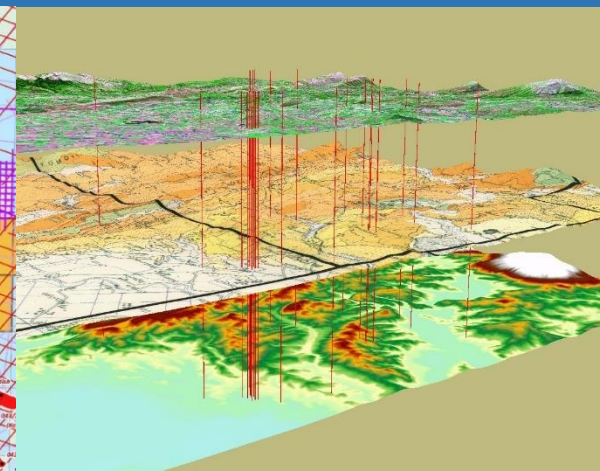
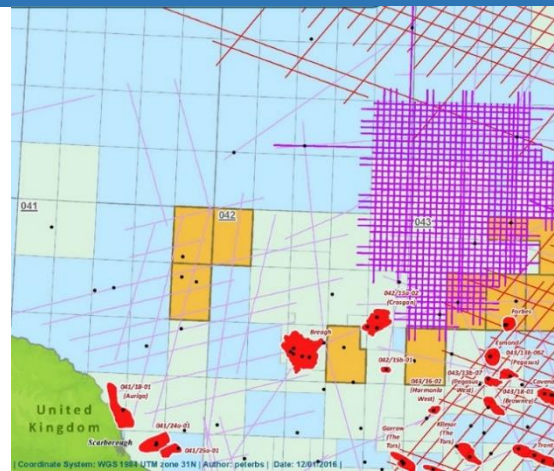
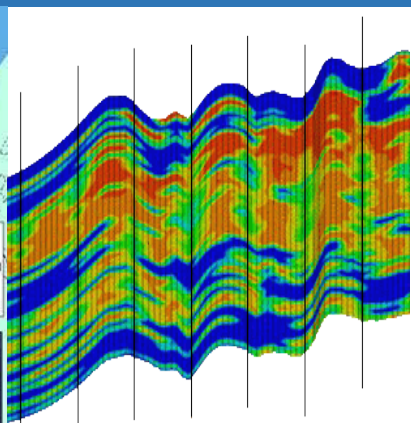
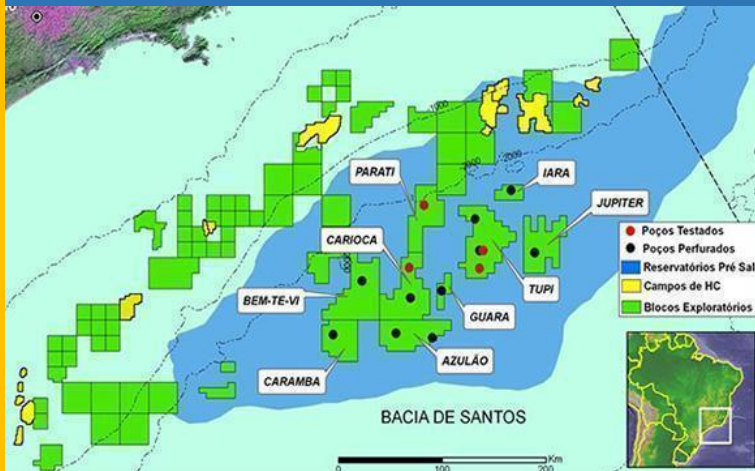


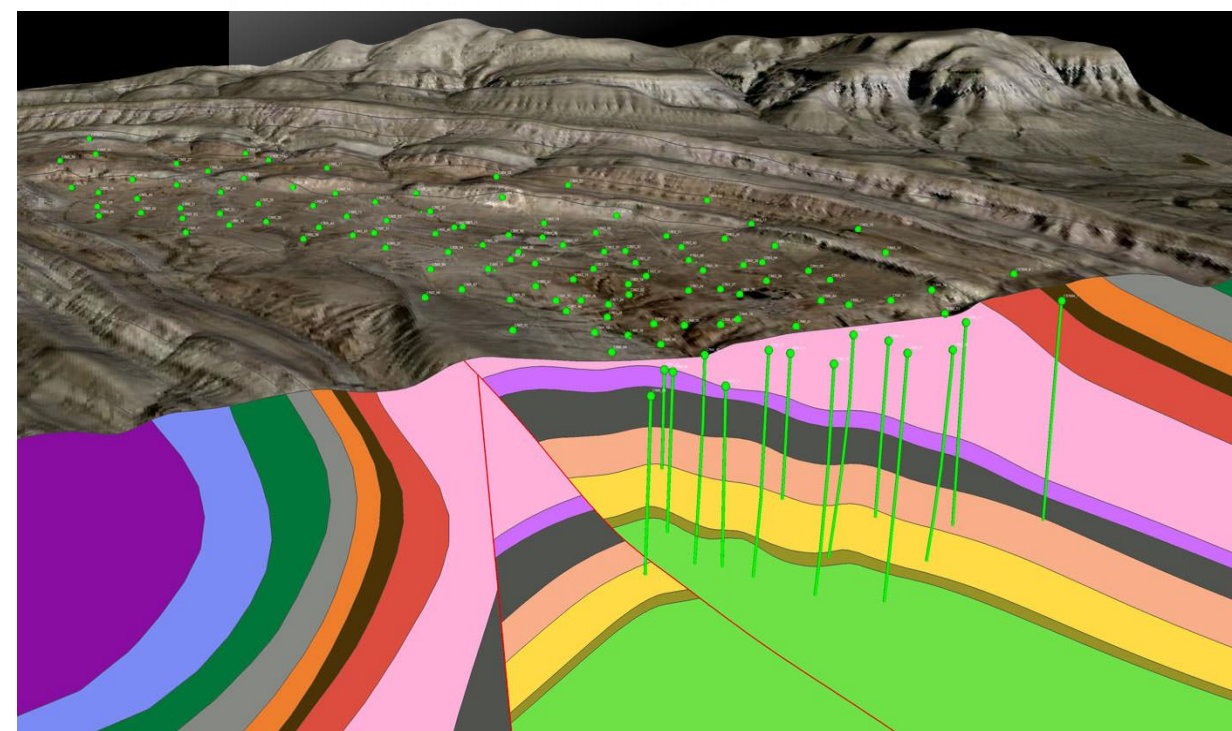
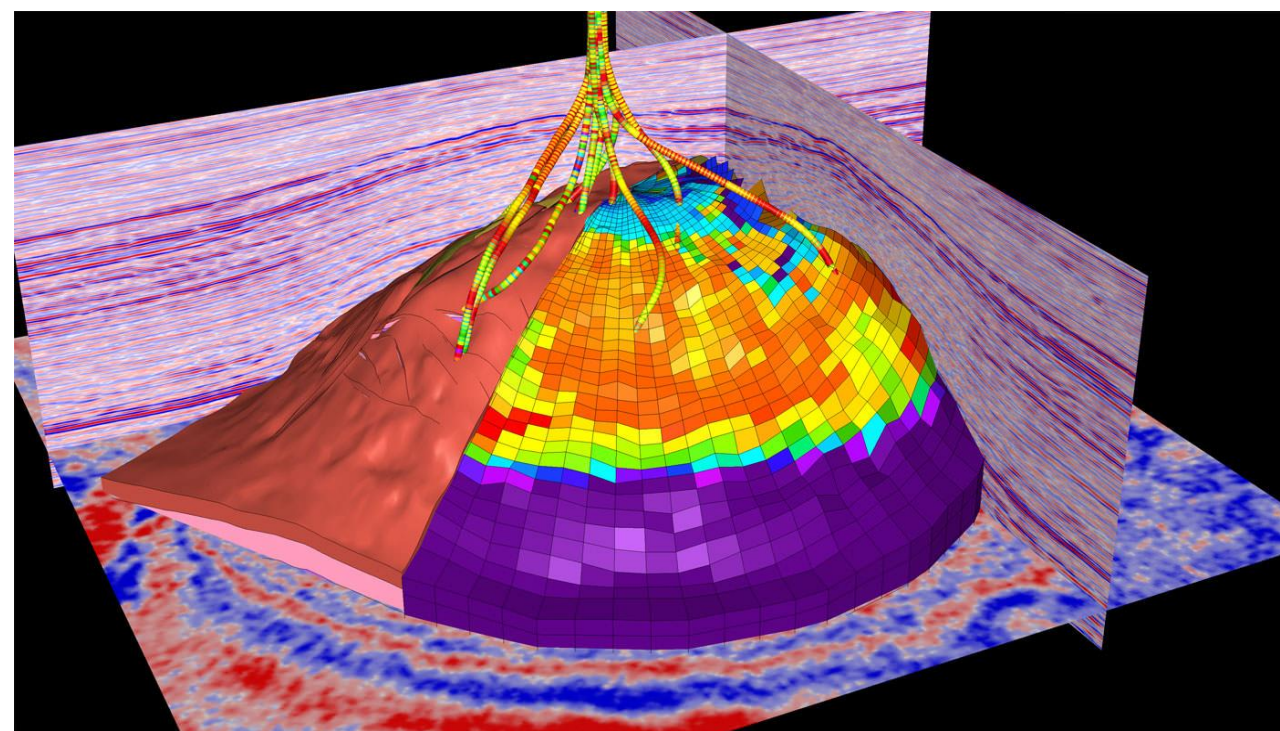
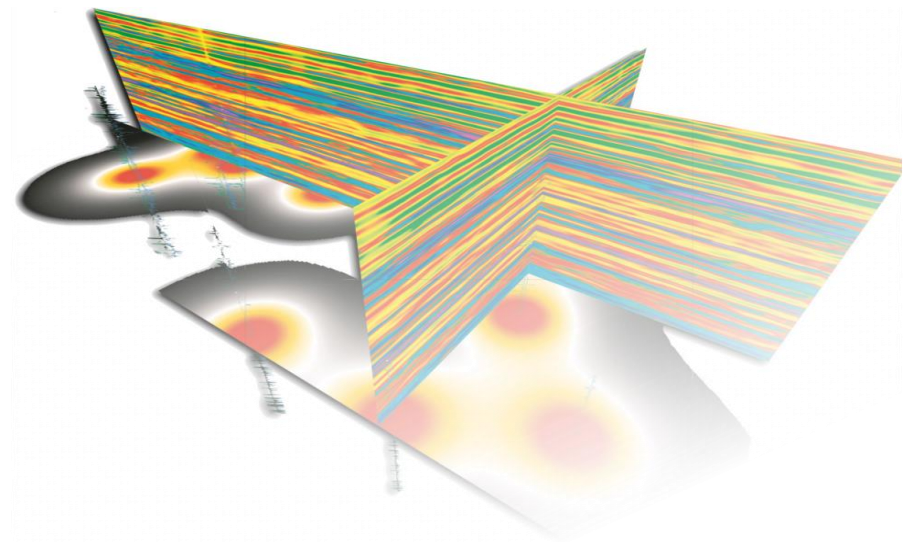


PMI 3331 – GEOMÁTICA APLICADA À ENGENHARIA DE PETRÓLEO



MODELO GEOLÓGICO DE RESERVATÓRIOS

(Material desenvolvido pelo Prof. Marcio Sampaio e colaboração Prof. Cleyton Carneiro)





Estrutura da Aula

- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**





Estrutura da Aula

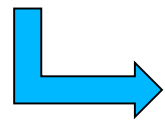
- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**





Introdução

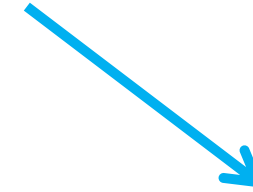
- Definição do modelo geológico do reservatório



uma das etapas mais importantes do estudo do reservatório



volume de trabalho envolvido



impacto nos resultados finais

- Descrição estática do reservatório: geometria e propriedades petrofísicas



Crucial na determinação do desempenho da produção de um campo



Introdução

- Relação entre a descrição estática e desempenho do campo



medida da exatidão do modelo geológico



- Informação dinâmica: pequeno uso direto para melhorar o modelo;



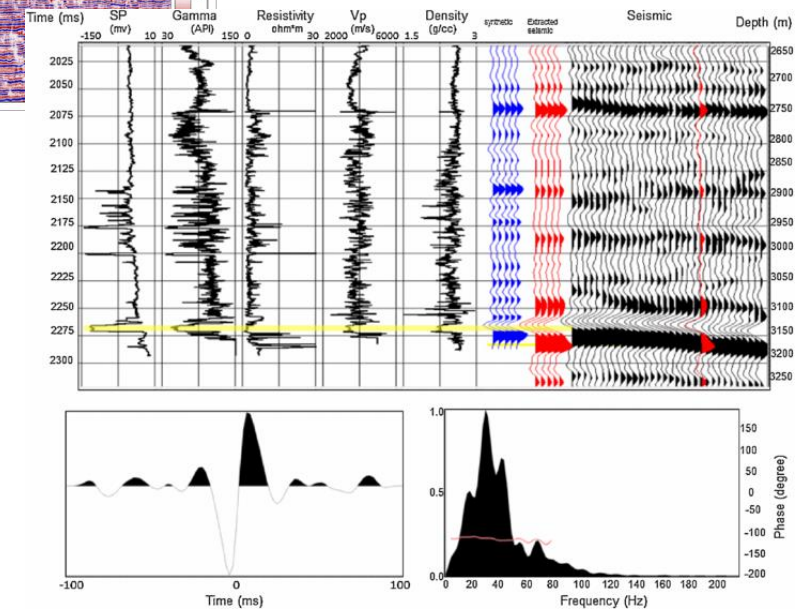
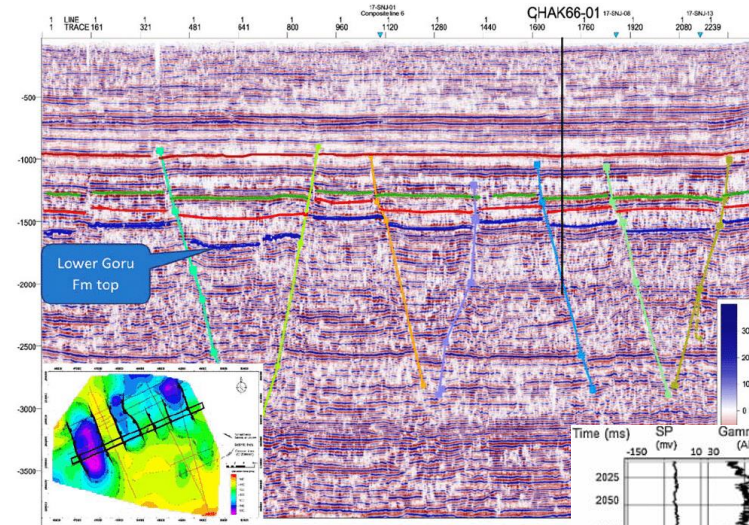
Introdução

➤ Informação estática:

- Sísmica;
- Dados de perfilagem;
- Testemunhos;

➤ Informação dinâmica:

- Ajuste de histórico.





