

“A utilização do planejamento estatístico pode facilitar o ajuste e em muitos casos até reduzir o número de simulações.”



Utilização de Planejamento Estatístico em Ajuste de Mapas de Saturação

[Valmir Francisco Risso](#)

O ajuste de mapas de saturação tem como principal objetivo calibrar modelos numéricos de campos de petróleo, a fim de que os resultados obtidos sejam coerentes com os mapas de saturação do campo, obtidos via sísmica 4D, perfis de saturação, etc. O ajuste geralmente é um processo difícil e trabalhoso, isso ocorre principalmente pelas incertezas envolvidas na caracterização do reservatório, o que pode aumentar significativamente o número de soluções possíveis. Com a obtenção dos mapas de saturação é possível incorporar mais informações ao processo de ajuste e isso pode diminuir significativamente o número de soluções possíveis, com isso é possível melhorar a confiabilidade do modelo numérico e realizar previsões de comportamento do campo mais confiáveis, principalmente no início do desenvolvimento do campo, época em que não existem muitas informações.

Um problema existente no processo é o grande número de simulações necessárias para calibrar o modelo numérico, pois envolve muitas variáveis (regiões) críticas, visto que as informações regionais das frentes de saturação geram a possibilidade e necessidade de ajustes localizados, fazendo com que o processo passe a envolver mais variáveis, dificultando ainda mais o processo de ajuste, demandando a utilização de ferramentas mais adequadas como o planejamento estatístico, o qual permite otimizar ou minimizar várias respostas ao mesmo tempo, tornando o processo mais rápido e fácil.

A utilização de meta-modelos (superfícies de respostas), gerados pelo planejamento estatístico, tem como principal objetivo substituir o simulador durante o processo de ajuste, ou seja, ele pode ser considerado como uma função (em princípio desconhecida) ligando os atributos incertos (variáveis de entrada) às respostas (variáveis de saída), como mostra a Figura 1.

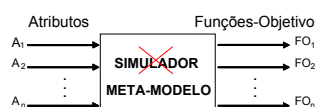


Figura 1: Variáveis envolvendo o processo.

O primeiro passo, no planejamento estatístico, é determinar quais são os atributos incertos e as respostas de interesse (função-objetivo) para o processo que se deseja estudar. Em seguida, é preciso definir claramente que objetivo se pretende alcançar, porque isso determinará o tipo de planejamento estatístico que será utilizado. Planejamentos fatoriais fracionários e *Plackett-Burmann* são de grande utilidade em investigações preliminares, quando se deseja saber se determinados atributos têm ou não, influência sobre a função-objetivo, ou seja, são ótimos planejamentos para quando se deseja apenas fazer uma triagem inicial dos atributos incertos.

O próximo passo é a utilização dos planejamentos fatoriais, que permitem a otimização ou minimização de processos

através da análise da superfície de resposta. O planejamento fatorial completo ou composto central é o mais popular dentro da classe dos planejamentos de segunda-ordem. Envolve o uso do planejamento fatorial 2^n combinado com pontos axiais ou estrelas. O planejamento *Box-Behnken* é uma ferramenta eficiente e uma importante alternativa para o Planejamento Fatorial Completo, uma vez que utiliza um menor número de simulações.

Aplicação

A metodologia do planejamento estatístico foi aplicada no campo de namorado modificado. O modelo é composto por 6 camadas, 52 blocos na direção x e 30 na direção y, com blocos de 150 x 150 m (9360 blocos). A espessura dos blocos é variável, tendo sido gerada através da interpolação geoestatística dos mapas geológicos. O simulador utilizado foi o IMEX da CMG (*Computer Modelling Group*, 2005). Foram utilizados 15 poços verticais no processo de ajuste: 10 produtores e 5 injetores. A Figura 2 mostra o mapa de permeabilidade horizontal do modelo modificado. Para tornar o modelo mais heterogêneo, foram incluídos canais preferenciais de fluxo e barreiras.

