



IBP1343_06

APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLEX NO PROCESSO DE AJUSTE DE HISTÓRICO ASSISTIDO

Célio Maschio¹, Antônio Alberto dos Santos², Denis J. Schiozer³

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O processo de ajuste de histórico consiste na calibração de um modelo de simulação de forma a reproduzir os dados observados durante a produção. O processo é realizado através de alterações nas propriedades do reservatório com o objetivo de reduzir a diferença entre os dados simulados e observados. O processo assistido consiste na automatização de tarefas manuais e utiliza métodos de otimização para reduzir uma determinada função-objetivo, que mede a qualidade do ajuste. A proposta desse trabalho é a aplicação do método simplex no processo de ajuste de histórico assistido. O objetivo principal desse trabalho é mostrar o potencial do método no processo de ajuste, uma vez que ele é pouco utilizado neste tipo de problema. O método simplex modificado, na forma tradicional funciona em um espaço contínuo. Neste trabalho, duas abordagens são consideradas. Primeiramente, é feita uma abordagem do método na versão contínua. A outra abordagem é a adaptação do método simplex para a versão discreta. As duas versões do método simplex são comparadas com outros métodos de otimização, como por exemplo, o método de Hooke & Jeeves modificado. Os métodos de otimização estudados nesse trabalho são aplicados em diversos tipos de reservatórios, para testar e comparar a sua eficiência. Os resultados demonstram que o método simplex apresenta bom potencial para aplicação nesse tipo de problema.

Abstract

The history matching process consists of the adjustment of a simulation model in order to reproduce the observed production and pressure data. History matching is carried out by changes in a given number of reservoir attributes and the objective is to find the best combination that reduces the mismatch between observed and simulated data. Assisted history matching consists in the automation of manual tasks and uses optimization methods to reduce a given objective function that is a measurement of the matching quality. The purpose of this work is the application of the simplex method in the assisted history matching. The main objective of the work is to show the potential of the method, once it is little used in this type of problem. The modified simplex method, in the traditional form works in a continuous space. In this work, two approaches are considered. Firstly, the simple method is applied in the continuous version. Another approach is the adaptation of the method to discrete version. The two versions of the simplex method are compared to other optimization method, such as the modified Hooke & Jeeves method. The optimization methods studied in this work, are applied in some types of reservoir in order to test and compare its performance. The results show the simplex method has a good potential for applications in this type of problem.

¹ Doutor em Engenharia Mecânica - UNICAMP

² Engenheiro Eletrônico - Mestrando UNICAMP

³ Professor Titular - UNICAMP

1. Introdução

O processo de ajuste de histórico é um processo de otimização que consiste na calibração de um modelo de simulação com base nos dados de produção e pressão observados durante a produção do campo. Além dos dados de produção e pressão, outras informações podem ser utilizadas no processo, como por exemplo, dados de sísmica (mapas de saturação, por exemplo) e dados provenientes de testes de poços. O ajuste de histórico é um processo inverso no qual as variáveis (ou propriedades do reservatório) de maior influência são perturbadas com o objetivo de gerar um modelo (ou vários modelos) de reservatório que reproduza os dados observados. O processo de ajuste pode ser feito de forma manual, ou de forma assistida por um programa através de algoritmos de otimização. Diversas metodologias de ajuste de histórico assistido têm sido propostas.

Dois aspectos fundamentais caracterizam uma metodologia de ajuste de histórico assistido. O primeiro deles refere-se ao tipo de algoritmo de otimização utilizado. Há basicamente duas classes principais: os algoritmos de otimização global, como por exemplo os algoritmos genéticos (Schulze-Riegert, 2001; Romero, 2000) e os algoritmos de otimização local, dentre os quais pode-se citar o método simplex e o método de Hooke and Jeeves. O outro aspecto está relacionado ao tipo de avaliação da função objetivo. Nesse aspecto, existem também duas classes principais: os métodos baseados no cálculo de gradientes e os métodos que não requerem o cálculo de gradientes. Os métodos pertencentes à primeira classe requerem o cálculo dos gradientes internos pelo simulador de fluxo com respeito a cada parâmetro de ajuste.