Introdução

➤ Todos os profissionais envolvidos na caracterização geológica:

↳ Identificar aqueles dados que são julgados úteis na construção do modelo



deverá satisfazer as
restrições estáticas e dinâmicas

➤ Modelo deverá ter alto grau de consistência:

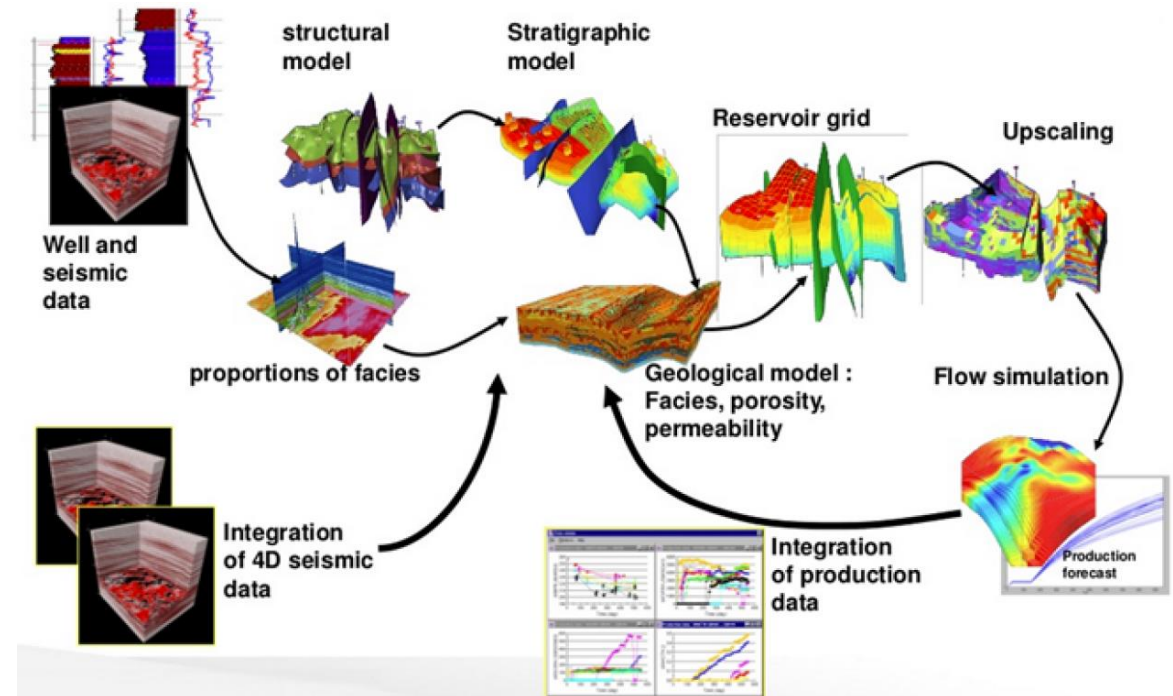
↳ melhor chance de reproduzir o desempenho observado do campo



Introdução

Estágios típicos de um projeto de estudo de reservatório:

1. Modelo Estrutural;
2. Modelo Estratigráfico;
3. Modelo Litológico;
4. Heterogeneidade do Reservatório.

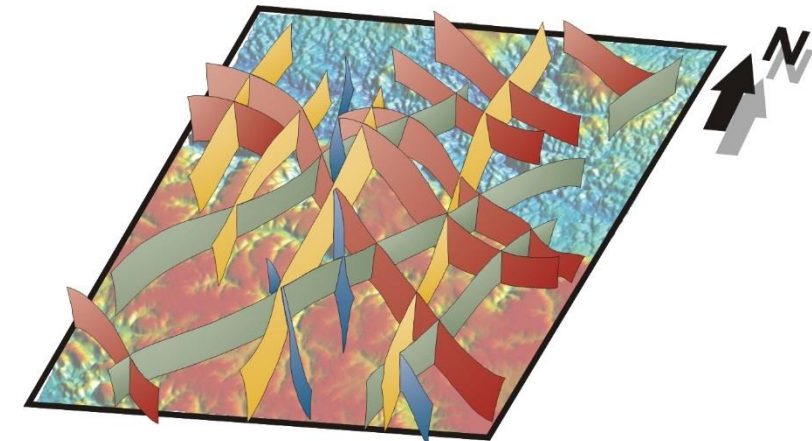
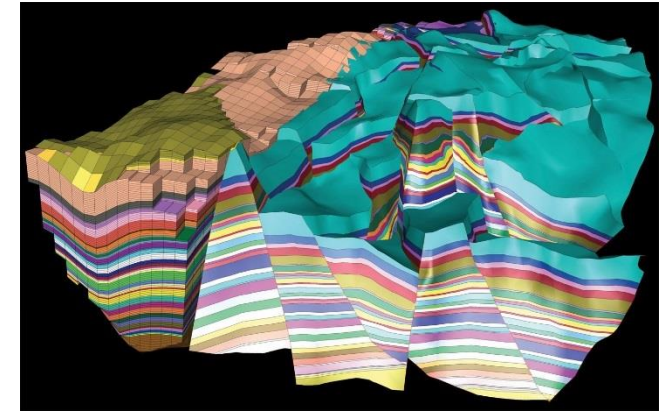




Introdução

1. Modelo Estrutural:

- Diferentes informações disponíveis (interpretação sísmica, evidência geológica e dados de poço) podem ser usadas na definição do mapa estrutural do topo e padrão de falhas associado;
- Incertezas relacionada à esta fase do estudo;
- Alguns problemas relacionados à abordagem 3D da modelagem geológica.





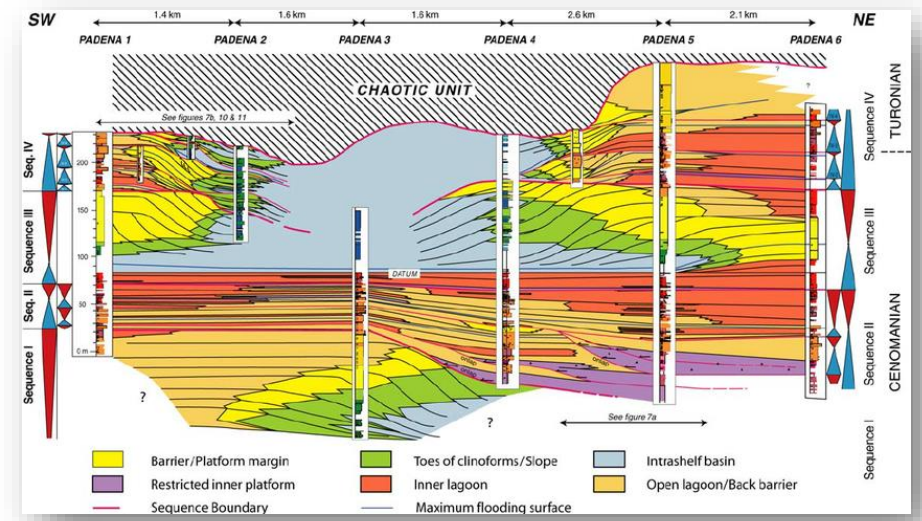
Introdução

2. Modelo Estratigráfico:

- Princípios e aplicações da Estratigrafia de Sequências:

↳ Descrição como superfícies correlacionadas (determinísticas) podem ser desenhadas através do reservatório;

- Integração de outras técnicas;
- Alguns problemas relacionados à construção de um grid estratigráfico 3D.



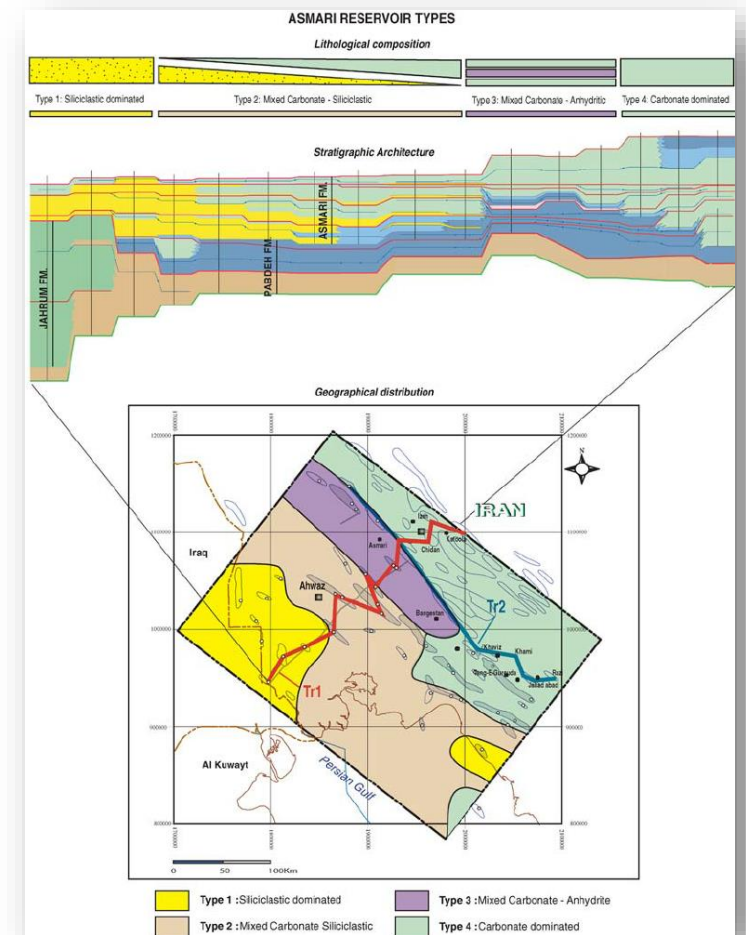
Fonte Imagem: Razin et al. (2010)



Introdução

3. Modelo Litológico:

- Vantagens relacionadas à subdivisão de um reservatório em um número de fácies elementares e como o processo de caracterização pode ser realizada;
- Algumas técnicas estocásticas disponíveis para obter uma detalhada distribuição de fácies 3D;
- Problemas da avaliação da incerteza.



Fonte Imagem: Buchem et al. (2010)



Introdução

4. Heterogeneidade do Reservatório:

- Análise da presença, extensão e a importância de heterogeneidades internas;
- Classificação com esquema de bases-escaladas;
- Impacto dos diferentes tipos de heterogeneidade no fluxo do fluido;
- Aplicação e integração de diferentes fontes de dados:
 - Estáticos, quase-estáticos e dinâmicos na identificação das heterogeneidades do reservatório.





Estrutura da Aula

- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**



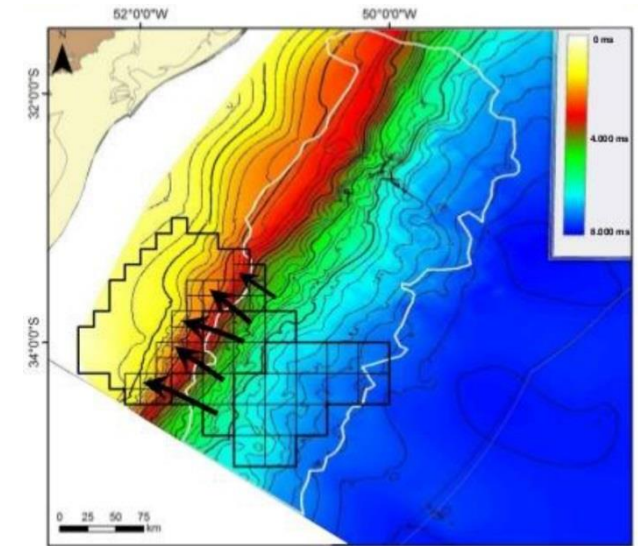
Modelo Estrutural

Construção do modelo estrutural refere-se:

- Definição do mapa estrutural do topo;
- Interpretação do padrão de falhas;

Fase predominantemente regida por investigações geofísicas:

- Levantamentos sísmicos:
 - Visualizar as estruturas de subsuperfície;
 - Inferir um modelo geométrico do reservatório.



Mapa Estrutural em Tempo
do Topo da Seção Geradora

Rotas de migração até
altos estruturais

Campo de Pelotas



Modelo Estrutural

- Outras técnicas:
 - Podem fornecer informações práticas acerca do quadro estrutural do reservatório;
- Esta seção é subdividida em 4 partes principais:
 - i. Definição do quadro estrutural básico;
 - ii. Identificação do padrão de falhas;
 - iii. Incerteza relacionada ao modelo estrutural;
 - iv. Problemas na modelagem 3D dos reservatórios.





