

Métodos de Pontos Interiores Aplicados ao Problema de Pré-despacho de um Sistema Hidrotérmico

Aurelio R. L. de Oliveira,*

Roy W. Probst†

IMECC – UNICAMP,

CP 6065, 13083-970 Campinas-SP

E-mail: aurelio@ime.unicamp.br, roy@ime.unicamp.br.

A minimização de perdas no pré-despacho de um sistema de potência hidrotérmico é um problema de planejamento operacional de curto prazo. O objetivo consiste em minimizar as perdas na geração e transmissão do sistema de potência. Nesta aplicação, curto prazo significa a operação a cada meia hora num horizonte de até três dias.

No pré-despacho de sistemas hidrotérmicos, as usinas hidroelétricas têm uma meta a cumprir em um determinado dia, estabelecida pelo planejamento de longo prazo. As usinas termoeletricas, por sua vez, apresentam restrições de rampa pois não variam sua produção de energia instantaneamente.

O problema de pré-despacho em apenas um intervalo de tempo pode ser formulado como um modelo estático. Já o modelo dinâmico é a extensão desta formulação para cada intervalo de tempo, acrescentando as restrições de acoplamento referente às metas e às rampas. Neste trabalho o problema de pré-despacho de um sistema de potência hidrotérmico é formulado como um problema de fluxo em redes e o modelo resultante é resolvido por métodos de pontos interiores.

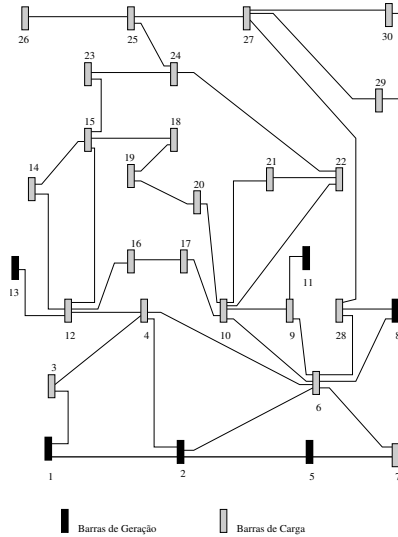


Figura 1: Sistema IEEE30

*financiado pelo CNPq

†bolsista FAPESP

O problema de fluxo de carga ótimo DC é estudado em [3, 5] e a estrutura matricial do modelo explorada resultando em uma implementação bastante rápida e robusta. Este trabalho por sua vez foi estendido em [4] para o problema de pré-despacho sem a consideração das restrições em rampa. O problema de pré-despacho para sistemas puramente térmicos é abordado em [2]. O trabalho desenvolvido em [4] está sendo adaptado para utilização pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

O modelo de pré-despacho hidrotérmico para um sistema de potência com m barras, n linhas de transmissão e g geradores pode ser expresso como o seguinte problema de fluxo em redes [1]:

$$\min \alpha \sum_{i=1}^t \frac{1}{2} f_i^t R f_i + \beta \sum_{i=1}^t \left(\frac{1}{2} p_i^t Q p_i + c^t p_i \right)$$

s.a

$$A f_i - E p_i = -l_i \quad i = 1, \dots, t$$

$$T f_i = 0 \quad i = 1, \dots, t$$

$$f^{min} \leq f_i \leq f^{max} \quad i = 1, \dots, t$$

$$p^{min} \leq p_i \leq p^{max} \quad i = 1, \dots, t$$

$$p_{i+1} - d \leq p_i \leq p_{i+1} + d \quad i = 1, \dots, t-1$$

$$\sum_{i=1}^t p_i = q$$

onde:

$f_i \in \mathbf{R}^n$ representa o vetor de fluxo de potência ativa no período i ;

$p_i \in \mathbf{R}^g$ representa o vetor de geração de potência ativa no período i ;

$R \in \mathbf{R}^{n \times n}$ representa a matriz diagonal das resistências das linhas;

$Q \in \mathbf{R}^{g \times g}$ representa a matriz diagonal da componente quadrática do custo de geração;

$c \in \mathbf{R}^g$ representa a componente linear do custo de geração;

$A \in \mathbf{R}^{m \times n}$ representa a matriz de incidência da rede de transmissão;

$E \in \mathbf{R}^{m \times g}$ é a matriz formada pelos vetores canônicos correspondentes às barras de geração;

$T \in \mathbf{R}^{(n-m+1) \times n}$ representa a matriz de reatância da rede de transmissão;

$l_i \in \mathbf{R}^m$ representa o vetor demanda de potência ativa no período i ;

f^{max} , f^{min} , p^{max} e p^{min} são os vetores de limites de fluxo e de geração de potência ativa;

d representa a variação de energia permitida em cada usina termoeletrica;

q representa o vetor de meta de geração de energia das usinas hidroelétricas para o horizonte em estudo;

α e β são ponderações dos objetivos a minimizar.