O objetivo principal deste trabalho é a aplicação do método simplex no processo de ajuste de histórico. Outro objetivo é a adaptação do método Simplex para a versão discreta. As duas versões dos métodos são aplicadas e comparadas como método de Hooke & Jeeves modificado. A descrição e aplicações deste método podem ser encontradas, por exemplo, nos trabalhos de Leitão and Schiozer (1998), Maschio and Schiozer (2005) e Maschio and Schiozer (2005).

1.1. Método Simplex

O método simplex é um método geométrico que utiliza uma abordagem de otimização inicialmente elaborada em 1962 por Spendley, Hext e Himsworth [1962] e posteriormente passou por modificações as quais levaram a vários métodos derivados. Este método consiste em uma minimização multidimensional, isto é, encontrar o mínimo de uma função de um conjunto de variáveis. Particularmente o método simplex sugerido por Nelder e Mead (1965) é o foco do método de otimização utilizado neste trabalho. Uma descrição esquemática, com os principais passos do método simplex está mostrado na Figura 1.

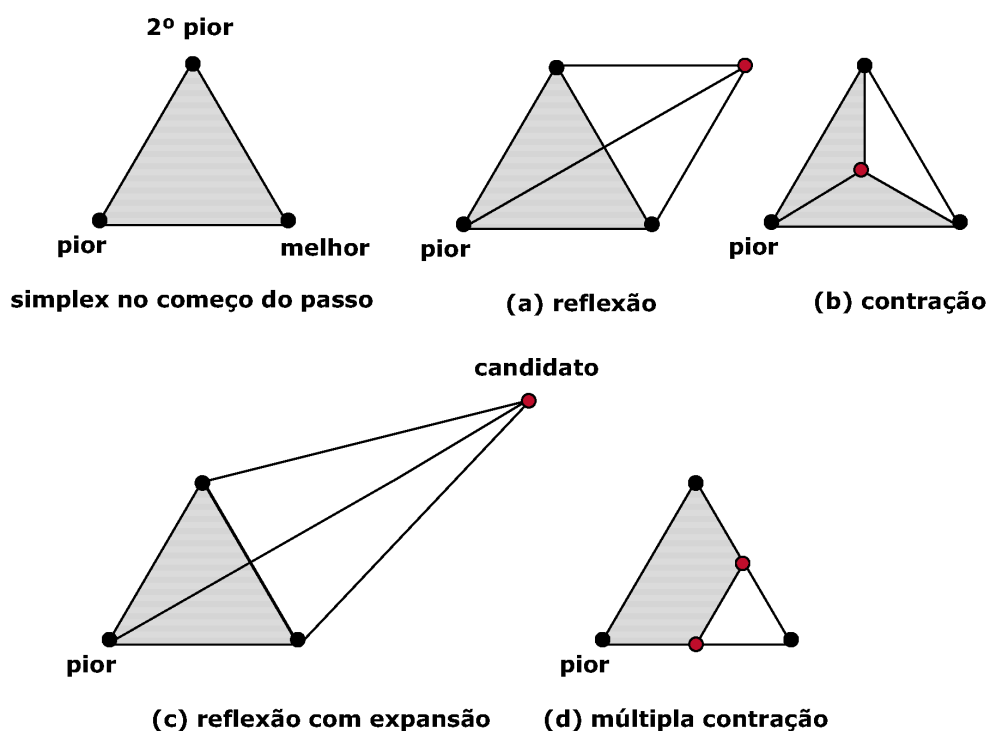


Figura 1. Descrição esquemática do método simplex

1.2. Método de Hooke & Jeeves

O método de Hooke & Jeeves utiliza um algoritmo de busca direta. Neste algoritmo, o espaço de soluções é formado pela discretização dos parâmetros de ajuste, sendo que cada parâmetro corresponde a um eixo desse espaço. Para cada parâmetro é atribuído um valor mínimo e um valor máximo e um número de intervalos. Na Figura 2 é mostrada uma representação esquemática do algoritmo para dois parâmetros genéricos, formando um espaço de soluções bi-dimensional. O algoritmo funciona através de sucessivas buscas exploratórias e lineares. A primeira busca exploratória se dá em torno de um ponto inicial (ponto 0), sendo que o ponto de menor função objetivo (ponto 1 em azul) determina a direção da busca linear que ocorre em seguida. O ponto de menor FO (ponto 2 em azul) da primeira busca linear é o ponto em torno do qual uma nova busca exploratória é realizada. O algoritmo termina em uma busca exploratória quando os valores da FO nos pontos explorados forem todos maiores do que ponto em torno do qual ocorreu a busca exploratória. No exemplo da Figura 2 o ponto de mínimo encontrado é o ponto 4 em verde.

