

*"Um modelo de simulação deve ser considerado aceito se honrar todos os dados observados."*

## INTERESSES ESPECIAIS:

- [UNISIM](#)
- [Publicações UNISIM](#)
- [Portal de Simulação de Gerenciamento de Reservatórios](#)
- [UNIPAR](#)
- [Edições anteriores](#)

## LINKS:

- [Unicamp](#)
- [Cepetro](#)
- [Dep. Eng. Petróleo](#)
- [Fac. Eng. Mecânica](#)
- [Ciências e Eng. de Petróleo](#)

## PÓS-GRADUAÇÃO:

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

## Ajuste de Histórico de Produção e Redução de Incertezas; Alguns Conceitos

[Denis José Schiozer](#)

### 1. Introdução

Na última edição do UNISIM ON-LINE, foram apresentados alguns conceitos sobre o processo de escolha de estratégia de exploração baseado em simulação de reservatórios. Para que essa tarefa seja executada com sucesso, é muito importante que o modelo de simulação esteja bem calibrado (ajuste de histórico) em casos determinísticos ou que a redução de incertezas seja feita em casos probabilísticos. Este texto tem como objetivo apresentar alguns conceitos relativos a estes dois procedimentos.

### 2. Ajuste de Histórico/Redução de Incertezas

Embora estes dois conceitos sejam tratados de forma semelhante, a tendência é usar (1) o termo ajuste de histórico para processos determinísticos, onde um modelo é modificado até que esteja "calibrado" (com respostas semelhantes aos dados observados) e (2) redução de incertezas para processos probabilísticos onde os dados observados são usados para reduzir a variabilidade na produção futura.

### 3. Função-Objetivo (FO)

Em qualquer um dos processos acima, funções-objetivo são utilizadas para quantificar a diferença entre os dados observados e os resultados da simulação, facilitando a automatização dos processos.

Entretanto, ao contrário do que fazem muitos dos autores que tratam do tema, que combinam todos os afastamentos entre os dados observados e os resultados da simulação em uma FO global, minha preferência é por trabalhar com vários FO locais que devem ser minimizadas ao mesmo tempo, pois todas geram informações úteis para se medir a qualidade do modelo.

Assim, um modelo de simulação deve ser considerado aceito se honrar todos os dados observados, sendo que diferentes tolerâncias podem ser estabelecidas para cada FO (as tolerâncias são também dependentes do caso em estudo). A FO global é útil e necessária para a escolha dos modelos.

### 4. Formas de Ajuste ou Redução de Incerteza

Podemos classificar a calibração de modelos de simulação em 4 categorias.

#### 4.1. Ajuste de Histórico Determinístico

É a forma tradicional de ajuste de histórico, ainda muito utilizada pela indústria, principalmente em campos terrestres, com muitos poços, campos maduros e marginais. Mesmo em campos mais importantes, ainda é útil e utilizado. A ideia básica é modificar um modelo existente (modelo base) até que ele esteja próximo o suficiente dos dados observados.

Metodologias manuais podem ser usadas, mas métodos de otimização podem acelerar o processo, seja em processos automáticos, seja em processos assistidos. De todos, o assistido parece ser o de maior potencial, pois pode unir o conhecimento de engenheiros nas partes de controle do processo (escolha de FO, escolha dos atributos incertos e seus limites, divisão do problema em etapas etc) com métodos de otimização eficientes em partes do processo que

podem ser automatizadas (diversos programas têm hoje potencial de uso para este tipo de aplicação).

#### 4.2. Ajuste de Histórico com Múltiplas Respostas

Devido à complexidade do problema e insuficiência de dados para determinar uma única solução do problema inverso, que é encontrar o modelo que honra o histórico, muitas vezes, os métodos de otimização podem encontrar muitas respostas diferentes com igual qualidade de solução. Nestes casos, é prudente que todas sejam consideradas para o processo de previsão e tomada de decisão relacionada ao gerenciamento futuro do reservatório.

