

Abstract – O algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas (PSO) tem sido amplamente usado para resolução de problemas reais, inclusive no planejamento hidrotérmico, onde o objetivo é maximizar a produção de energia hidráulica a um mínimo custo operacional. Esse trabalho mostra a implementação deste método de otimização num cenário do Sistema Interligado Brasileiro - SIN, utilizando-se de dados reais de usinas existentes.

Palavras-Chave – Geração Hidrelétrica, Planejamento Energético, Enxame de Partículas, Otimização.

1. Introdução

O planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos pode ser traduzido como “a determinação de uma estratégia de geração que minimize o custo de operação em cada unidade do sistema durante o horizonte de planejamento”(1).

Por causa do alto grau de complexidade do problema, que inclui características não lineares e não convexas, várias técnicas de otimização e heurísticas já foram usadas buscando o despacho ótimo das usinas do sistema em estudo, tendo em vista todas as restrições do mesmo.

Entre as técnicas heurísticas, que apresentam uma natureza mais flexível ao trabalhar com não linearidades, além de possuírem menor custo de implementação e de tempo de execução, foi escolhida neste trabalho a técnica de Otimização por Enxame de Partículas (*Particle Swarm Optimization* - PSO) (2). Tal técnica baseia-se na movimentação das “partículas” (possíveis soluções) num espaço de busca. A cada iteração, as partículas atualizam suas posições e velocidades, na tentativa de chegar ao ponto ótimo do problema, guardando em memória a melhor posição de cada uma, assim como a melhor posição do “enxame” (que pode ou não ser todas as partículas). Com isso, de forma rápida e com certa precisão, é possível encontrar

uma solução que maximize o despacho hídrico das usinas hidrelétricas em cascata, minimizar a necessidade do uso da energia termelétrica, e ainda atender à demanda pela produção de energia elétrica.

Todo o sistema foi desenvolvido utilizando-se a linguagem Java, orientada a objetos, de forma a tornar mais simples a implementação e a formulação do problema e de suas variáveis, em termos de programação. Sendo essa linguagem portátil, o sistema poderá rodar em diversas plataformas computacionais. Por conta do seu aspecto orientado a objetos, diferentes abordagens podem ser feitas com pequena alteração no código fonte.

2. Materiais e Métodos

A teoria dos enxames de partículas foi utilizada para otimizar a operação de um sistema hidrotérmico. Os dados utilizados pelo sistema são dados oficiais, fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Tais dados envolvem vazões afluentes aos reservatórios, dados das unidades geradoras, custos operacionais, etc. O objetivo é encontrar a operação com menor custo para um sistema hidrotérmico, dentro de um cenário definido. Os estudos foram feitos utilizando uma métrica de tempo mensal, ou seja, a unidade de tempo usada foi o mês (1).

O objetivo primordial no planejamento hidrotérmico a curto/médio prazo é minimizar o custo total da complementação térmica, atendendo à demanda num determinado período Dt , e maximizando a produção hidrelétrica, ao mesmo tempo em que todas as constantes de igualdade e desigualdade devem ser atendidas. O custo total de produção de uma usina termelétrica para atender à demanda no horizonte de estudo é dado por F . A função objetivo pode então ser definida como mostra a equação:

$$\text{minimizar } F = \sum_{i=1}^T [f(pt_t)]$$

Em que $f(pt_t)$ é o custo da geração térmica em determinado período t . Tal função está sujeita às restrições do problema:

- **Balanceamento de carga no sistema:** a demanda de energia elétrica deve ser atendida pela geração hidráulica e complementada pela geração térmica, dessa forma:

$$\sum_{i=1}^M pt_{it} + \sum_{j=1}^N ph_{jt} - D_t - L_t = 0$$

Em que pt_{it} é a geração térmica da usina i no instante t , ph_{jt} é a geração hidráulica da usina j no instante t , D_t é a demanda no instante t , e L_t são as perdas no sistema no instante t . Para termos de simplificação do problema, considerou-se apenas uma unidade geradora térmica, e $L_t = 0$.

- **Limites de geração de energia:** as gerações térmicas e hidrelétricas possuem um limite máximo e mínimo.
- **Balanceamento dinâmico de água:** O volume de uma usina num determinado instante t é o volume que ela possuía no instante anterior, somado ao que ela recebeu de água, e subtraído o que ela devolveu de água ao sistema.

$$v_{jt} = v_{j,t-1} + I_{jt} - q_{jt} - spl_{jt} + \sum_{m=1}^{\Phi_j} [q_{m,t} + spl_{m,t}], \quad m \in \Phi_j$$

Em que v_{jt} é o volume da usina no instante t , $v_{j,t-1}$ é o volume anterior da usina, I_{jt} é a vazão lateral que chegou na usina nesse instante, q_{jt} é a turbinagem da usina no instante t , spl_{jt} é o vertimento da usina, $q_{m,t}$ é a turbinagem da usina à montante da usina atual e $spl_{m,t}$ é o vertimento da usina montante. E Φ_j é o conjunto de usinas diretamente à jusante da usina j .

- **Limites de armazenamento de reservatórios:** os limites de volumes de uma usina devem ser respeitados, de maneira que a água excedente deve ser vertida, e os volumes iniciais e finais do estudo devem atender aos definidos.
- **Limites de turbinagem:** as usinas possuem um limite físico de turbinagem de água.