Modelo Estrutural

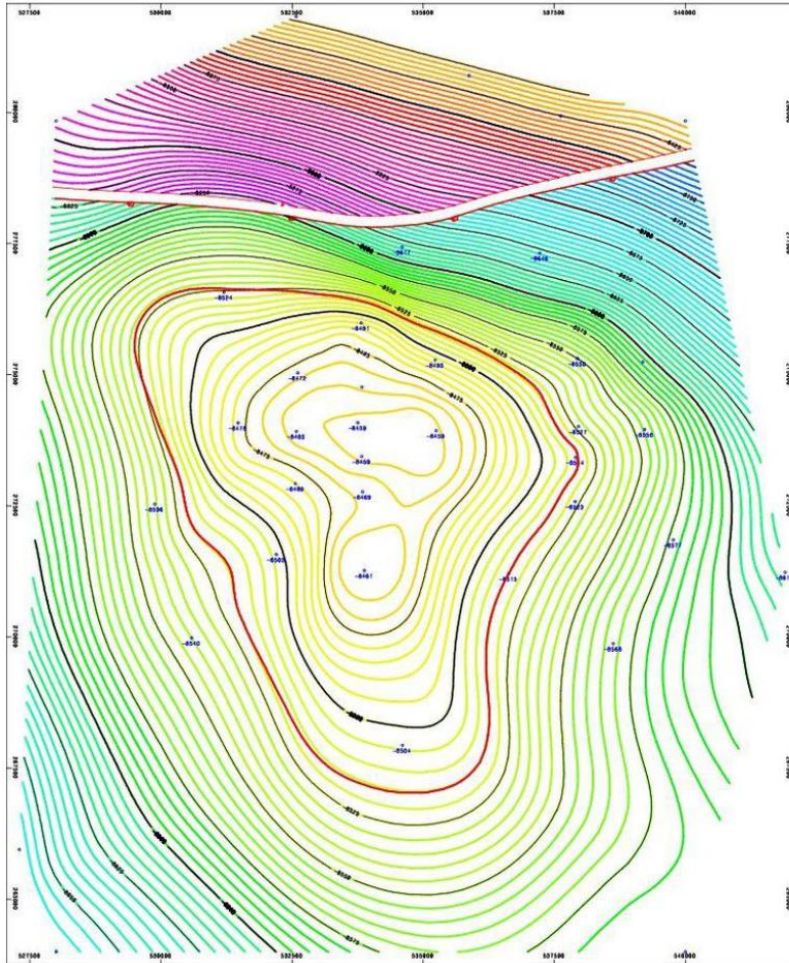
i. Definição do quadro estrutural básico:

- Refere-se à definição das fronteiras externas do reservatório, em particular ao mapa estrutural do topo;
 - ↳ Normalmente definido com base nos dados pós-empilhamento 2D;
- Em alguns casos:
 - Dados sísmicos não estão disponíveis: infraestrutura da produção atrapalha.





Modelo Estrutural



Mapa estrutural gerada pelo *software* de mapeamento *Contour* para um reservatório de gás e óleo a 8.500 pés de profundidade (2600 metros) no campo Erath, Erath, Luisiana.



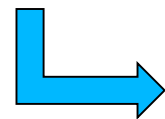
Modelo Estrutural

i. Definição do quadro estrutural básico:

- Qualidade muito baixa para uma interpretação confiável: presença de gás no topo da formação, camada de sal, etc.



Nestes casos, mapa estrutural do topo tem de se basear nos dados de poço



Problema: incertezas nas zonas entre os poços



principalmente em campos com poucos poços



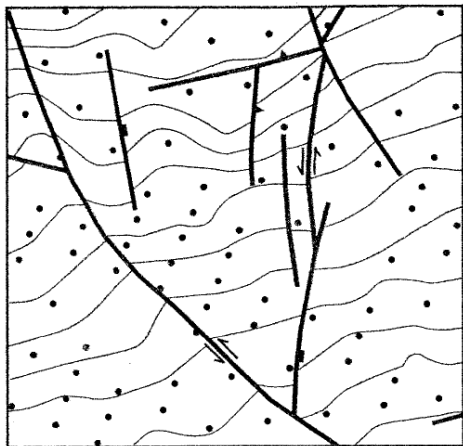


Modelo Estrutural

i. Definição do quadro estrutural básico:

Quando muitos poços estão disponíveis:

- Mapa estrutural do topo tem pouca incerteza;
- Informação sísmica traz pouca vantagem à interpretação;



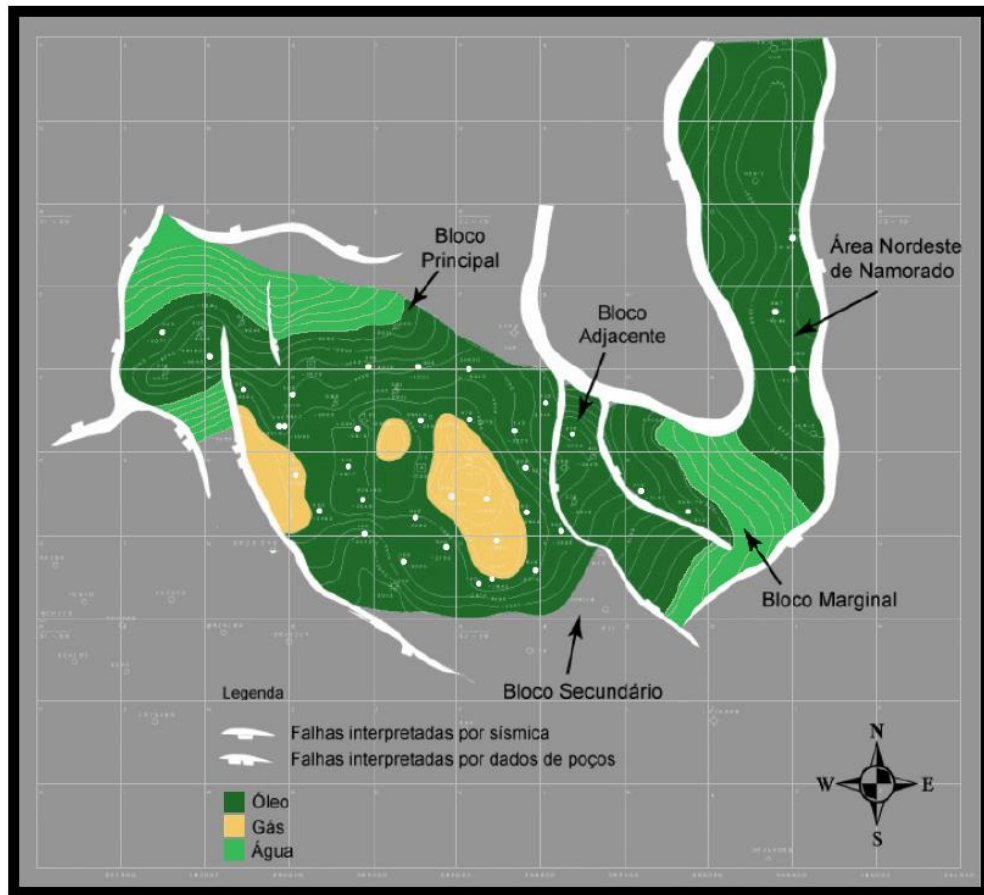
Exemplo:

Informação sísmica → definição do padrão de falhas;

Dados dos poços → mapa estrutural;



Modelo Estrutural



Mapa estrutural do topo do reservatório do Campo de Namorado (modificado por Barboza 2005 a partir de Meneses 1990)



Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

- Impacto na estratégia de desenvolvimento e portanto, na economicidade do campo;
 - Complexidade estrutural: pode acarretar um número bem maior de poços para a extração do óleo;
 - Quanto mais compartimentado for o campo → mais poços perfurados



menor retorno econômico



Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

Falhas, no contexto dos reservatórios, podem ser identificadas com base em 3 principais tipos de informação:

- a) Evidência geológica;
- b) Evidência de poço;
- c) Dados sísmicos.





Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

a) Evidência geológica:

- Técnica consiste na identificação de falhas suspeitas através da inconsistência na correlação do esquema estratigráfico;
- Principal técnica no passado: quando aquisições de sísmica 3D completas não estavam disponíveis;



Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

b) Evidência de poço:

- Falhas interceptadas por poços são, em muitos casos, facilmente identificadas;
- Em perfis: falhas estão frequentemente relacionadas às zonas anômalas em termos de resistividade ou valores de densidade.





Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

b) Evidência de poço:

Poços verticais: menor chance de cruzar uma falha

comparados aos horizontais;



Maioria da falhas são verticais ou subverticais



Modelo Estrutural

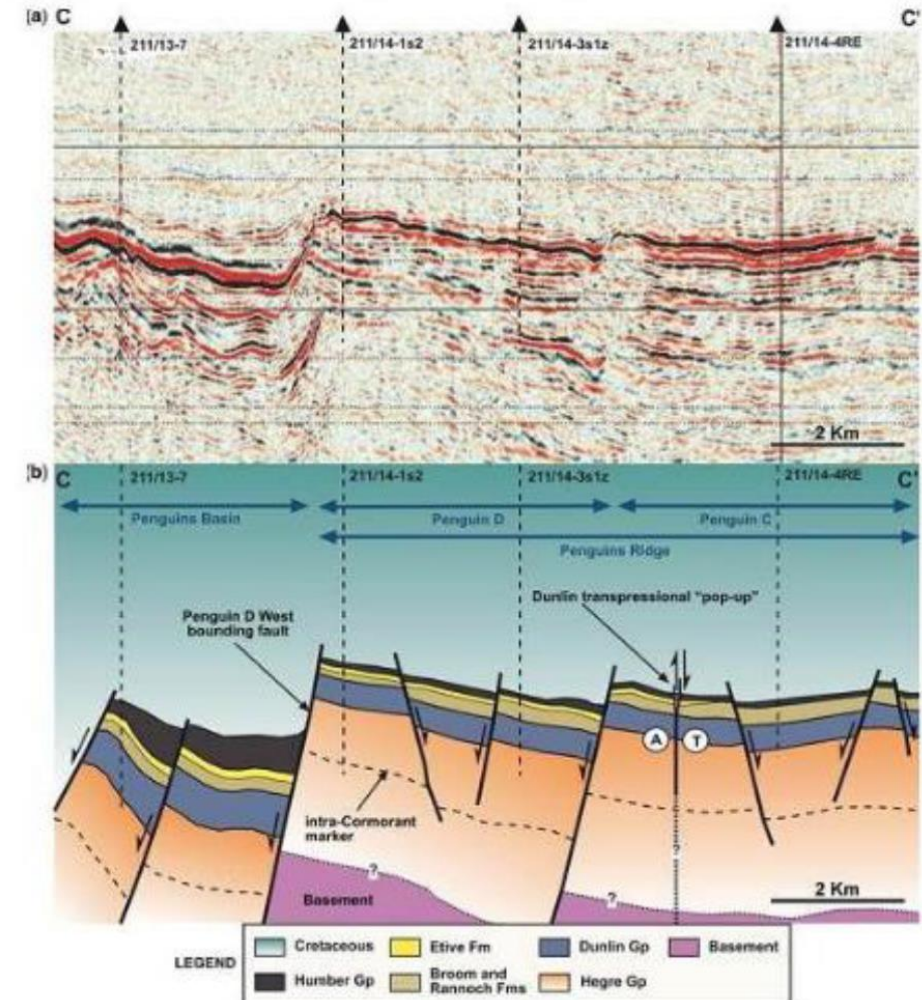
ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

- Falhas podem ser detectadas à partir de descontinuidades no padrão de reflexão;



- Pode ser processado ao reduzir o ruído e colocando-se os eventos nas posições espaciais apropriadas.



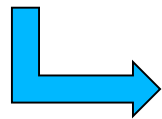


Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

Modelos de reservatório se tornam mais complexos com o tempo



Poderosas ferramentas de interpretação → detalhes estruturais de pequena escala



difícil de transferir
ao modelo de simulação



Modelo Estrutural

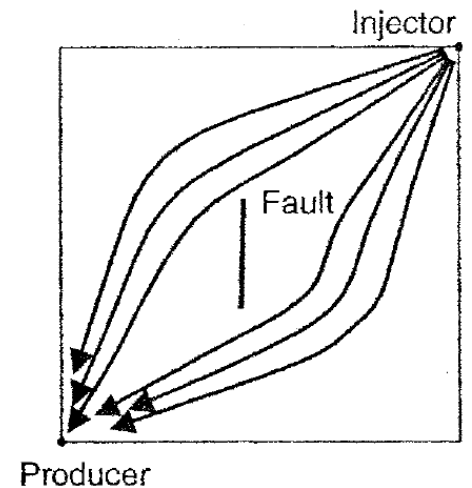
ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

Qual é então o grau de detalhe que nós estamos interessados?