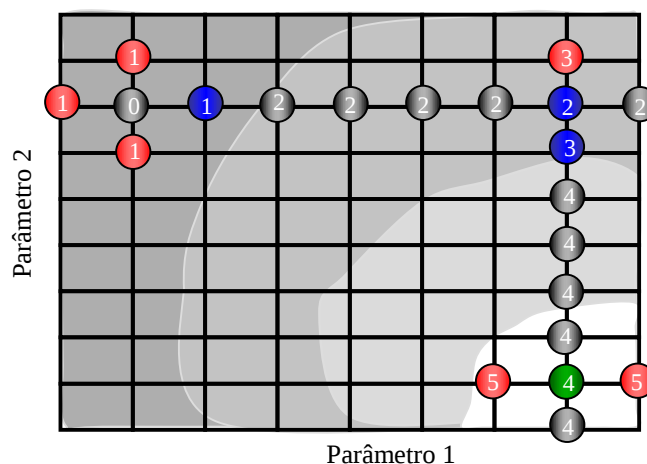


Figura 2 - Descrição esquemática do algoritmo de Hooke & Jeeves

1.3. Abordagem discreta

O uso da abordagem discreta apresenta diversas vantagens. Uma delas é que usando a discretização dos parâmetros, pode-se ter uma maior flexibilidade e um maior controle sobre o caminho a ser percorrido pelo algoritmo, podendo-se evitar variações muito pequenas dos parâmetros, de tal forma que o algoritmo fique preso em uma determinada região de mínimo local, o que pode resultar em simulações redundantes. Outro aspecto é que geralmente é mais intuitivo se saber qual a variação razoável para um determinado parâmetro, do que a resposta de uma perturbação no parâmetro sobre a função objetivo. Uma outra vantagem é que o uso de um espaço discreto facilita a criação de um banco de dados de simulação que pode ser usado para reaproveitar simulações em outros processos. Em um espaço contínuo, a probabilidade de uma alteração cair exatamente em um mesmo ponto é menor.

2. Aplicações

O Caso 1A é um modelo composto por 4 poços produtores e um poço injetor de água dispostos em 1 esquema five-spot, discretizado em uma malha com 23 blocos na direção x, 23 blocos na direção y e 5 blocos na direção z (5 camadas). O reservatório foi dividido em 4 regiões com permeabilidades horizontais diferentes, variando de forma aleatória entre 1000 e 7500 mD, conforme mostrado a Figura 3. O resultado da simulação desse modelo foi considerado como sendo o histórico (para um período de 3600 dias). Para a obtenção do modelo base (modelo a ser ajustado), a permeabilidade horizontal foi considerada constante e igual a 4500 mD.

O Caso 2 é composto por 6 poços produtores e 2 poços injetores de água, dispostos em esquema de 2 five-spot, discretizado em uma malha com 46 blocos na direção x, 23 blocos na direção y e 5 blocos na direção z (5 camadas). O reservatório foi dividido em 8 regiões, conforme a Figura 4, tendo cada uma delas um valor diferente de permeabilidade horizontal, variando entre 1000 e 7500 mD. O número de células é o dobro do Caso 1 e o tamanho é o mesmo, de forma que o número de células e a distância entre os poços fossem as mesmas. A obtenção do modelo base foi semelhante ao Caso 1.