#### 4.3. Redução de Incertezas de Previsão de Produção

Uma prática muito comum hoje em dia, das empresas e muitos grupos de pesquisa é realizar análises de risco para previsão de produção. O procedimento ideal e que hoje está ficando possível pelo avanço de programas e capacidade computacional, seria integrar a análise de risco com a redução de incertezas. Neste sentido, os dados observados seriam usados para avaliar a qualidade dos modelos gerados a partir de processos probabilísticos. Este procedimento é especialmente indicado para campos mais novos.

Processos de seleção (por filtros) de modelos ajustados podem ser usados para prever o futuro com menor incerteza. Probabilidade pode ser atribuída para modelos, por exemplo, inversamente proporcionais ao afastamento (FO global) possibilitando gerar curvas de risco futuro.

#### 4.4. Redução de Incertezas de Atributos

As análises probabilísticas são úteis para a previsão como indicado no Item 4.3, mas podemos ir um pouco além. Ainda em fase de pesquisa, mas com aplicações práticas já sendo possíveis, podemos usar a análise de incerteza e qualidade dos modelos para entender melhor a influência dos atributos nos afastamentos e com isso, alterar as probabilidades de atributos, reduzindo as incertezas.

No UNISIM, várias dissertações e artigos foram feitos para atingir esse objetivo e muitos avanços foram mostrados, mas este é um processo complexo que ainda demanda pesquisa adicional para gerar métodos eficientes. A vantagem deste para o apresentado no Item 4.3 é que pode ser usado como parte do processo de caracterização do reservatório; isso tem reflexo num melhor entendimento dos atributos e pode ser usado (1) nas decisões futuras tais como aquisição de informações de alocações de novos poços e (2) no desenvolvimento de processos iterativos de redução de incerteza por etapas onde o conhecimento dos atributos e incertezas é importante para realimentar o processo iterativo de caracterização e previsão sob incertezas.

É importante citar que há abordagens, como a inferência Bayesiana por exemplo, que permitem realizar as atividades descritas nos Itens 4.3 e 4.4 ao mesmo tempo. É também possível fazer as duas coisas em processos sequenciais, em etapas diferentes.

"Podemos classificar a calibração de modelos de simulação em 4 categorias:

(1) Ajuste de histórico de terminístico, (2) Ajuste de histórico com múltiplas respostas, (3) Redução de incertezas de previsão de produção e (4) Redução de incertezas de atributos."

## 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.

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



Grupo de Pesquisa em Simulação e Gerenciamento de Reservatórios

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

Tel: 55-19-3521-1220

Fax: 55-19-3289-4916

[unisim@dep.fem.unicamp.br](mailto:unisim@dep.fem.unicamp.br)

## 5. Indicadores de Desempenho

Em todos os casos acima, indicadores são necessários para automatizar os processos e facilitar a análise, principalmente em processos probabilísticos com centenas ou milhares de simulações.

A Figura 1 mostra um exemplo (que está sendo usado como padrão no UNISIM). O afastamento quadrático (com sinal gerado pelo afastamento simples) de todos os modelos gera barras que podem indicar a qualidade dos modelos. Neste caso, valores normalizados entre  $-1$  e  $+1$  indicam bons modelos; assim, os poços W1, W2 e W6 estão bem ajustados, a análise dos poços W4 e W5 indica que há modelos bons e ruins e a análise dos poços W3 e W7 indica que poucos modelos ajustam W3 e nenhum modelo ajusta W7. Isso indica a necessidade de recharacterizar o modelo antes de reduzir incertezas. A barra grossa indica modelos entre P25 e P75 e a barra fina, todos os modelos.