Em identificar os aspectos estruturais que possuem impacto no fluxo do fluido





Modelo Estrutural

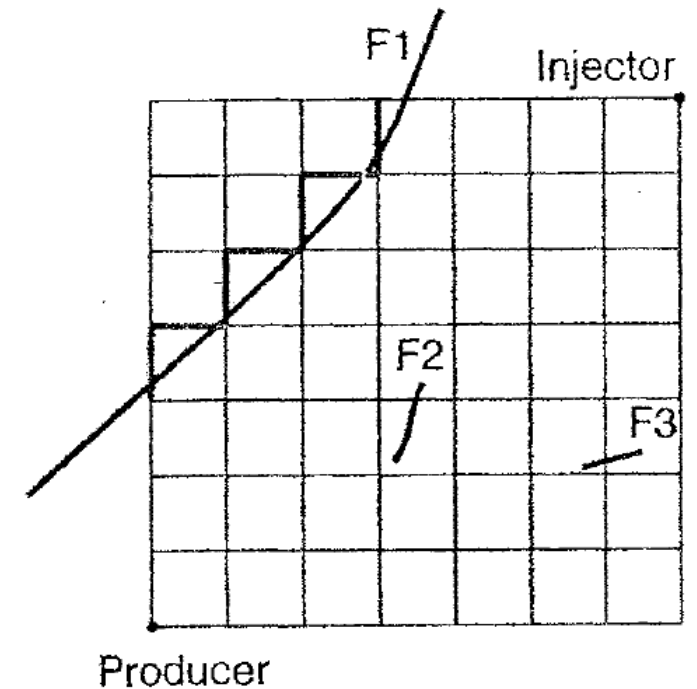
ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

- Falhas menores que a dimensão das células de simulação:



não poderão ser representadas explicitamente no modelo





Modelo Estrutural

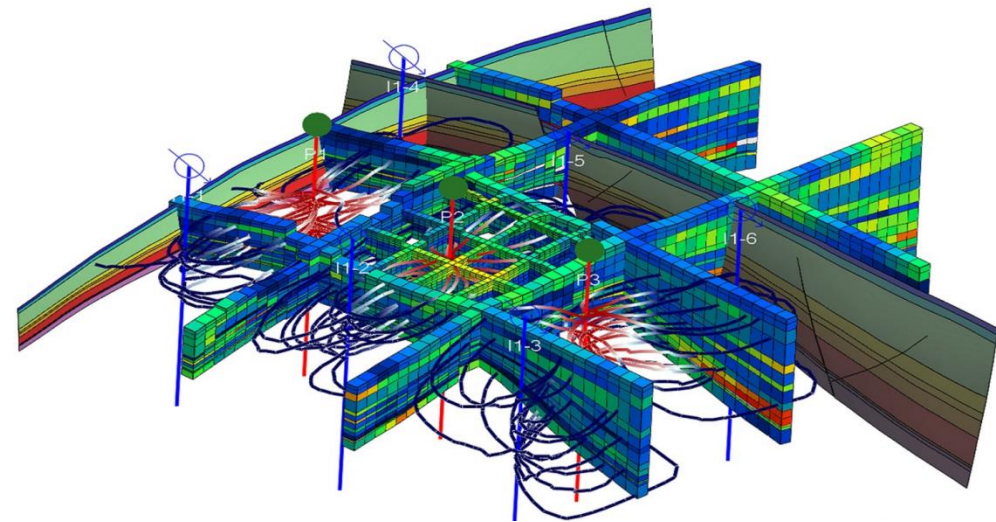
ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

Potencial de falha selante: geofísica, exclusivamente, não permite compreender se as falhas são barreiras ou não ao fluxo do fluido



permite apenas acreditar no grau de compartimentação do reservatório





Modelo Estrutural

ii. Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

Resolução dos dados sísmicos:

- Alta resolução: pode levar à uma descrição muito detalhada → pode ser irrelevante no comportamento dinâmico do campo;
- Baixa resolução: incapazes de identificar importantes aspectos estruturais → podem ser essenciais em governar o caminho dos fluxos.



Modelo Estrutural

➤ Identificação do padrão de falhas:

c) Dados sísmicos:

Consequência: geofísica sozinha não é suficiente para estabelecer um padrão estrutural relevante ao fluxo do fluido



Necessário a **integração** com os testes de poço, características dos fluidos e dados de produção



Modelo Estrutural

iii. Incerteza relacionada ao modelo estrutural:

Está relacionada ao conhecimento parcial do reservatório e à limitação das técnicas utilizadas;

Incerteza alta: reservatórios com quantidade limitada de poços;

Incerteza baixa: campos maduros com poços com espaçamentos muito próximos.





Modelo Estrutural

iii. Incerteza relacionada ao modelo estrutural:

Erros no processo de interpretação sísmica podem estar relacionados com:

Erros na seleção de parâmetros: problemas nas fases de processamento e migração, não ligação da sísmica do poço, problemas de interpretação e assim por diante;

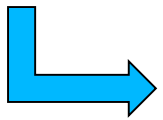
Problemas de conversão da profundidade: incerteza no campo de velocidade ao usar a conversão tempo-profundidade.



Modelo Estrutural

iv. Problemas na modelagem 3D dos reservatórios:

Tecnologia mais recente que a simulação 3D:



Mostraram ser uma tarefa muito mais problemática por causa das dificuldades na modelagem e visualização de estruturas geométricas em escala fina;

Procedimentos para a construção de modelos geológicos 3D:

- a) Definição das falhas principais;
- b) Construção das superfícies geológicas;
- c) Modelagem das falhas menores.



Modelo Estrutural

iv. Problemas na modelagem 3D dos reservatórios:

a) Definição das falhas principais:

- Falhas principais são consideradas as maiores limitantes das células do reservatório;
- Falhas planas são explicitamente modeladas como superfícies complexas e determinam a estrutura geométrica do reservatório.



Modelo Estrutural

iv. Problemas na modelagem 3D dos reservatórios:

b) Construção das superfícies geológicas:

- Dentro de cada célula: os principais horizontes geológicos são modelados (topo, base e principais eventos correlacionáveis);
- São modelados por meio de superfícies matemáticas (paramétricas) pela interpolação de pontos de dados disponíveis.





Modelo Estrutural

iv. Problemas na modelagem 3D dos reservatórios:

c) Modelagem de falhas menores:

- Principais horizontes geológicos são cortados e contrabalançados pelas falhas menores

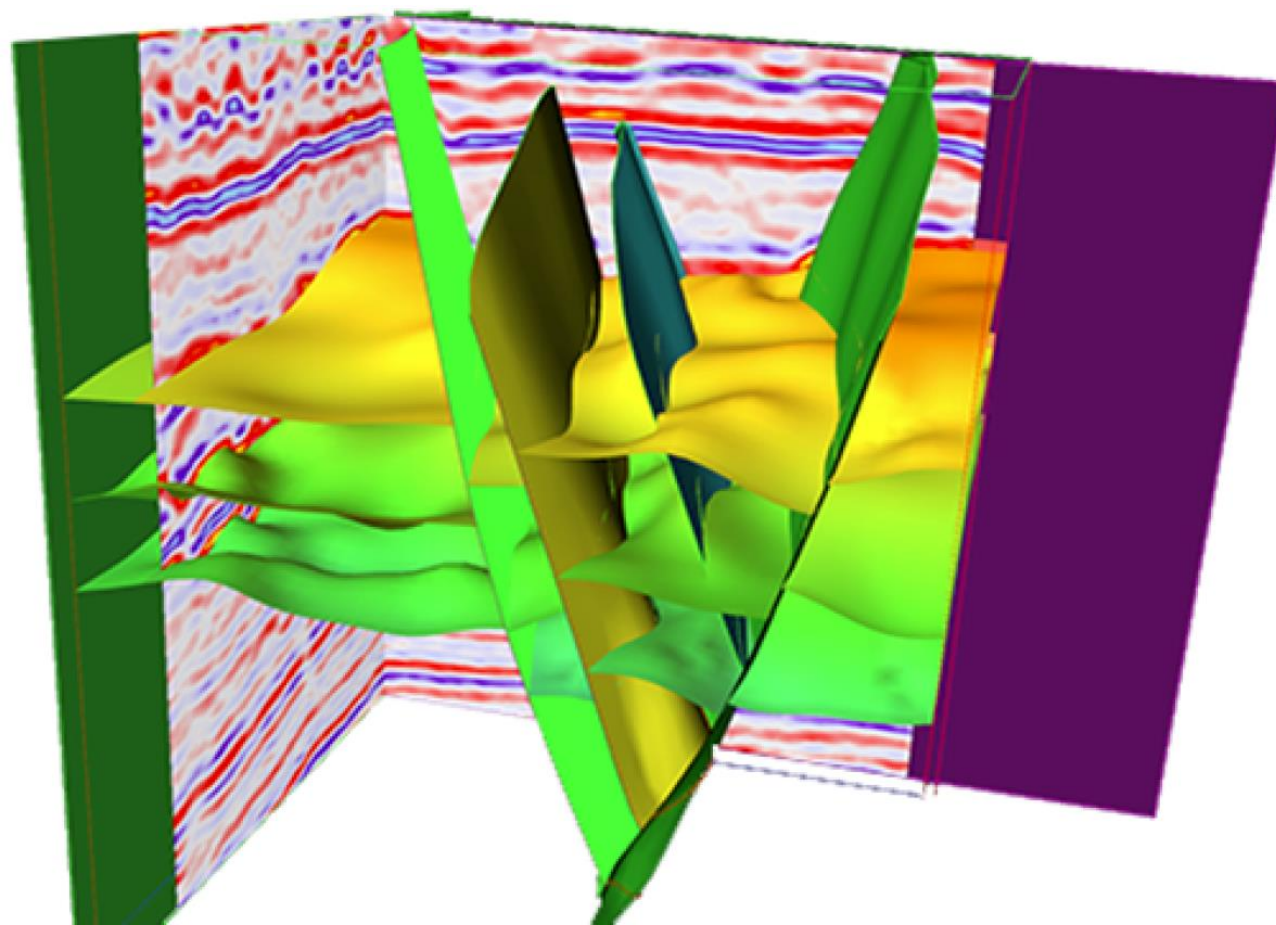


Falhas que possuem impacto negligenciável sobre a geometria global do reservatório.



Modelo Estrutural

Exemplo de um modelo estrutural:





Estrutura da Aula

- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**



Modelo Estratigráfico

- Uma das tarefas mais tradicionais dos geólogos de reservatório;
- Consiste em correlacionar todos os poços de maneira a definir as superfícies que limitam as principais unidades do reservatório;
 - Em particular, quando a simulação numérica é o foco, o objetivo geral do modelo estratigráfico é definir as principais unidades de fluxo do reservatório;



Essencial para a simulação do desempenho
da produção/injeção do campo



Modelo Estratigráfico

- Dificuldade desta etapa depende principalmente do ajuste sedimentológico de um particular reservatório sob estudo;
- Em alguns casos, os ambientes deposicionais da formação do reservatório pode exibir uma ampla extensão de área, tornando-os facilmente correlacionáveis entre poços, mesmo com um grande espaçamento;
- É o caso de muitas áreas de plataformas deposicionais, onde a continuidade lateral das unidades sedimentares é muitas vezes significativo.





Modelo Estratigráfico

- Em muitos reservatórios espalhados pelo mundo, o comprimento de correlação das unidades do reservatório é muito menor do que a distância de espaçamento dos poços.



Problema muito complexo e pode representar um grande desafio para o geólogo do reservatório



Fundamental à integração com as outras disciplinas



Modelo Estratigráfico

Considerável número de disciplinas geologicamente relacionadas:

- Sísmica e estratigrafia de sequências;
- Interpretação da perfilagem de poço;
- Bioestratigrafia;
- Mineralogia;
- Sedimentologia;
- Palinologia;
- Geoquímica;
- Estudos de afloramento.





Modelo Estratigráfico

- Impossível fornecer regras gerais para a construção do modelo estratigráfico;
- Vamos analisar alguns pontos chave que podem ser utilizados:
 - Comumente usado → Estratigrafia de Sequência
 - Outras técnicas podem ser utilizadas para refinar e melhorar o modelo;
 - Veremos também a construção de uma estrutura estratigráfica para os propósitos de simulação estocástica.





Modelo Estratigráfico

- Estratigrafia de Sequência (ES): definida como o estudo das fácies geneticamente relacionadas dentro de uma estrutura de superfícies cronoestratigraficamente significativas;



Deposições do padrão de sedimentação é controlado pelas mudanças relativas do nível do mar;



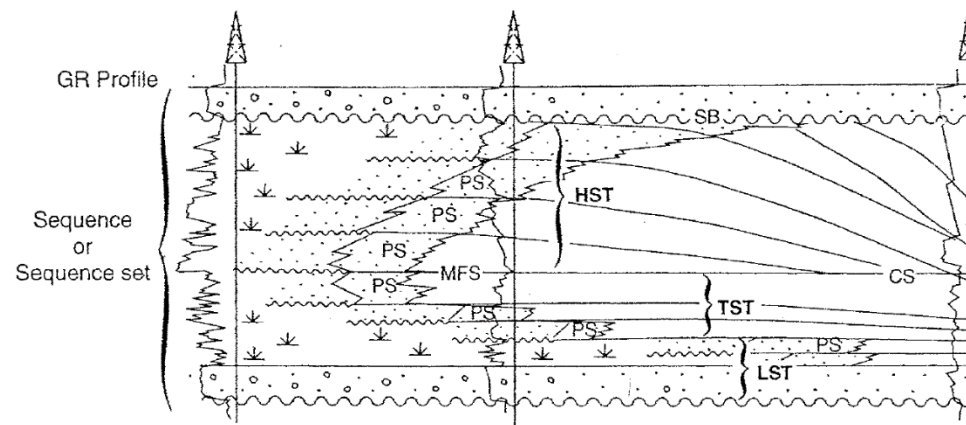
Eustasia, subsidência,
tectônicas e taxas de deposição



Modelo Estratigráfico

Na estratigrafia de sequência, os padrões deposicionais podem ser definidos:

- Lâmina: menor camada megascópica → uniforme na composição e textura e não é internamente fatiada;
- Sequência: unidade do extrato base para análise da estratigrafia de sequência.