Para o Caso 1 foram feitas otimizações com os 4 parâmetros de permeabilidade, variando entre 1000 mD e 7500 mD. Para o Caso 2 foram feitas otimizações com os 8 parâmetros de permeabilidade, variando também entre 1000 mD e 7500 mD. Tanto para o Caso 1 quanto para o Caso 2, o Método simplex foi aplicado na versão contínua e

discreta. Para o Caso 1, foram utilizados 26 intervalos. Para o Caso 2, foram usados 26 e 52 intervalos. Para ambos os casos, o método de Hooke & Jeeves modificado foi utilizado com 26 intervalos.

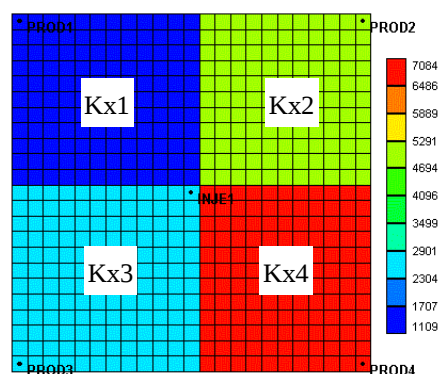


Figura 3. Regiões de permeabilidade do Caso 1

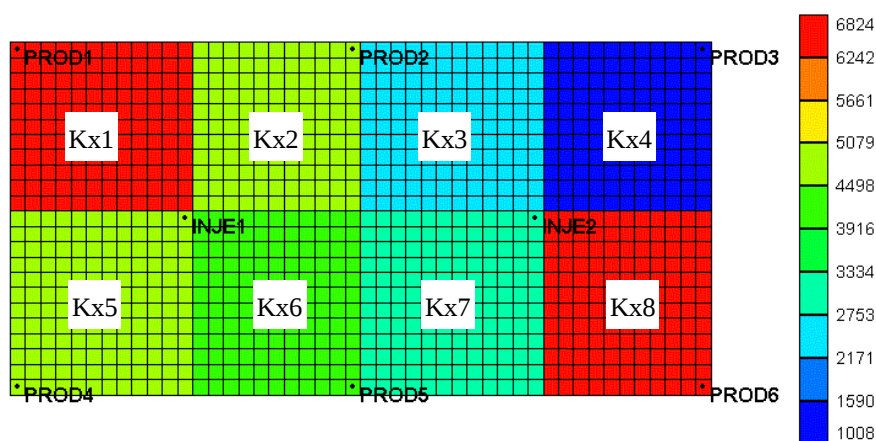


Figura 4. Regiões de permeabilidade do Caso 2

3. Resultados

3.1. Caso 1

Na Tabela 1 apresenta-se uma comparação entre os métodos simplex, na versão contínua e na versão discreta, e o método de Hooke & Jeeves modificado. Comparando o simplex contínuo e discreto, nota-se que o número de simulações é menor na versão discreta. Porém, há uma pequena diferença na solução encontrada pelas duas versões do método. No entanto, do ponto de vista do ajuste, as duas soluções são aceitáveis, tendo em vista a redução da função-objetivo para níveis acima de 95% nos dois casos. A qualidade do ajuste pode ser comprovada através das Figuras 5 a 8, que mostram as curvas de produção de água relativas ao histórico, relativas ao caso base e os resultados do ajuste.

Tabela 1. Comparação entre o Método Simplex e Hooke & Jeeves - Valores de permeabilidade para o Caso 1

Método	Kx1	Kx2	Kx3	Kx4	Valor final da FO	Redução da FO (%)	Simulações
Simplex Contínuo	1191	5526	2609	7011	1596.4	98.1	39
Simplex Discreto 26 intervalos	1250	4750	2750	6250	3537.7	95.8	29
Hooke & Jeeves 26 intervalos	1250	5500	2750	7500	1841.5	97.8	77
Valores conhecidos	1109	5270	2530	7084			