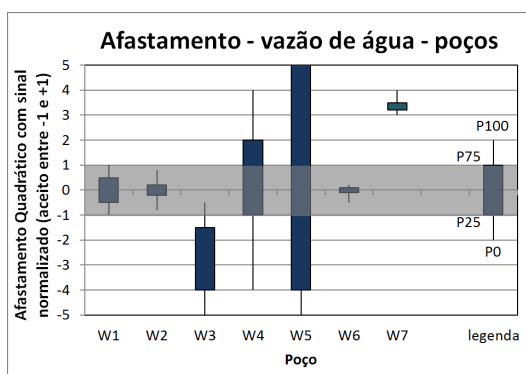


Figura 1: Exemplo de análise de incertezas para vazão de água de poços.

A Figura 2 representa um exemplo para o poço W5 onde "reference" representa o histórico e os modelos gerados têm grande variabilidade; no caso, com afastamentos que representam mais do que 5 vezes o valor aceito (que normalizado representaria algo entre  $-1$  e  $+1$ ).

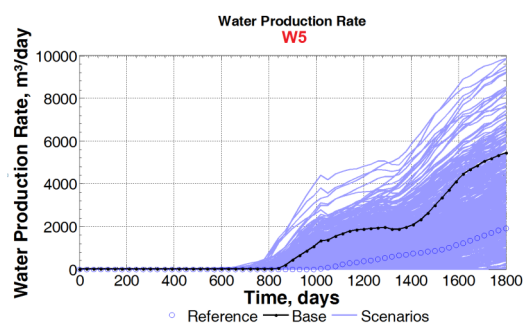


Figura 2: Exemplo de produção para o poço W5 (Carvalho, 2013).

Gráficos semelhantes são feitos para todos os outros afastamentos disponíveis. Diagnósticos podem ser feitos a partir destes gráficos para indicar necessidade de: filtrar bons modelos, ajustes locais, recharacterizar as incertezas etc.

## 6. Integração com Sísmica 4D

Outra tendência atual, principalmente para campos novos onde os dados de produção não são suficientes para reduzir significativamente a incerteza na previsão de produção, é a utilização de dados relativos à frente de avanço de fluidos injetados e pressão no reservatório. Entre as técnicas, se destaca a sísmica 4D, que apresentou grandes avanços nos últimos anos e tem sido utilizada com sucesso em diversos casos.

Se por um lado esses dados de distribuição espacial de fluidos e pressão "amarram" mais o problema e permitem uma melhor caracterização do reservatório, por outro, tornam o processo de ajuste e redução de incertezas mais complexo. Métodos assistidos (com parte do processo automatizada) e integrados com geração de "imagens" para atualização de mapas de propriedades do reservatório são muito importantes para o processo e diversos avanços têm ocorrido nos últimos anos. Esta também é uma linha de pesquisa com alguns resultados recentes no UNISIM.

Entre os diversos domínios possíveis para se realizar a integração, o grupo selecionou inicialmente o domínio de pressão e saturações, por apresentar algumas possíveis vantagens para os engenheiros, que são responsáveis pela previsão de produção e por permitir uma integração mais direta com os processos de análise de incerteza.

## 7. Comentários Finais

Esse texto teve como objetivo apresentar (1) alguns conceitos sobre ajuste de histórico de produção, (2) uma visão da diferença entre as formas de ajuste e redução de incertezas e (3) um exemplo de padronização de gráfico para diagnóstico de qualidade de ajuste (Figura 1). O processo de integração com sísmica 4D, citado aqui no texto, será foco de um UNISIM ON-LINE futuro para detalhar melhor os últimos avanços.

## 8. Referências

Muitas referências sobre o tema podem ser encontradas na página de publicações do UNISIM (e em citações dessas próprias publicações).

<http://www.unisim.cepetro.unicamp.br>

## Informações sobre o autor:

Denis José Schiozer é professor titular do Departamento de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp; engenheiro aeronáutico com mestrado e doutorado em engenharia de petróleo pela Unicamp e Stanford e especialização em administração de empresas pela FGV.

Para maiores informações, visite  
<https://www.unisim.cepetro.unicamp.br>

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