Modelo Estratigráfico

- Razões para que a ES seja uma ferramenta ideal para um estudo integrado:
 - a) Fornece um detalhado arcabouço estratigráfico que pode reduzir o risco de descorrelação entre diferentes unidades genéticas;
 - b) Estudada e identificada em diferentes escalas → fraturada por natureza → utilização e integração de dados coletados em diferentes escalas e ferramentas;
 - c) Dentro de uma ES é possível prever a continuidade, conectividade e extensão de corpos de areia e estabelecer parâmetros representativos para a modelagem estocástica;





Modelo Estratigráfico

- d) Permite a previsão da presença e extensão das fácies de reservatórios fora das áreas desenvolvidas de um campo maduro;
- e) Estes princípios podem ser aplicados tanto em sistemas siliciclásticos como em carbonáticos;

Correta identificação da arquitetura de fácies → boa descrição do reservatório
→ boa previsão do desempenho do reservatório → avaliação correta do número de poços → economicidade do campo



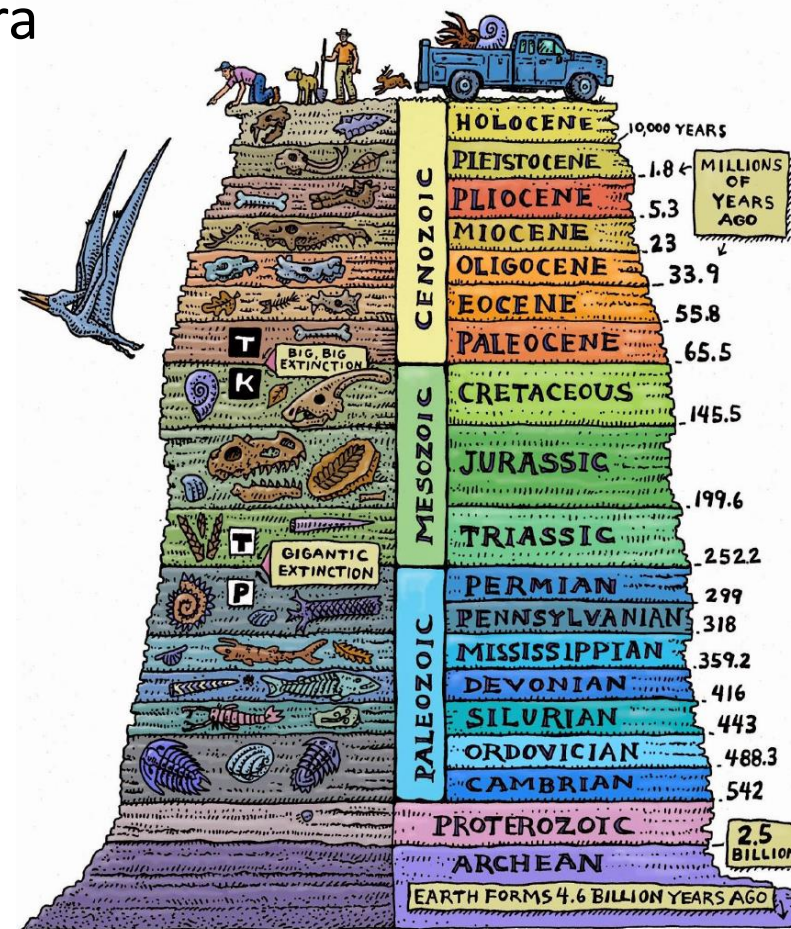
Modelo Estratigráfico

Outras técnicas: integração das outras informações possíveis para corroborar o modelo estratigráfico;

- Palinologia: estudo dos esporos, pólen e outros restos orgânicos animais ou vegetais;
- Bioestratigrafia: a idade da camada geológica é definida pelo tipo ou espécies de fósseis que são encontrados;



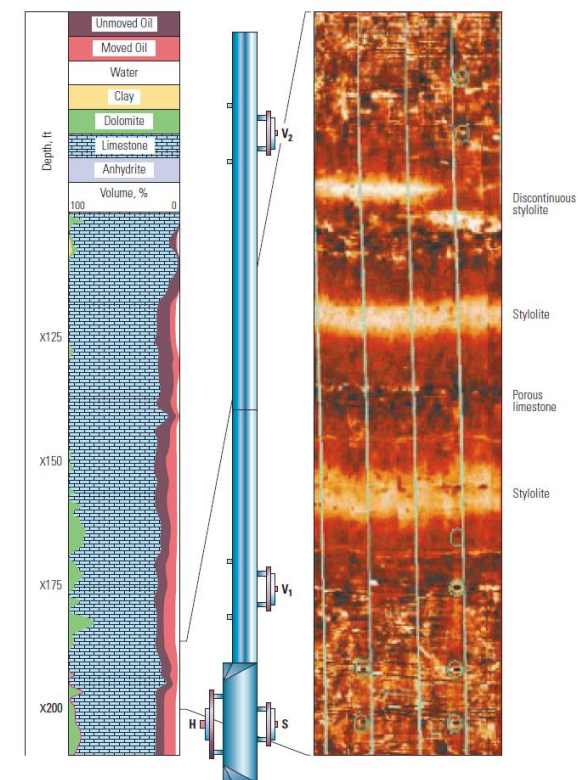
podem fornecer informação prática referente às boas correlações assumidas;





Modelo Estratigráfico

- Dados de pressão: podem ajudar na validação do esquema de correlação → diferentes medidas de pressão em poços contíguos na mesma unidade estratigráfica pode estar relacionado à problemas de correlação;





Modelo Estratigráfico

- Dados de perfuração: taxa de perfuração fornece informação prática acerca da posição da unidade estratigráfica que está sendo perfurada;
- Dados de produção: consistentes tendências podem ser observadas devido ao esquema de correlação → desvios da tendência (anômalos RGO ou ROA) podem ser causados pela descorrelação;
- Dados de fluido: mesmo tipo de HC é esperado ser encontrado na mesma unidade estratigráfica → diferentes tipos pode ser um alerta na falha de correlação;





Modelo Estratigráfico

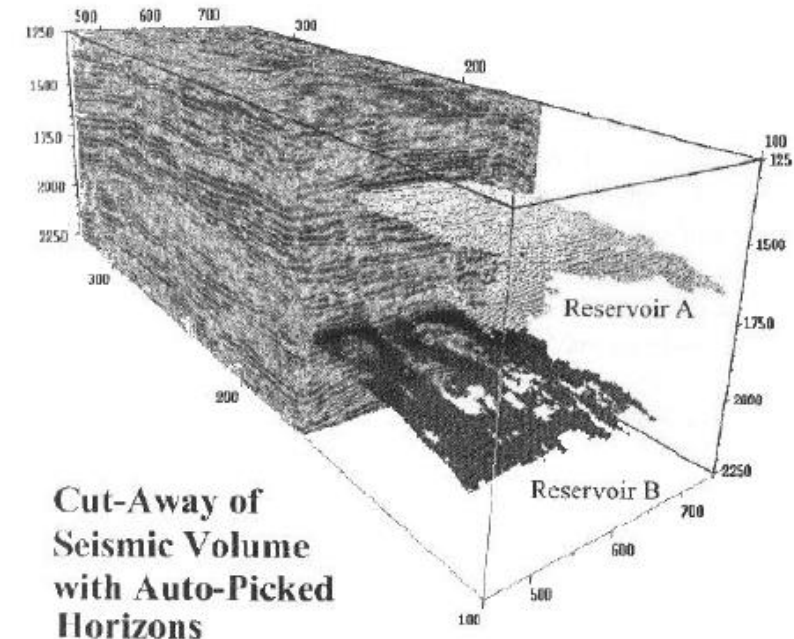
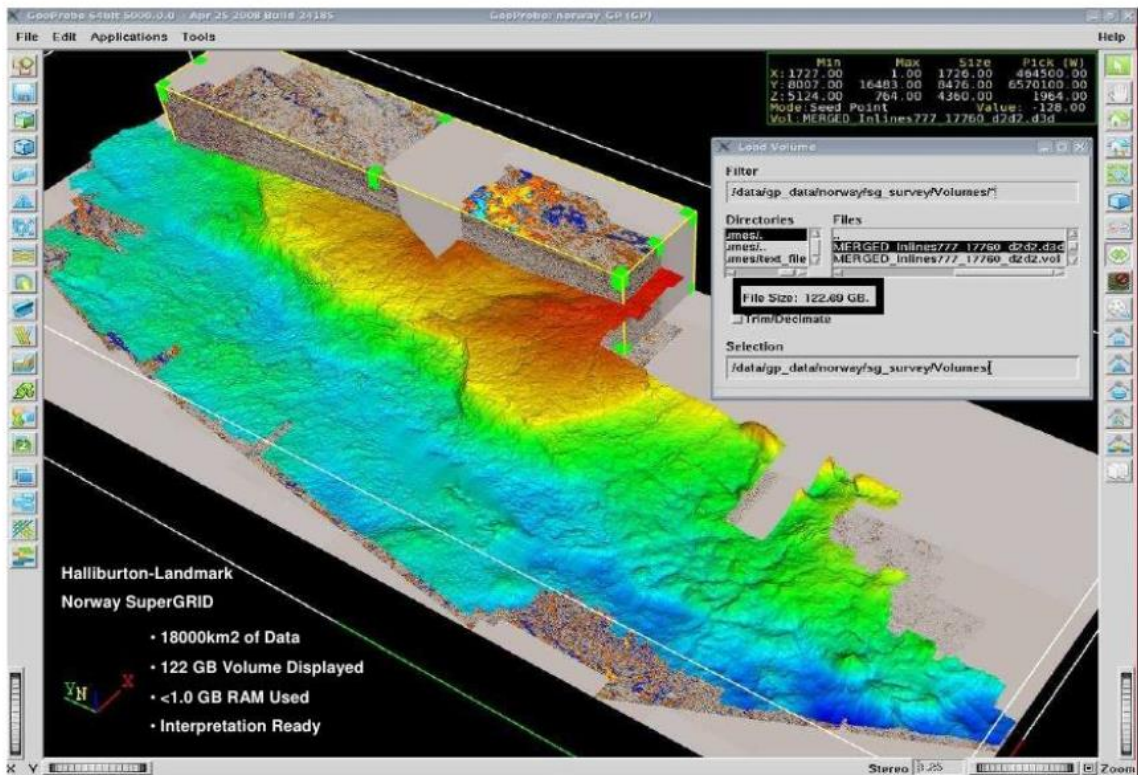
- Construção de um Grid Estratigráfico:
 - Abordagem tradicional 2D: representado por meio de uma série de seções transversais e mapas empilhados de várias propriedades geométricas e petrofísicas;
 - Abordagem 3D e modelagem estocástica: variabilidade espacial de algum parâmetro geológico é representado em uma camada muito fina, levando em conta a direção vertical → representação mais detalhada e realista da arquitetura do reservatório e heterogeneidade interna.





Modelo Estratigráfico

Interpretação Estratigráfica de Bacias

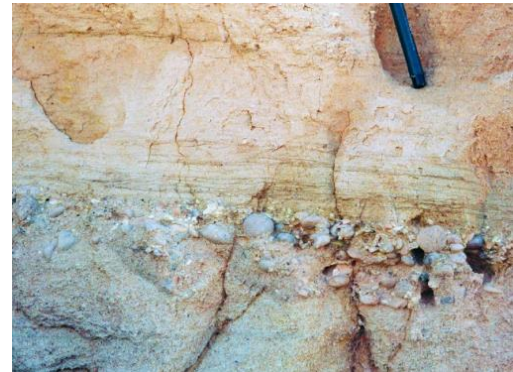


Cut-Away of Seismic Volume with Auto-Picked Horizons



Modelo Estratigráfico

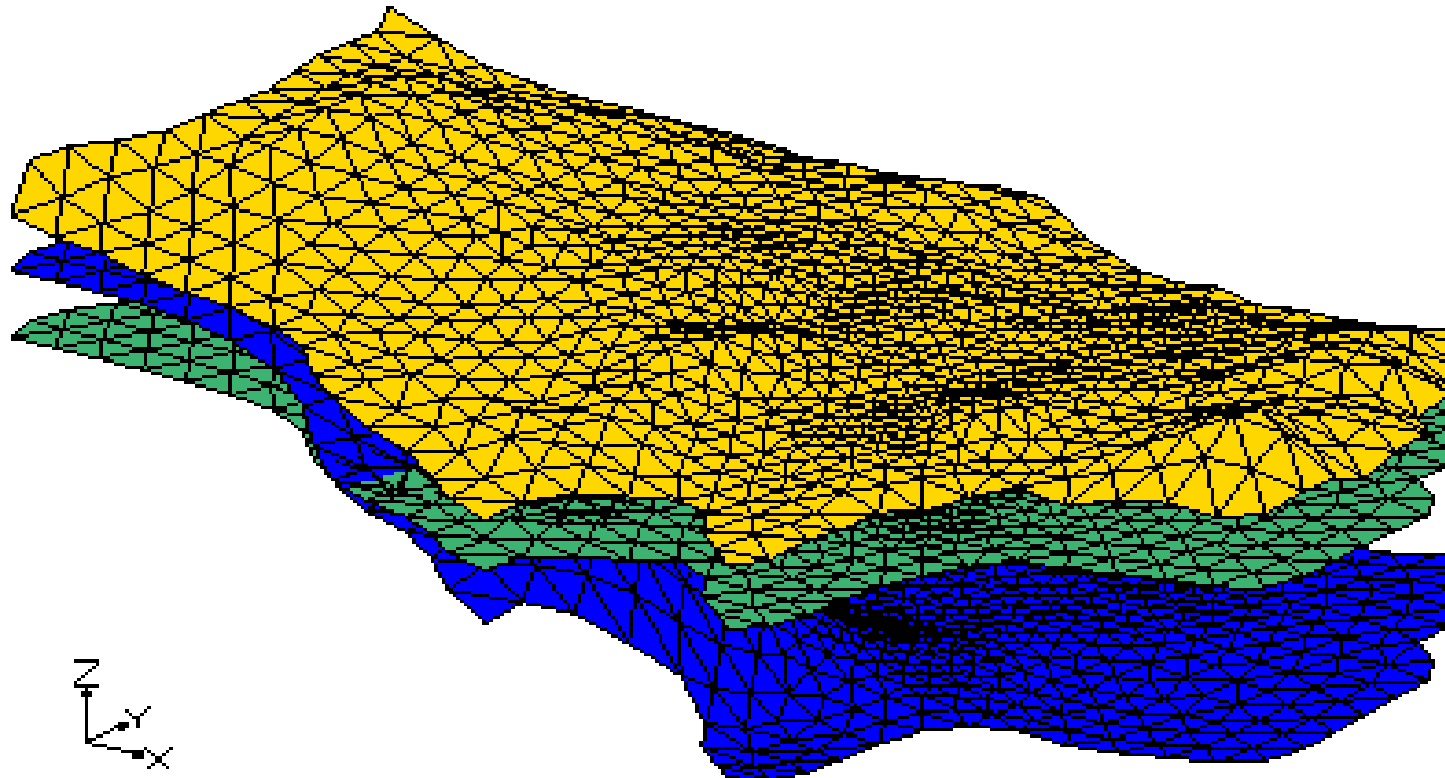
- Construção de um GRID Estratigráfico:
 - Definição de uma geometria interna para a arquitetura de unidades de formação. Existem, em geral, duas possibilidades:
 - 1) Extrato proporcional: a menor escala genética unitária (lâminas, acamamento) são depositados através da área sob estudo, enquanto as suas espessuras individuais podem mudar lateralmente;
 - 2) Extrato paralelo: espessura individual da menor escala não muda lateralmente → séries podem ser paralelas à base ou topo da unidade.