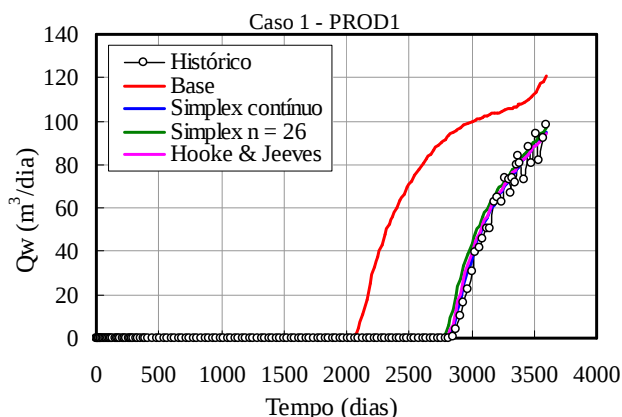


Figura 5. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 1 - PROD1)

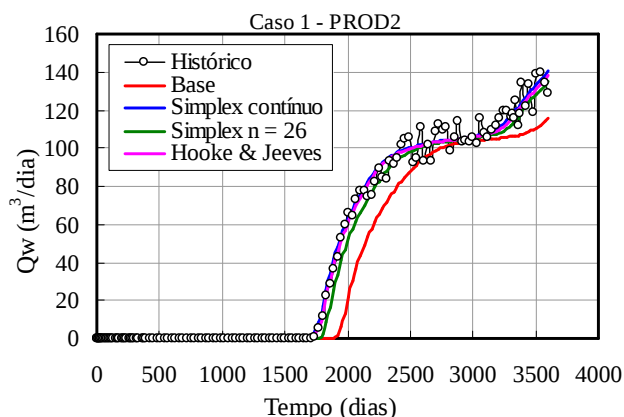


Figura 6. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 1 - PROD2)

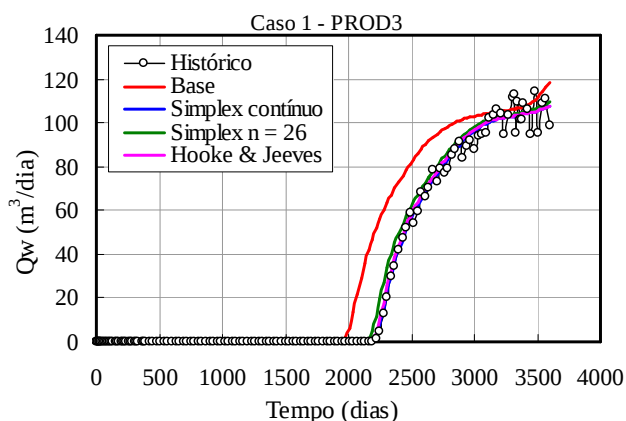


Figura 7. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 1 - PROD3)

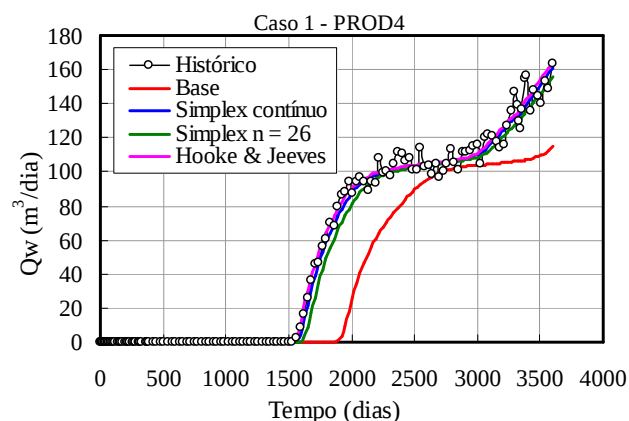


Figura 8. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 1 - PROD4)

3.2. Caso 2

Na Tabela 2 está a comparação entre o método simplex e Hooke & Jeeves para o Caso 2. Pode-se notar que o método simplex com 52 intervalos demandou mais simulações que o contínuo. No entanto, a solução foi ligeiramente melhor do ponto de vista do valor final da função objetivo. Do ponto de vista do ajuste as soluções são bem parecidas, e pode-se observar que os poços estão perfeitamente ajustados (Figuras 9 a 14). Na Figura 15 mostra-se a evolução da função objetivo, comparando o método simplex na versão contínua e discreta, com 26 e 52 intervalos.