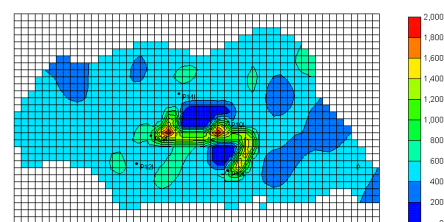


Figura 2: Mapa de permeabilidade horizontal.

O ajuste parte inicialmente de um modelo base mais homogêneo. Além da permeabilidade horizontal, também foram considerados como atributos incertos, a permeabilidade vertical e a permeabilidade relativa.

Resultados

O processo de ajuste é caracterizado pela obtenção do mapa de saturação aos 6 anos de produção do campo.

Definição das regiões críticas

As regiões críticas são calculadas através da diferença entre os mapas simulados e medidos, como mostra a Figura 3. Para facilitar a análise e reduzir o número de variáveis, algumas regiões próximas e com mesmo erro na saturação foram agrupadas.

Efeitos dos atributos incertos

Inicialmente foram considerados 20 atributos incertos (9 regiões para Kx e para Kz, além de Kro e Krw). Para o cálculo dos efeitos foi utilizado o planejamento *Plackett-Burman*. Os efeitos de cada alteração podem ser observados na Figura 4.

Ao longo do processo de ajuste foram realizados 15 planeja-

Pós-Graduação:

Ciências e Engenharia de Petróleo: interessados em Mestrado e Doutorado na área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo [cliquem aqui](#).

Interesses Especiais:

[UNISIM](#)

[Publicações UNISIM](#)

[Portal de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios](#)

[UNIPAR](#)

[STEP](#)

[Edições Anteriores](#)

Links:

[Unicamp](#)

[Cepetro](#)

[Dep. Eng. Petróleo](#)

[Fac. Eng. Mecânica](#)

[Ciências e Eng. de Petróleo](#)

“Com o ajuste dos mapas de saturação é possível melhorar a confiabilidade do modelo numérico e realizar previsões mais confiáveis.”

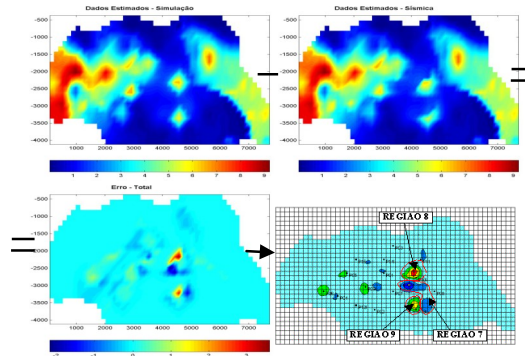


Figura 3: Definição das regiões críticas: mapa de erro

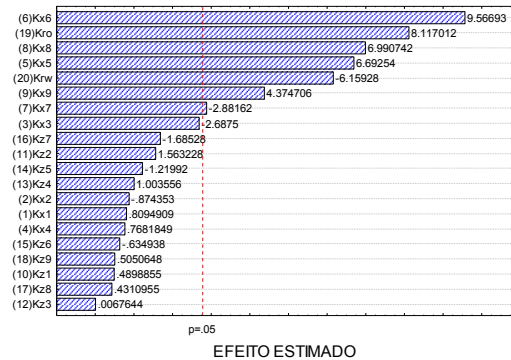


Figura 4: Variáveis Estatisticamente Significativas.

mentos, sendo 9 para o cálculo dos efeitos e 6 para a obtenção dos meta-modelos. Maiores detalhes sobre o processo podem ser encontrados em Rizzo (2007).

Meta-Modelos (Superfície de Resposta)

Para encontrar os valores que minimizam a função-objetivo, ou seja, que reduzem o erro entre os mapas de saturação, após a obtenção de uma faixa ótima nas etapas anteriores, foi utilizado um planejamento do tipo *Box-Behnken*. O planejamento foi aplicado em cinco regiões, onde foram estudadas 6 variáveis discretizadas em 3 níveis. Os meta-modelos foram validados estatisticamente e seu resultado pode ser visualizado na Figura 5.

