

Problema de fluxo de potência ótimo estocástico com variáveis discretas investigado através de uma abordagem determinística

Marina Schimidt¹

FCT/UNESP, Presidente Prudente, SP

Antonio Roberto Balbo²

DMAT/UNESP, Bauru, SP

Rafael Ramos de Souza³

FEB/UNESP, Bauru, SP

O trabalho proposto apresenta um modelo para o problema de Fluxo de Potência Ótimo Estocástico e Discreto (FPOED) associado a sistemas termo-eólicos, com o objetivo de minimizar os custos de geração termelétricos e eólicos, considerando variáveis discretas relacionadas aos *taps* dos transformadores e controles *shunt* de capacitores e reatores.

A função objetivo do modelo é representada pelas funções de custo de geração termelétrica e eólica. A função de custo termelétrico considera a inclusão dos pontos de carregamento de válvula, definidos por expressões valor absoluto senoidais, as quais transformam-na em não convexa e não diferenciável nesses pontos. Essa é tratada considerando variáveis auxiliares e otimização restrita para possibilitar a utilização de métodos determinísticos baseados em gradientes. Com a introdução de fontes eólicas a programação do despacho de potência ativa torna-se incerta, já que sua geração depende da velocidade e ocorrência do vento em determinada região, de modo que o custo de geração eólica é definido pela soma de 3 custos: Custo Linear, Custo de Reserva e Custo de Penalidade. O Custo Linear está associado a amortização da implementação do parque eólico e a manutenção deste. O Custo de Reserva está relacionado com a superestimação da geração eólica e associa-se à confiabilidade do atendimento da demanda, caso a potência programada para o parque eólico não seja atendida ou esteja muito acima da disponível. O Custo de penalidade tem relação com a subestimação da geração eólica, caso a potência programada para o gerador eólico esteja muito abaixo da média disponível. Para a caracterização da probabilidade de ocorrência do vento é utilizada a função de densidade de probabilidade de Weibull (FDPW) [2]. A potência eólica programada depende da FDPW para o cálculo dos custos de reserva e penalidade, explorados no problema de FPOED.

Para o tratamento das variáveis discretas foi utilizada uma estratégia que transforma o problema discreto em um sequência de problemas contínuos, considerando uma função penalidade senoidal, que impõem às variáveis assumirem valores discretos, conforme proposto por [3] e baseado em [1]. Essa função insere vários máximos locais, dificultando a solução do problema. Para resolver tal fato, propõe-se uma estratégia de correção de inércia, que garante a determinação de direções de descida para o sistema KKT de direções de busca e a consequente obtenção de mínimos locais ao problema.

Para a resolução do FPOED utilizou-se um método determinístico, baseado em [4], o método primal-dual de pontos interiores/exteriores barreira logarítmica modificada com procedimento

¹marina.schimidt@unesp.br

²antonio.balbo@unesp.br

³rafael.ramos@unesp.br

previsor-corretor e estratégia de direções de busca combinadas (PDPIEBLM). O método PDPIEBLM foi implementado em linguagem de programação Matlab e aplicado aos sistemas IEEE 14 e 30 barras. Nestes sistemas os geradores termelétricos foram substituídos por geradores eólicos com a mesma capacidade nominal, transformando-se assim em sistemas termo-eólicos. Os testes realizados levaram em consideração casos termelétricos contínuos (FPO) e discretos (FPOD), bem como casos termo-eólicos contínuos (FPOE) e discretos (FPOED), e nesta etapa, somente os *taps* dos transformadores foram considerados como variáveis discretas, as susceptâncias *shunt* de capacitores e reatores foram consideradas com valores fixos. Os resultados obtidos pelo método PDPIEBLM são apresentados na Tabela 1. Os *taps* foram definidos no conjunto discreto $Y = \{0.9, 0.92, 0.94, \dots, 1.08, 1.1\}$.

Tabela 1: Resultados para os Sistemas IEEE 14 e 30 barras.

Sistema 14 barras	FPOE	FPOED	FPO	FPOD
Custo Total (\$/h)	1103.77	1105.11	1138.20	1138.73
<i>tap</i> ₄₋₇ (pu)	0.9833	0.9399	1.0283	0.9800
<i>tap</i> ₄₋₉ (pu)	0.9561	1.0200	0.9000	0.9600
<i>tap</i> ₅₋₆ (pu)	1.0008	0.9201	0.9968	0.9399
Sistema 30 barras	FPOE	FPOED	FPO	FPOD
Custo Total (\$/h)	804.37	804.81	846.70	847.21
<i>tap</i> ₆₋₉ (pu)	1.0488	0.9799	1.0497	0.9798
<i>tap</i> ₆₋₁₀ (pu)	0.9000	0.9599	0.9000	0.9600
<i>tap</i> ₄₋₁₂ (pu)	1.0382	0.9399	1.040	0.9399
<i>tap</i> ₂₈₋₂₇ (pu)	0.9728	0.9600	0.9733	0.9601

Os casos de geração termelétrica (FPO E FPOD) apresentam valores de função objetivo relativamente maiores comparados aos casos com geradores eólicos, ou seja, a substituição do gerador termelétrico pelo gerador eólico foi mais vantajosa em ambos os sistemas. Ao considerarmos os *taps* dos transformadores como variáveis discretas nos problemas FPOED e FPOD o valor da função objetivo sofre uma pequena alteração, que mostra que a natureza dessas variáveis influencia na geração das potências desse sistema e conseqüentemente no seu custo. Novos testes serão realizados de modo a tratar as susceptâncias *shunt* como variáveis discretas do problema de FPOED, bem como para a resolução de sistemas com maior dimensão de 57 e 118 barras.

Referências

- [1] J. A. Delgado. “Método primal-dual de pontos interiores-penalidade e o problema de fluxo de potência ótimo reativo com variáveis de controle discretas”. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, 2021.
- [2] J. Hetzer; D. C. Yu ; K. Bhattarai. “An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power”. Em: **IEEE Transactions on Energy Conversion** 23.2 (2008), pp. 603–611.
- [3] E. M. Soler; E. N. Asada; G. R. M. Costa. “Penalty-based nonlinear solver for optimal reactive power dispatch with discrete controls”. Em: **IEEE Transaction on Power Systems** 28.3 (2013), pp. 2174–2182.
- [4] R. R. Souza. “Programação do despacho termo-eólico por fluxo de potência ótimo ativo/reativo solucionado por métodos de interiores/exteriores”. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, 2020.