Neste trabalho são desenvolvidos os métodos de pontos interiores primal-dual e preditor-corretor. O método primal-dual é desenvolvido através da aplicação do método de Newton às condições de otimalidade, introduzindo uma perturbação na condição de complementaridade [6]. O método parte de um ponto estritamente positivo e não permite que as variáveis se tornem negativas. No método preditor-corretor dois sistemas lineares com a mesma matriz determinam a direção. Primeiro calculamos a *direção afim*, desconsiderando a perturbação, e em seguida calculamos a direção desejada, utilizando a direção afim para atualizar as restrições de complementariedade.

Os teste são realizados utilizando a linguagem de programação MATLAB. A precisão adotada é de 10^{-3} . Em todos os experimentos são adotados os valores $f^{min} = -f^{max}$ para as linhas de transmissão e $p^{min} = 0$ para os geradores. Somente funções quadráticas puras são utilizadas, ou seja, $c = 0$, e os coeficientes quadráticos são os mesmos para todos os geradores. O sistema de teste utilizado é o IEEE30 (Figura 1) e o horizonte em questão é de 24 horas ($t = 24$).

São simuladas várias situações distintas para avaliar o desempenho dos métodos. Nos primeiros testes os limites são escolhidos de forma que na otimalidade não existam restrições de capacidade ativas. Os casos estudados consideram: apenas perdas de transmissão (caso 1), apenas custos de geração (caso 2) e perdas de transmissão e custos de geração (caso 3). Os testes seguintes buscam analisar o desempenho dos métodos em situações mais restritas: capacidade de geração no limite (caso 4), capacidade de transmissão no limite (caso 5), restrição de rampa ativa (caso 6) e os três tipos de restrições ativas (caso 7).

Caso	Primal-Dual		Preditor-Corretor	
	Iter.	Tempo	Iter.	Tempo
1	6	38.2	4	27.3
2	6	39.2	4	26.8
3	6	38.7	3	21.0
4	7	44.5	4	28.9
5	8	51.0	5	32.4
6	7	44.7	5	35.3
7	11	69.8	6	40.3

Tabela 1: Iterações e Tempo de CPU (seg.)

A Tabela 1 resume os resultados obtidos pelos métodos nos vários casos, quanto ao número de iterações e esforço computacional.

As Figuras 2-3 mostram os resultados para os casos 3 e 7.

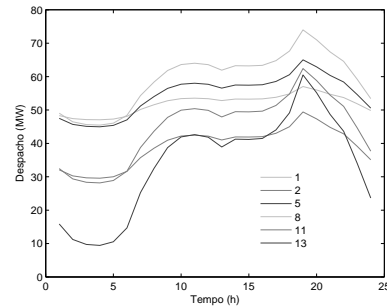


Figura 2: Caso 3

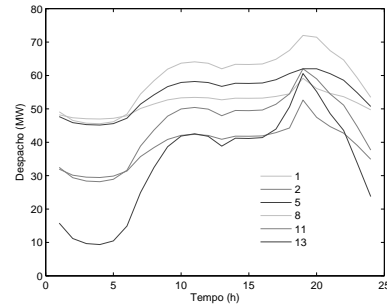


Figura 3: Caso 7

Uma característica a ser destacada pelos métodos de pontos interiores é a robustez. Mesmo para problemas bastante sobrecarregados, os métodos convergem bem, sem apresentar instabilidade numérica, com uma precisão maior que a necessária em uma aplicação prática. Já quanto à velocidade, o método preditor-corretor se mostra mais eficiente que o método primal-dual, pois converge em menos iterações, embora o esforço computacional por iteração seja maior que o método primal-dual.

Referências

- [1] M.F. Carvalho, S. Soares e T. Ohishi, “Optimal active power dispatch by network flow approach”, IEEE Transactions on Power Systems, 3 (1988), pp. 1640-1647.
- [2] G. Irissari, L.M. Kimball, K.A. Clements, A. Bagchi e P.W. Davis, “Economic dispatch with network and ramping constraints via interior point methods”, IEEE Transactions on Power Systems, 13 (1998), pp. 236-242.
- [3] A.R.L. Oliveira, L. Nepomuceno e S. Soares, “Optimal active power dispatch combining network flow and interior point approaches”, IEEE Transactions on Power Systems, 18 (2003), pp. 1235-1240.
- [4] A.R.L. Oliveira, L. Nepomuceno e S. Soares, “Short term hydroelectric scheduling combining network flow and interior point approaches”, Electrical Power & Energy Systems, Vol. 27, (2005), pp. 91-99.
- [5] A.R.L. Oliveira e S. Soares, “Métodos de pontos interiores para problema de fluxo de potência ótimo DC”, SBA: Controle & Automação, 14 (2003), pp. 278-285.
- [6] S.J. Wright, “Primal-Dual Interior-Point Methods”, SIAM Publications, SIAM, Philadelphia, PA, USA, 1996.