Modelo Estratigráfico

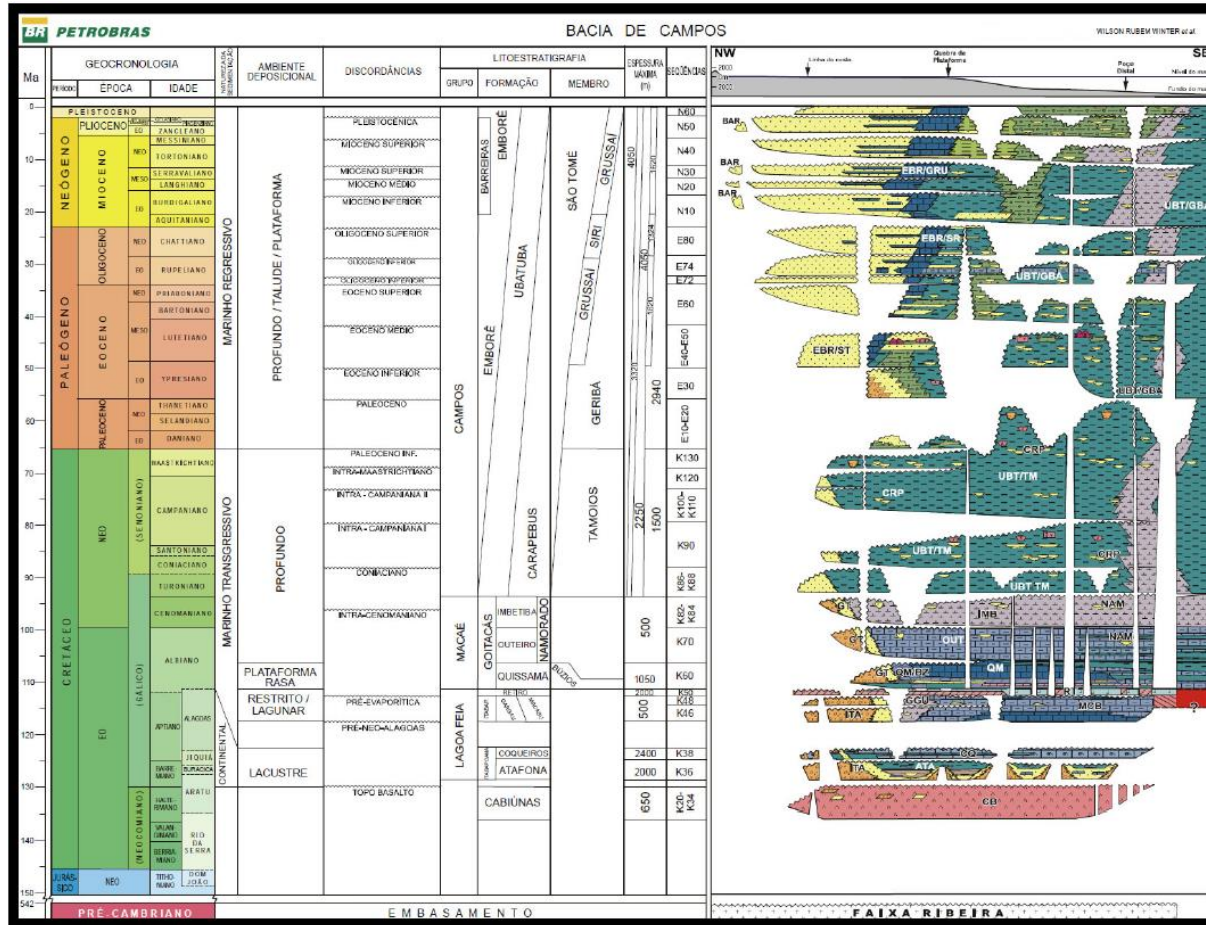
Exemplo de três superfícies estratigráficas de um modelo de um campo:





Modelo Estratigráfico

Exemplo real: carta estratigráfica da Bacia de Campos



Carta estratigráfica da Bacia de Campos (modificada de Winter *et al.*, 2007)



Estrutura da Aula

- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**





Modelo Litológico

- Modelos estrutural e estratigráfico: fornecem o arcabouço geométrico de referência do campo sob estudo;
- Modelo litológico: consiste em preencher ou popular a estrutura geométrica de referência com dados que descrevem as características litológicas da rocha e sua variabilidade espacial;



Muitos estudos podem ser feitos com sucesso
sem a modelagem explícita da distribuição litológica



Modelo Litológico

- Cálculos do volume de óleo *in place* e simulação numérica → requerem apenas o conhecimento das propriedades petrofísicas



Não existe necessidade de uma
detalhada descrição litológica



Mesmo assim, um detalhado modelo geológico representa
uma poderosa ferramenta para guiar a distribuição petrofísica



Distribuição litológica é mais previsível que uma
representação direta das propriedades petrofísicas



Modelo Litológico

- Na maioria dos casos, o modelo litológico é construído integrando:

Representação conceitual (modelo sedimentológico)

+

Fase de classificação (definição de fácies)

+

Abordagem probabilística da distribuição litológica (modelo estocástico)



Modelo Litológico

- Modelo sedimentológico conceitual:
 - Uma das primeiras etapas de um estudo integrado: definição do modelo deposicional do reservatório;



Descrição correta de sistemas sedimentológicos e deposicionais irá prover o geocientista com uma avaliação semi-quantitativa dos parâmetros geométricos de entrada no processo de modelagem estocástica;



Modelo Litológico

- Modelo sedimentológico conceitual:
 - Estudo sedimentológico é composto de duas fases principais:
 - Descrição e classificação de litofácies: normalmente alimentado pelos materiais de testemunhos disponíveis, classificando a rocha do ponto de vista litológico e deposicional;



Fácies identificadas irão constituir a construção de blocos elementares da arquitetura do reservatório



Modelo Litológico

- Modelo sedimentológico conceitual:
 - Definição do modelo deposicional: informações da fase anterior podem ser usadas para definir o modelo deposicional do reservatório;



Identificar os parâmetros sedimentológicos, bem como o processo deposicional relacionados à formação do reservatório



Modelo Litológico

- Classificação de fácies:
 - Fácies: são os blocos básicos da construção da modelagem geológica;
 - No passado, a descrição detalhada de fácies obtida nas localizações dos poços poderia ser estendido com dificuldades para o restante do reservatório;
 - Atualmente, o conceito de fácies como um componente básico do processo de caracterização do reservatório tem sido enfatizado;





Modelo Litológico

Possibilidade de criar uma detalhada arquitetura de fácies 3D



Representação mais realista da complexidade litológica do campo



Cálculos mais confiáveis da distribuição das propriedades petrofísicas através do reservatório





Modelo Litológico

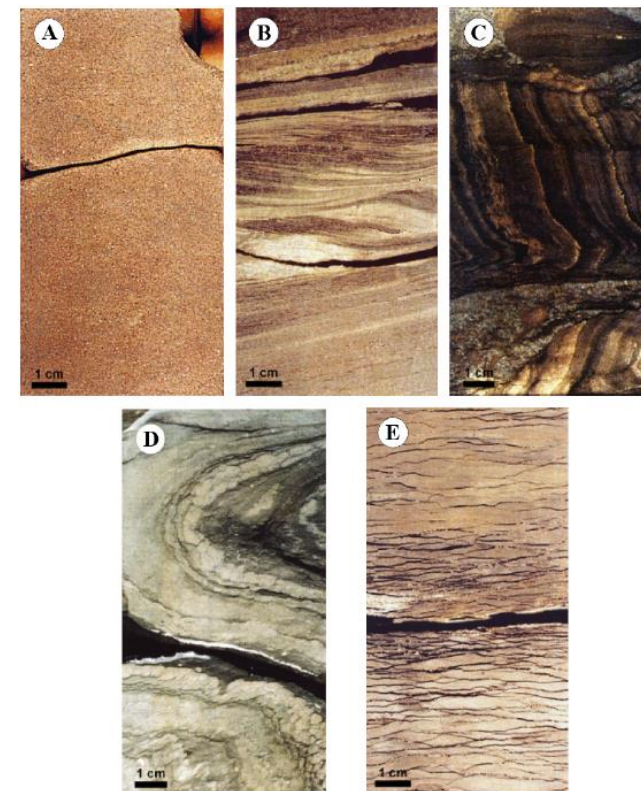
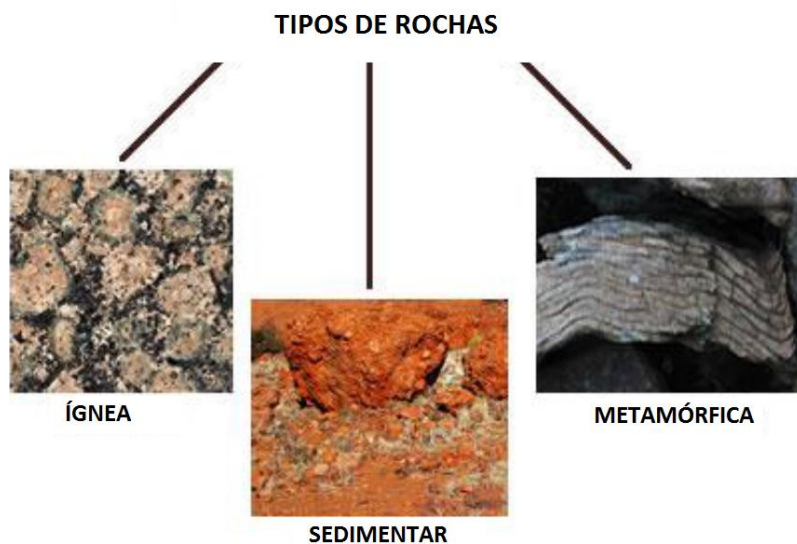
- Diferentes tipos de fácies tem sido utilizados na literatura técnica:
 - Litofácies ou petrofácies → definidos em amostras
 - Eletrofácies → definidos na perfilagem
 - Fácies sísmicas → definidos na sísmica





Modelo Litológico

- Diferentes tipos de fácies tem sido utilizados na literatura técnica:
 - Tipos de rocha e litotipos → grupo de rochas



Litotipos representativos da cada associação de fácies. (A) arenito médio maciço; (B) arenito/folhelho finamente interestratificado; (C) arenito cimentado com feições de escorregamento; (D) interlaminado lamoso deformado; e (E) folhelho radioativo. Imagens extraídas de Barboza (2005).



Modelo Litológico

➤ Identificação e classificação de fácies:

Maneira mais fácil de definir o esquema

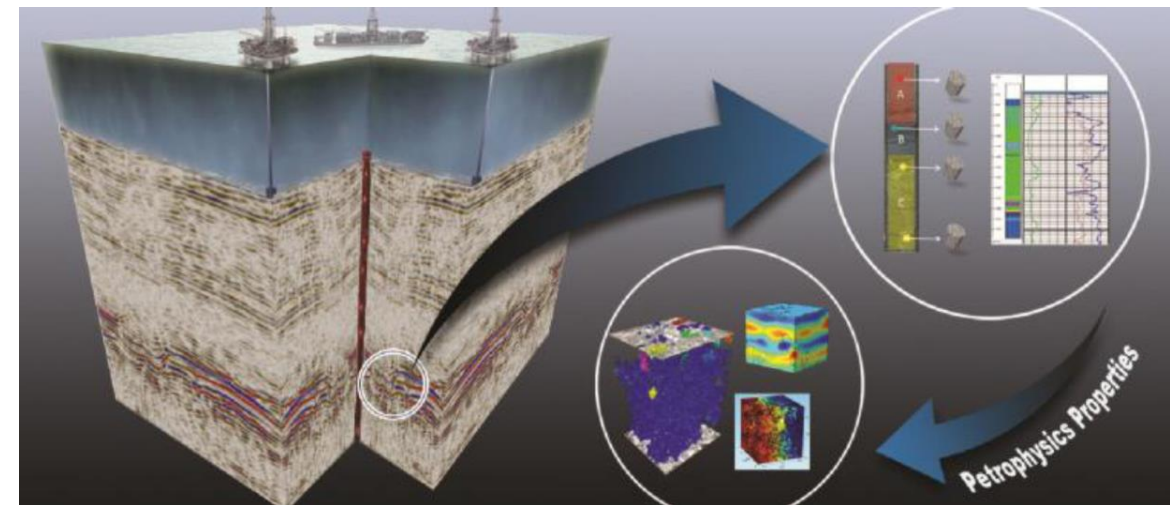
de classificação de fácies



Através de um processo mais

ou menos simplificado de reconhecimento

litológico em perfilagens





Modelo Litológico

- Passos básicos para um procedimento típico de classificação de fácies:
 - Definição de poços-chave: classificação construída usando um número limitado de poços-chave, isto é, poços que contêm:
 - Informações de testemunhos;
 - Informações completas e confiáveis de perfilagem;
 - Localização privilegiada em áreas representativas do reservatório;