Tabela 2. Comparação entre o método simplex e Hooke & Jeeves para o Caso 2

Método	Kx1	Kx2	Kx3	Kx4	Kx5	Kx6	Kx7	Kx8	Valor final da FO	Redução da FO (%)	Simulações
Simplex Contínuo	5626	4909	3544	1355	4693	3887	3647	6747	2528	94.3	83
Simplex Discreto 26 intervalos	6500	4750	2500	1000	4500	3750	2250	6250	2551	94.2	60
Simplex Discreto 52 intervalos	5750	5125	3875	1375	4375	3500	4125	7500	1636	96.3	94
Hooke & Jeeves 26 intervalos	5666	4833	3583	1513	4250	3166	4250	7500	2092	95.3	154
Valores conhecidos	6257	4663	2256	1008	4803	4119	3277	6824			

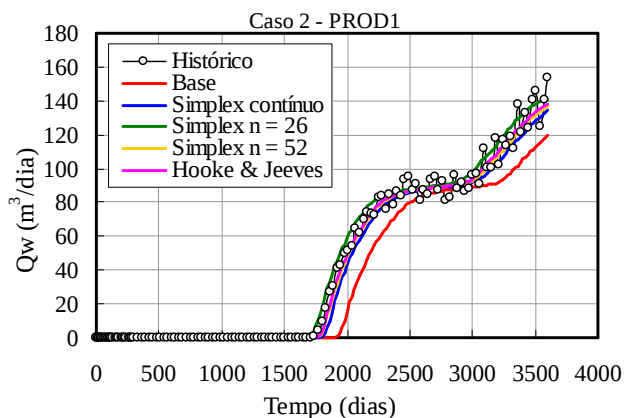


Figura 9. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD1)

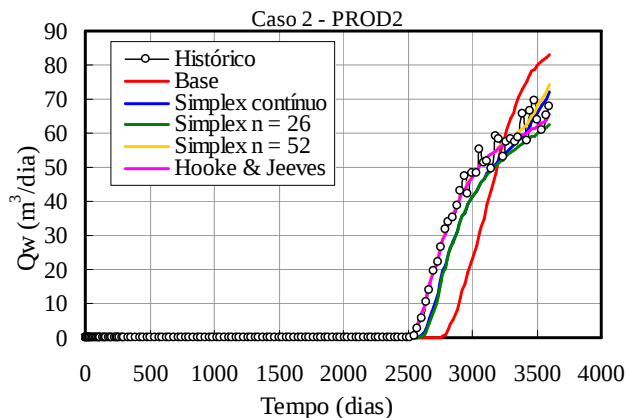


Figura 10. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD2)

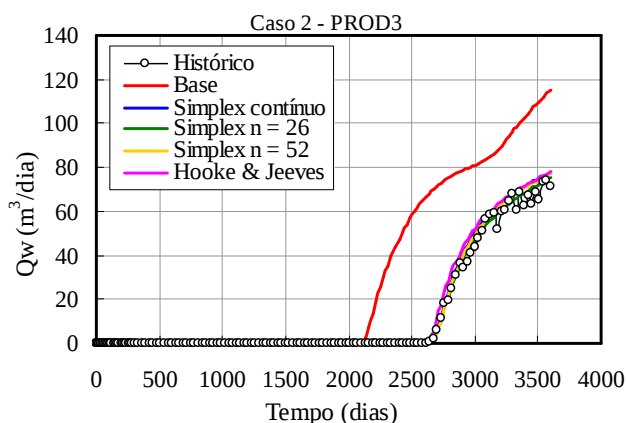


Figura 11. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD3)