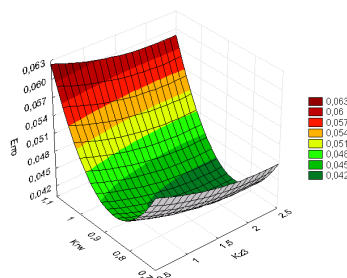


Figura 5: Meta-modelo: Kz3 versus Krw.

Modelo Ajustado

O erro entre os mapas de saturação e também o mapa de

permeabilidade absoluta do modelo ajustado podem ser observados na Figura 6.

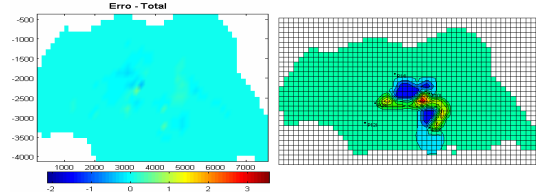


Figura 6: Modelo ajustado: (a) Mapa de erro (b) Permeabilidade Abs

O erro inicial de 77,75 foi reduzido para 1,92 após o ajuste, uma redução de quase 98%. As permeabilidades estão muito próximas, permitindo identificar os canais e as barreiras. A confiabilidade do modelo ajustado pode ser verificada através da previsão do comportamento futuro do campo, como mostra a Figura 7.

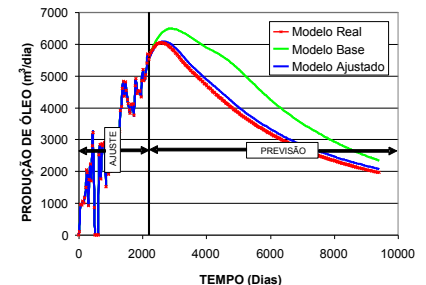


Figura 7: Previsão da produção de óleo do campo.

Conclusões

A metodologia do planejamento estatístico é uma ferramenta eficaz no processo de ajuste, facilitando principalmente a organização dos resultados e a identificação de caminhos a serem seguidos. A utilização das informações de mapas de saturação é fundamental no processo de ajuste, visto que a grande dificuldade do ajuste se dá no início do desenvolvimento do campo. A utilização do planejamento estatístico pode facilitar o ajuste e em muitos casos até reduzir o número de simulações.

Referências

Rizzo, V. F. "Ajuste de Histórico Utilizando Planejamento Estatístico e Combinação de Dados de Produção, Pressão e Mapas de Saturação". Tese de Doutorado, DEP/FEM/Unicamp, Fevereiro de 2007.

Informações sobre o autor:

Valmir Francisco Rizzo é Engenheiro Civil, mestre e doutor em Engenharia de Petróleo e membro do Grupo UNISIM desde agosto de 2000.

Para maiores informações, visite
<http://www.dep.fem.unicamp.br/unisim>

O UNISIM é um grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, com apoio do Centro de Estudos de Petróleo (CEPETRO) que tem como objetivo desenvolver trabalhos e projetos na área de simulação e gerenciamento de reservatórios.

Oportunidades no UNISIM:

Se você tem interesse em trabalhar ou desenvolver pesquisas no UNISIM, entre em contato conosco:

Interesse imediato em:

- > Pesquisador na área de simulação, gerenciamento e caracterização de reservatórios;
- > Pesquisador na área de redes neurais e inteligência artificial.

Para mais detalhes, [clique aqui](#).



Grupo de Pesquisa em Simulação e Gerenciamento de Reservatórios

UNISIM

Depto. Eng. Petróleo
 Fac. Eng. Mecânica
 Univ. Estadual de Campinas
 Campinas-SP

Tel: 55-19-3521-3359
 Fax: 55-19-3289-4999
 Email: unisim@dep.fem.unicamp.br