Modelo Litológico

- Passos básicos para um procedimento típico de classificação de fácies:
 - Classificação de fácies:
 - Podem ser definidas nos testemunhos;
 - Através da descrição das características litológicas, deposicionais e petrofísicas das rochas;





Modelo Litológico

- Passos básicos para um procedimento típico de classificação de *facies*:
 - Caracterização de Fácies:
 - Fase de caracterização de *facies*: visa definir os parâmetros típicos litológicos, deposicionais e petrofísicos para cada *facies*;
 - Quanto maior for o número de perfis disponíveis, e sua qualidade,

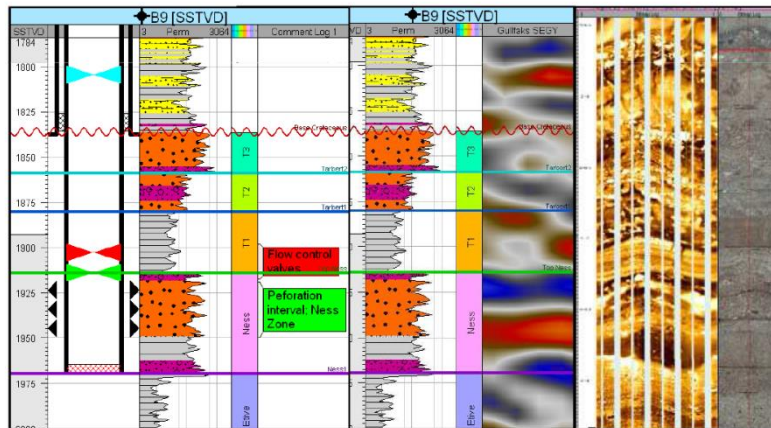
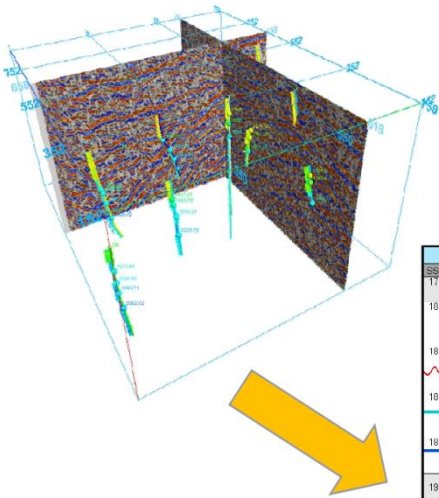


menos informação será perdida e mais detalhado será o esquema resultante de classificação de fácies



Modelo Litológico

- Passos básicos para um procedimento típico de classificação de fácies:
 - Agregação de outros poços:
 - Esquema de classificação final pode se estender aos poços remanescentes, que tipicamente têm informações antigas ou incompletas de perfilagem;

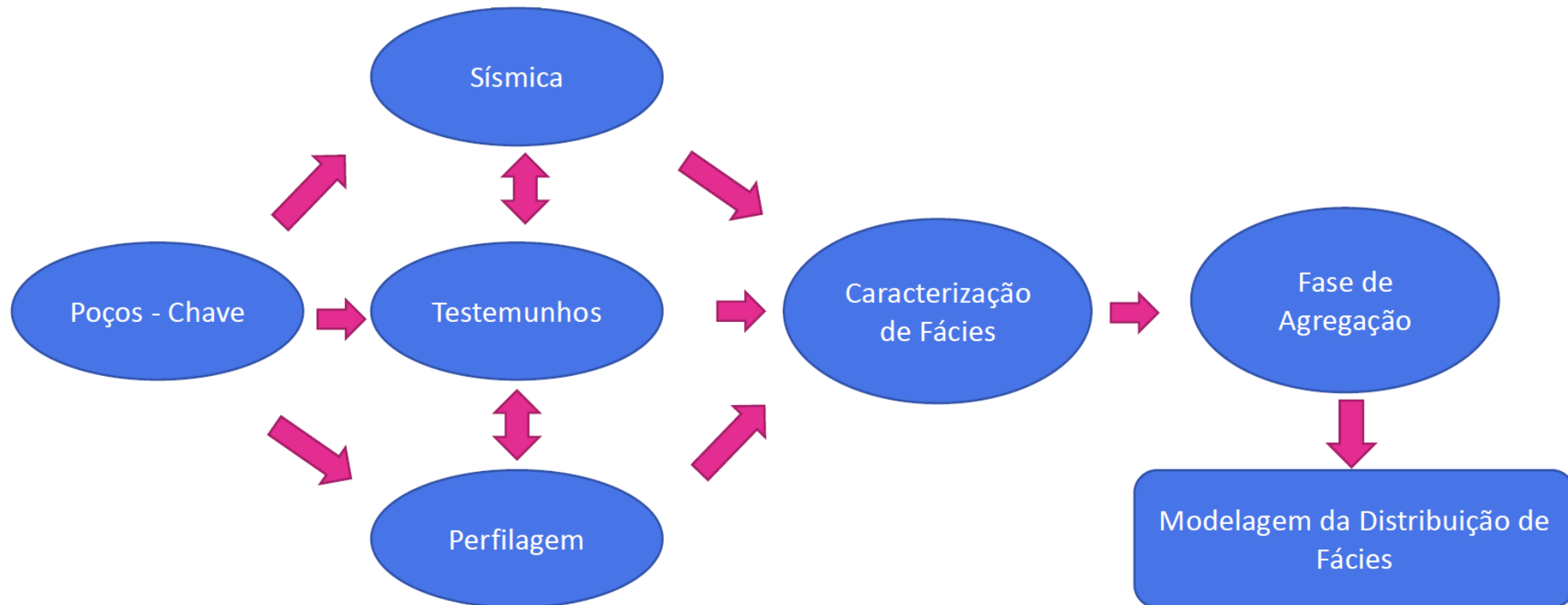




Modelo Litológico

➤ Passos básicos para um procedimento típico de classificação de fácies:

➤ Processo Simplificado de Classificação de Fácies:





Modelo Litológico

- Passos básicos para um procedimento típico de classificação de fácies:
 - Conceito de Fácies:
 - Com poucas exceções, a macroescala é o menor domínio para a descrição e caracterização do reservatório;
 - Suas possíveis aplicações após a caracterização:
 - Modelagem 3D;
 - Interpretação quantitativa de perfis;
 - Transferência de escala;
 - Definição dos tipos de rochas;





Modelo Litológico

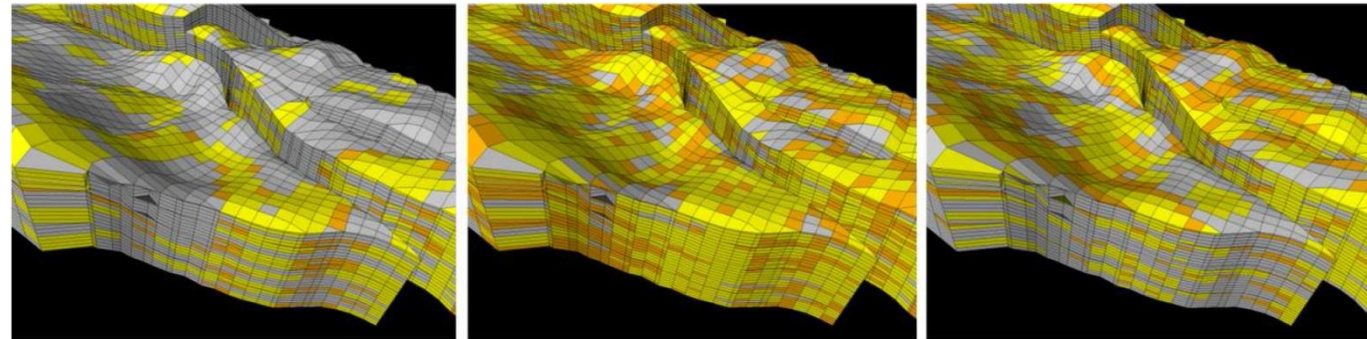
- Esquema de classificação de fácies: quando bem definido e caracterizado → ferramenta essencial para os estudos integrados;
 - Abordagem estocástica;
 - Modelagem baseada em pixel e objeto;
 - Avaliação da incerteza geológica;





Modelo Litológico

- Abordagem estocástica:
 - Modelagem estocástica: geração de arquiteturas geológicas sintéticas e/ou distribuições de propriedades petrofísicas;
 - São condicionados à disponibilidade de informações:
 - Quantitativas (hard);
 - Qualitativas (soft);





Modelo Litológico

- Abordagem estocástica:
 - Alguns pontos observados nessa abordagem são:
 - Conhecimento geológico;
 - Modelo estrutural;
 - Modelo petrofísico;
 - Dados sísmicos;
 - Dados dinâmicos (testes e produção dos poços);





Modelo Litológico

- Avaliação da incerteza geológica:
 - Fontes de incerteza em um modelo geológico podem estar relacionadas:
 - À qualidade dos dados e da interpretação;
 - Aos modelos estrutural e estratigráfico;
 - Ao modelo estocástico e seus parâmetros;
 - Às realizações equiprováveis;

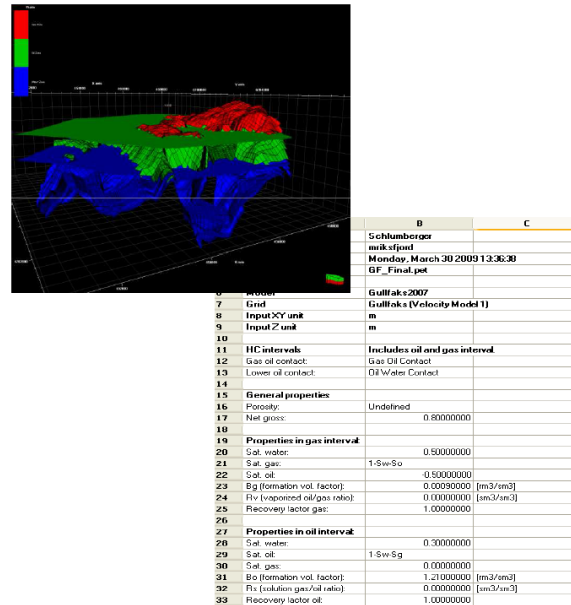




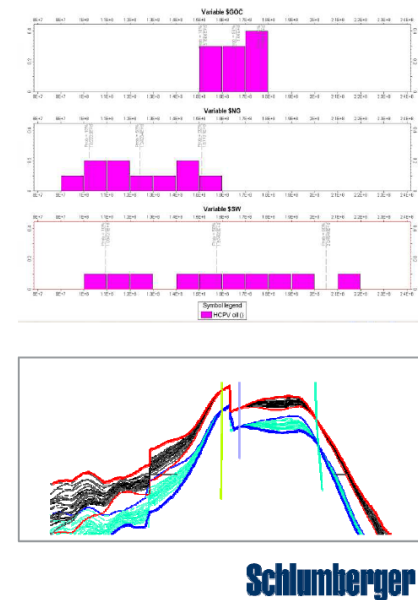
Modelo Litológico

- Avaliação da incerteza geológica:
 - Uma das aplicações mais importantes da quantificação de incerteza está relacionada ao cálculo de reservas de óleo (óleo in place);