O algoritmo PSO utiliza a movimentação das partículas no espaço de busca para determinar o melhor resultado. Dessa forma, as equações de cálculo da velocidade e posição de uma partícula são dadas respectivamente por:

$$\vec{V}_{ijp}^{k+1} = (w \times \vec{V}_{ijp}^k + c_1 \times rand() \times (\vec{Pbest}_{ijp} - \vec{X}_{ijp}^k) + c_2 \times rand() \times (\vec{gbest}_{ij1} - \vec{X}_{ijp}^k))$$

e

$$\vec{X}_{ijp}^{k+1} = \vec{X}_{ijp}^k + \vec{V}_{ijp}^{k+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

Onde: k é a iteração (geração), w é o fator peso de inércia, i é o número da unidade hidrelétrica (usina), p o é o número da partícula na população, j é o período (o planejamento energético pode ser dividido em horário, diário, mensal ou até anual), $c1$ e $c2$ são geralmente constantes de aceleração, e $rand()$ é um número aleatório no intervalo $[0,1]$.

3. Resultados e Discussões:

O resultado do algoritmo executado, mostrando o custo do estudo realizado, assim como a evolução das partículas do PSO são apresentados na forma de gráficos, utilizando-se uma interface programada em código Adobe Flex. Nela, é possível realizar diferentes estudos de otimização, com alterações nas variáveis, e comparar os resultados entre as diferentes abordagens.

As Figuras 1 e 2 a seguir mostram o resultado obtido para o armazenamento de água nos reservatórios e o custo total de geração para três usinas (Furnas, Marimbondo e Água Vermelha), para o período de vazões de abril de 1961 até maio de 1962.

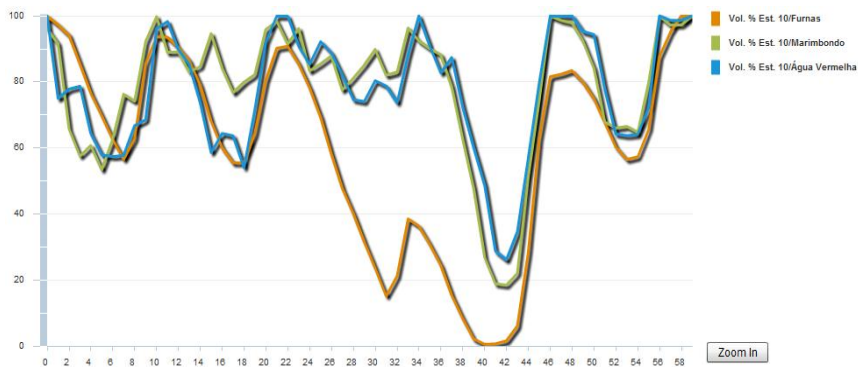


Figura 1 – Resultado do armazenamento das usinas num horizonte de estudo.

4. Conclusões

O uso do PSO tem se mostrado eficiente e rápido, além de permitir implementação simples. Comparações com resultados utilizando outra abordagem, como programação determinística, mostram que o PSO tem resultado semelhante (ou seja, resultado correto) e até melhor que o anterior. Trabalhos futuros deverão tratar de abordagens alternativas de PSO, caso da implementação do Clan PSO [3],

Clan PSO com migração [4] e PSO com média, variante proposta a ser desenvolvida nesta pesquisa.

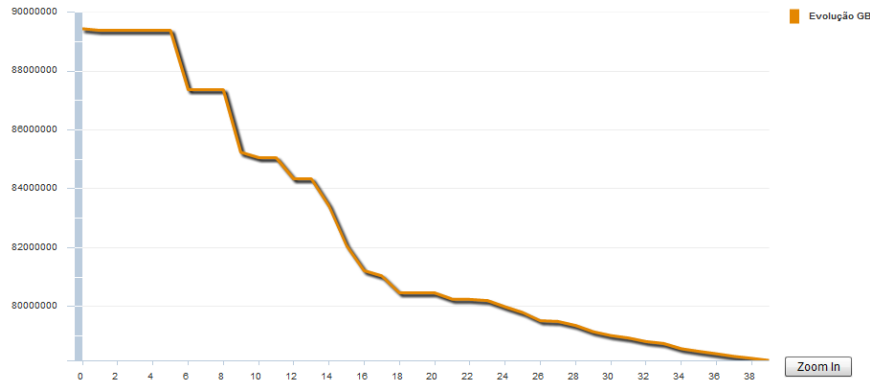


Figura 2 – Evolução do custo térmico (em R\$) durante as iterações.

5. Referências Bibliográficas

- [1] JÚNIOR, G. da C. Modelo Equivalente Não Linear para o Planejamento da Operação a Longo Prazo de Sistemas de Energia Elétrica. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- [2] ALRASHIDI, M. R.; EL-HAWARY, M. E. A survey of particle swarm optimization applications in electric power systems. IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, v. 13, n. 4, 2009.
- [3] Madeiro, S.S.; Bastos-Filho, C.J.A.; Neto, F.B.L.; Figueiredo, E.M.N.; Adaptative clustering Particle Swarm Optimization, IPDPS 2009. IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, 2009.
- [4] C.J.A. Bastos-Filho, D.F. Carvalho, E.M.N. Figueiredo, P.B.C. de Miranda, "Dynamic Clan Particle Swarm Optimization," isda, pp.249-254, 2009 Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2009.