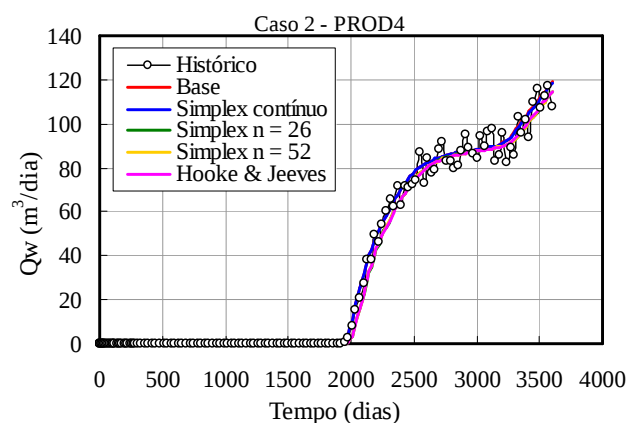


Figura 12. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD4)

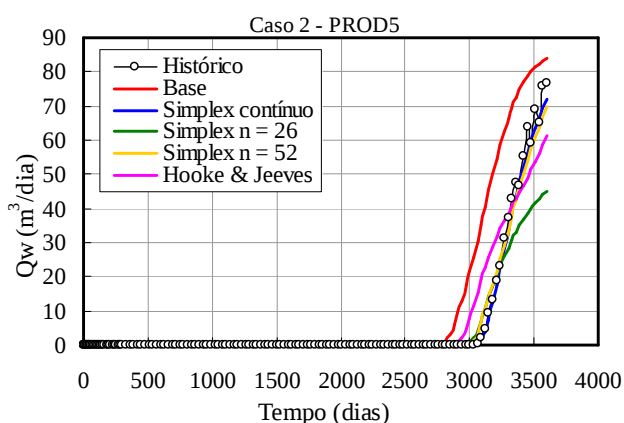


Figura 13. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD5)

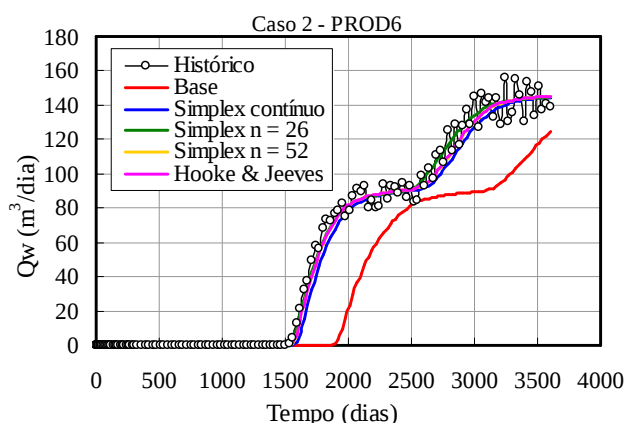


Figura 14. Comparação entre o histórico, modelo base e modelos ajustados (Caso 2 - PROD6)