Volume Calculation



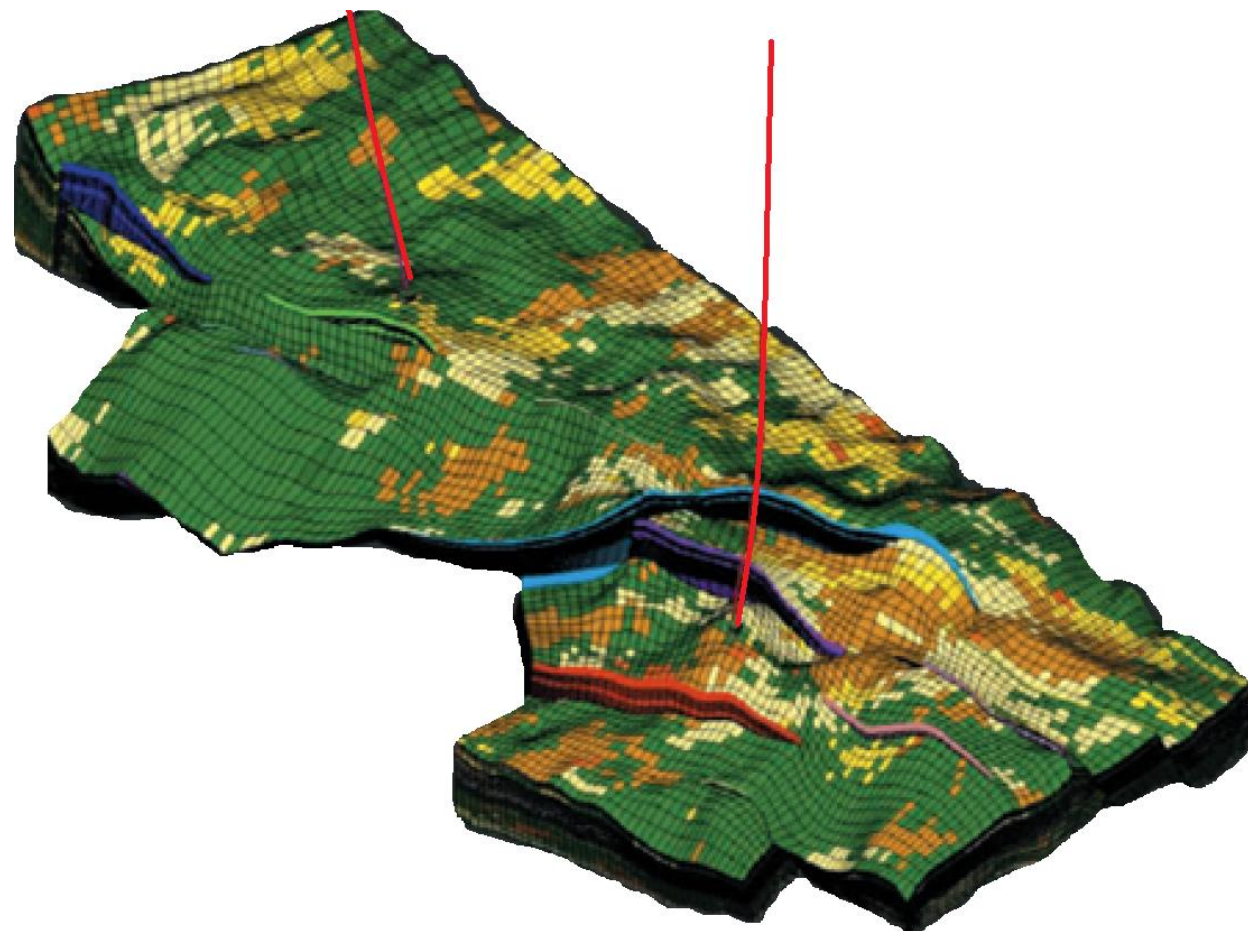
Uncertainty Analysis





Modelo Litológico

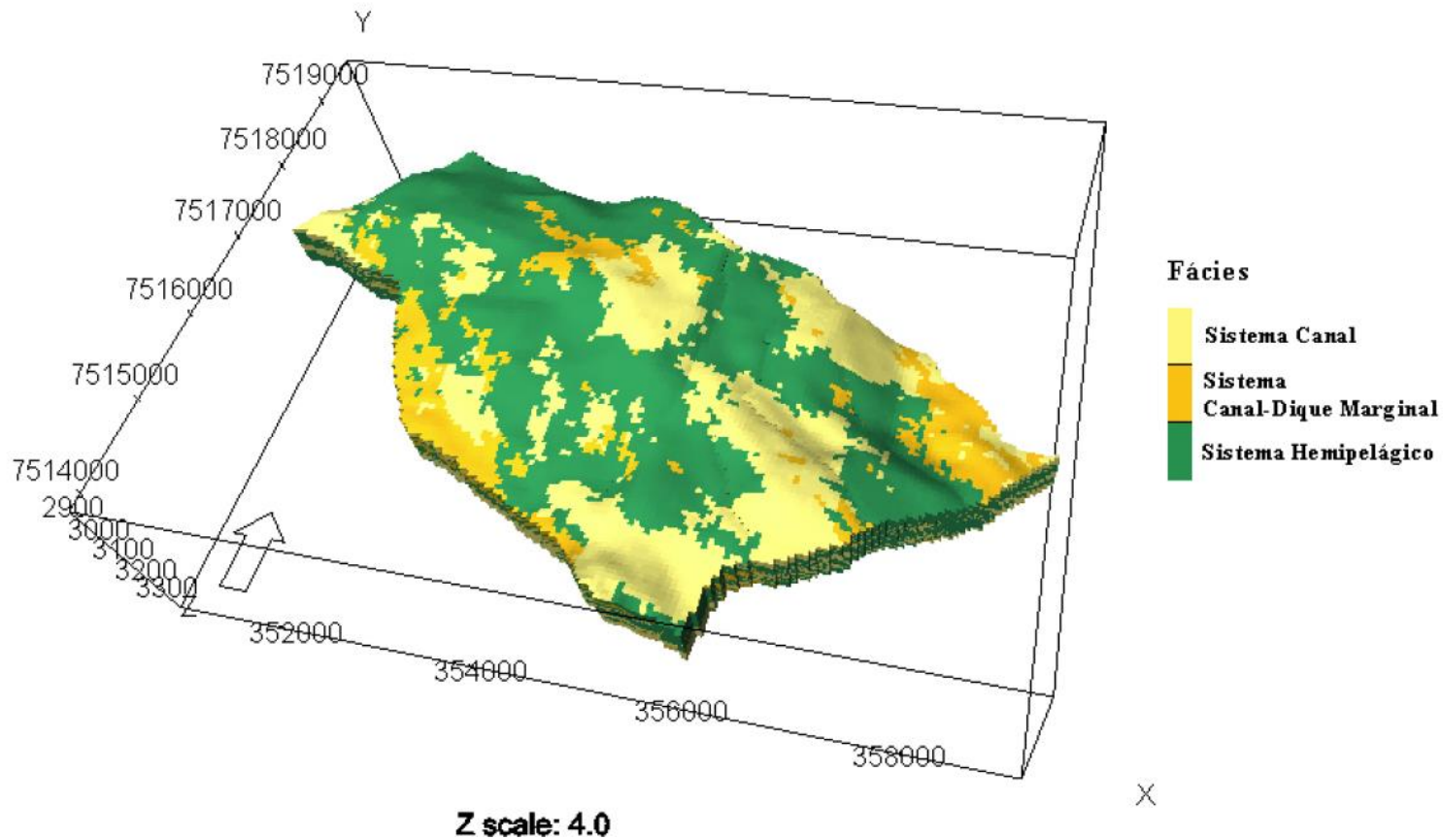
- Exemplo de um modelo litológico estocástico:





Modelo Litológico

➤ Exemplo de um campo real: modelo de fácies

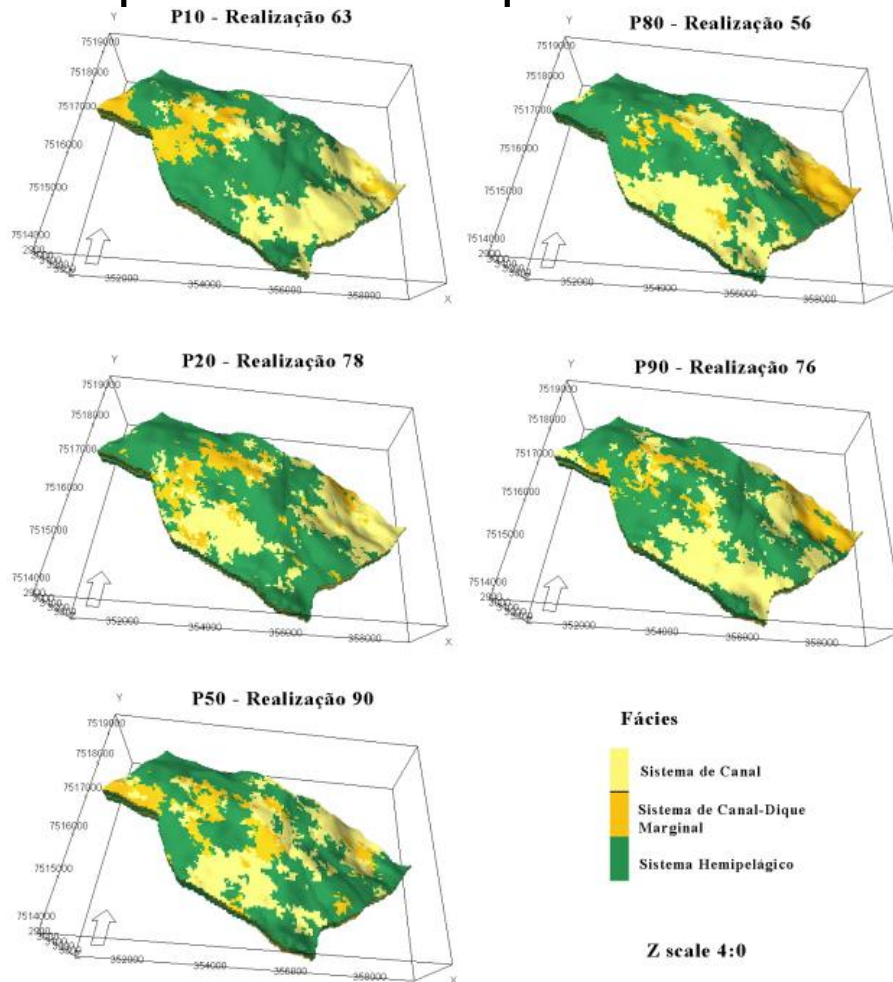


Modelo de fácies da primeira realização gerado para o Campo de Namorado



Modelo Litológico

➤ Exemplo de um campo real: modelagem de fácies sob incerteza



Cenários de incerteza do modelo de fácies



Estrutura da Aula

- **Introdução**
- **Modelo Estrutural**
- **Modelo Estratigráfico**
- **Modelo Litológico**
- **Heterogeneidade do Reservatório**



Heterogeneidade do Reservatório

- Modelos estrutural, estratigráfico e litológico



Fornecem ao geocientista uma caracterização detalhada de toda a complexidade geológica do reservatório

- Essa caracterização ainda pode provar ser insatisfatória do ponto de vista dinâmico do campo:



Pode não ter levado em conta um dos principais aspectos relacionados ao fluxo do fluido → heterogeneidade do reservatório



Heterogeneidade do Reservatório

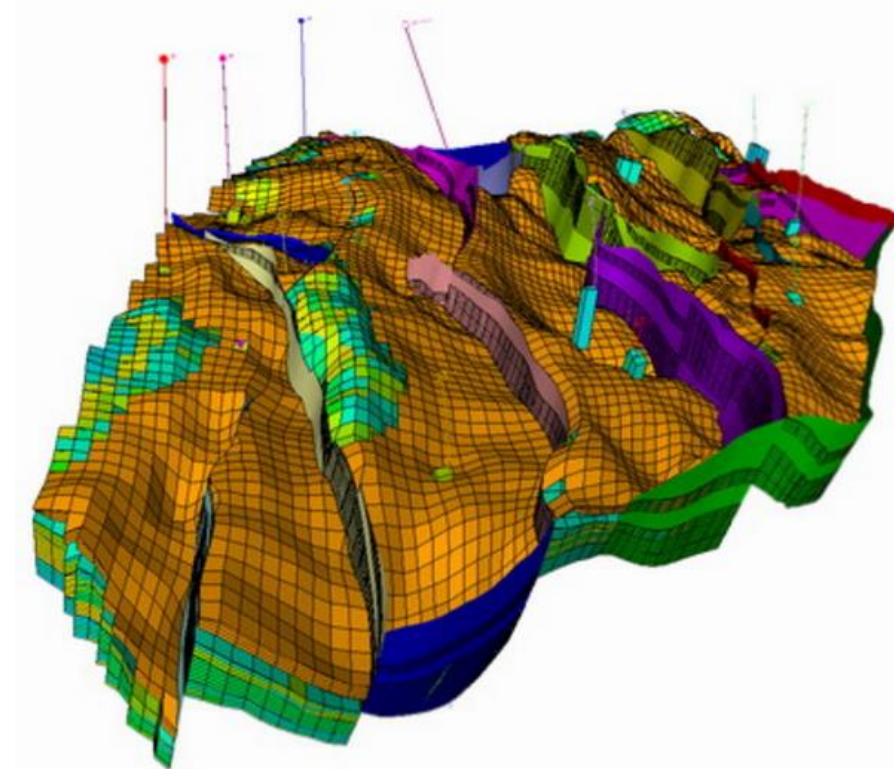
- Caracterização das heterogeneidades do reservatório



Problema interdisciplinar



Requer a cooperação dos diferentes profissionais,
do geofísico ao engenheiro de reservatório





Heterogeneidade do Reservatório

➤ Classificação das heterogeneidades do reservatório

Diferenças na litologia, textura e separação, presença de fraturas, falhas e efeitos diagenéticos de diferentes natureza



Heterogeneidade do reservatório



Considerável impacto na eficiência do processo de deslocamento
→ Saturação de óleo residual e o fator de recuperação final



Heterogeneidade do Reservatório

➤ Classificação das heterogeneidades do reservatório

Podem estar baseadas na escala, origem genética e a influência no fluxo do fluido

Sete tipos básico de heterogeneidades podem ser identificadas



em diferentes escalas de magnitude:
possuindo origem estratigráfica e estrutural



Heterogeneidade do Reservatório

- Heterogeneidades de pequena escala
 - Escala de poro (microescala): heterogeneidades relacionadas à ocorrência de uma mistura de tipos de poros;
Ex: presentes em sistemas carbonáticos → porosidade primária
porosidade secundária
 - Escala de testemunhos (macroescala): heterogeneidades relacionadas à laminação e estratificação cruzada
Ex: lâminas → unidade deposicional → intrinsecamente homogêneas
conjunto de lâminas ou camas → significativo grau de heterogeneidade



Heterogeneidade do Reservatório

- Identificação das heterogeneidades do reservatório
 - Principais técnicas para identificar as heterogeneidades:
 - Geofísica: levantamentos de dados de sísmica 2D e 3D → mais importantes no início da avaliação do campo → posteriormente podem ser usadas na Perfilagem Sísmica Vertical e Sísmica de Poço para fornecer informações de áreas específicas do reservatório;
 - Dados dos fluidos: diferenças nas profundidades dos contatos dos fluidos, variações espaciais do óleo e na composição da água → podem indicar a compartimentação do reservatório;





Heterogeneidade do Reservatório

- Identificação das heterogeneidades do reservatório
 - Principais técnicas para identificar as heterogeneidades:
 - Testes de poços: testes de pressão transiente → avaliar a integridade do poço e danos. Dados de boa qualidade → informações da geometria interna do reservatório;
 - Dados de produção: desempenho da produção do poço → mais importante dado acerca da compartimentação do reservatório;



Infelizmente esses dados estão disponíveis só na fase de desenvolvimento do campo → relevantes na fase de recuperação secundária



Referência Bibliográfica

- **Integrated Reservoir Studies**

Luca Cosentino

Editions Technip, 2001

Institut Français du Pétrole Publications