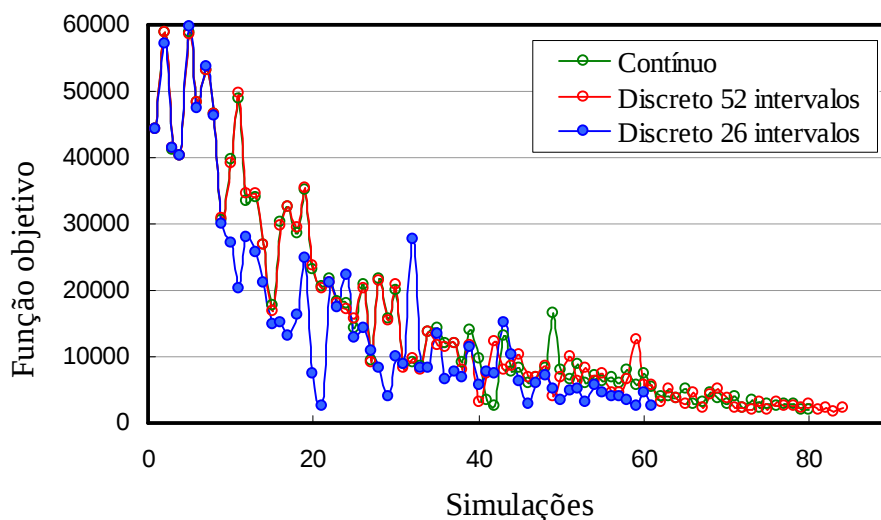


Figura 15. Evolução da função objetivo para o método simplex contínuo e discreto

Como considerações finais, tanto para o Caso 1 quanto para o Caso 2, o método simplex mostrou um melhor desempenho em relação o método de Hooke & Jeeves. Porém, o método de Hooke & Jeeves testado está adaptado para um ambiente paralelo. Para uma comparação mais adequada, deve-se testar o método de Hooke & Jeeves com outras abordagens, principalmente na parte relativa à busca exploratória. No exemplo mostrado na Figura 2, poderia-se fazer uma busca exploratória avaliando um lado de cada vez, em vez de fazer os 4 lados. Isso não garantiria, porém, a melhor direção de descida.

4. Conclusões

Neste trabalho, foi apresentada a aplicação do método simplex no processo de ajuste de histórico assistido. O método se mostrou viável e mostra um bom potencial para esse tipo de problema. Foi possível demonstrar também que a versão discreta pode reduzir o número de simulações em alguns casos. Porém, o número de intervalos depende de cada problema. Para a utilização do método na versão discreta, é recomendável que o tamanho do passo na discretização não seja nem muito grande e nem muito pequeno.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/PROSET), Agência Nacional de Petróleo (ANP), Finep/CTPETRO e Petrobras pelo suporte financeiro.

6. Referências

- LEITÃO, H. C. and SCHIOZER, D. J. Ajuste de Histórico Automatizado através de Otimização Multivariada e Paralelização Externa. IBP 25498, *Rio Oil & Gas Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, 5-8 October, 1998.
- MASCHIO, C and SCHIOZER, D. J. Development and Application of Methodology for Assisted History Matching. SPE 94882, *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference - (LACPEC 2005)*, Rio de Janeiro, Brasil, 20 a 23 de junho, 2005.
- MASCHIO, C. AND SCHIOZER, D. J. Proposta de Técnicas Heurísticas para Ajuste de Histórico de Produção. Proceedings of the XXV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering - Cilamce 2004 Recife, Nov. 10-12, 2004.
- NELDER, J.A., MEAD, R.. A Simplex Method for Function Optimization. The computer Journal, n°7, pp.308, 1965.
- OZDOGAN, U. SAHNI, A. YETEN, B. GUYAGULER, B. AND CHEN, W.H. Efficient Assessment and Optimization of a Deepwater Asset Using Fixed Pattern Approach. SPE 95792, *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, 9-12 October, 2005.
- ROMERO, C. E.; CARTER, J. N.; ZIMMERMAN, R. W. and GRINGARTEN, A. C. Improved Reservoir Characterization through Evolutionary Computation. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, 1-4 October 2000.

- SCHULZE-RIEGERT, R. W.; AXMANN, J. K.; HAASE, O.; RIAN, D. T. and Y. L. YOU, Optimization Methods for History Matching of Complex Reservoirs. SPE 66393 SPE Reservoir Simulation Symposium, Houston, Texas, 11-14 February 2001.
- SPENDLEY, W., HEXT, G.R., Himsworth, F.R. Sequential Application of Simplex Designs in Optimization and Evolutionary Operation. *Technometrics*, n°4, pp.441, 1962.
- ZABALZA-MEZGHANI, I.; MEZGHANI, M.; BLANC, G. Constraining Reservoir Facies Models to Dynamic Data - Impact of Spatial Distribution Uncertainty on Production Forecasts. SPE 71335, *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, Louisiana, 30 September-3 October, 2001.
- ZABALZA-MEZGHANI, I., BLANC, G., COLLOMBIER, D., MEZGHANI, M. Use of Experimental Design in Resolving Inverse Problems - Application to History Matching. *7th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery* - ECMOR VII, Lago Maggiore, Isola Bella, Italy, September 5-8, 2000.