Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

PMI-1841 ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO

AULA 19 – EXERCICIOS DE REVESTIMENTO
AULA 20 – PERFURAÇÃO DIRECIONAL

Wilson Siguemasa Iramina

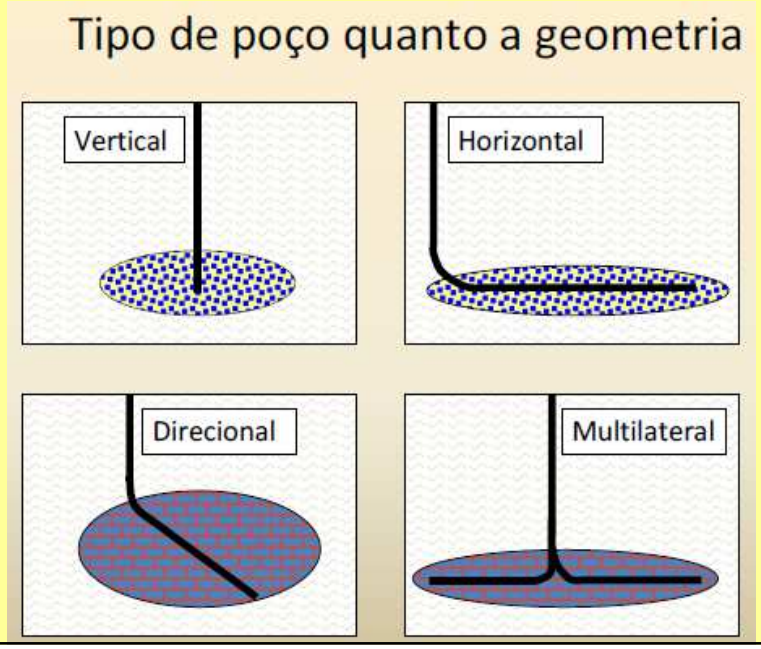
Santos, novembro de 2016

O que é perfuração direcional?

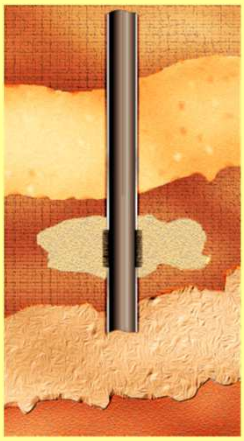
É o processo de direcionar um poço ao longo de uma determinada trajetória em direção ao um alvo pré-determinado.

Basicamente ela se refere à perfuração em uma direção não-vertical. Mesmo os furos “verticais” às vezes necessitam de técnicas de perfuração direcional.

POÇOS DIRECIONAIS E HORIZONTAIS



Poço Vertical



- Zero grau ou apenas poucos graus da vertical verdadeira.
- Geometria preferida porque simplifica o processo de completação e avaliação do reservatório.

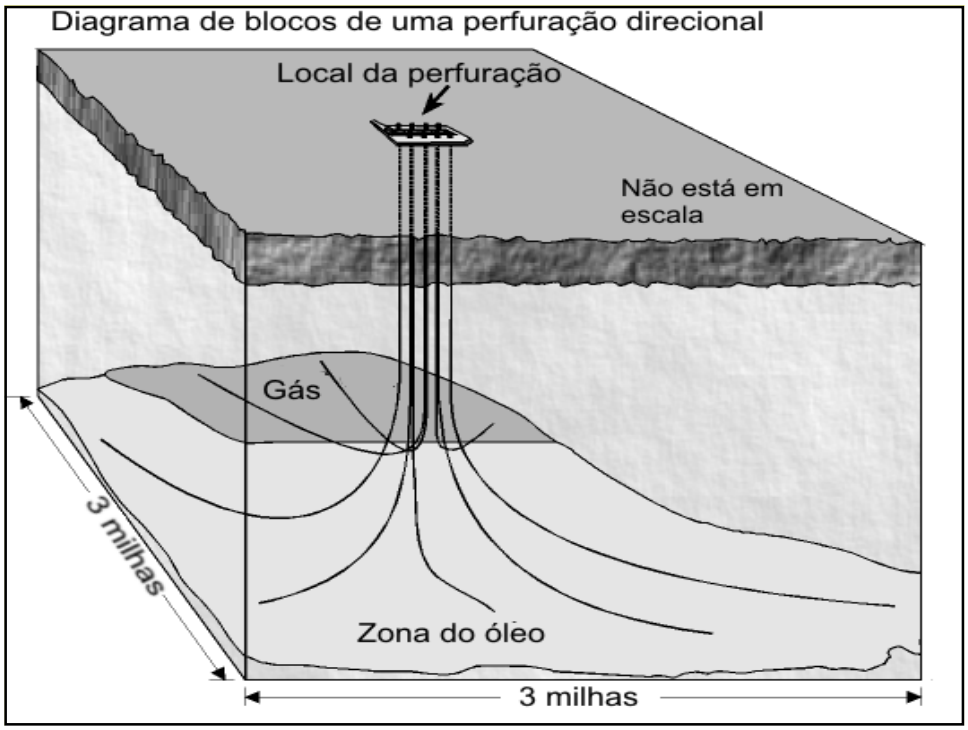
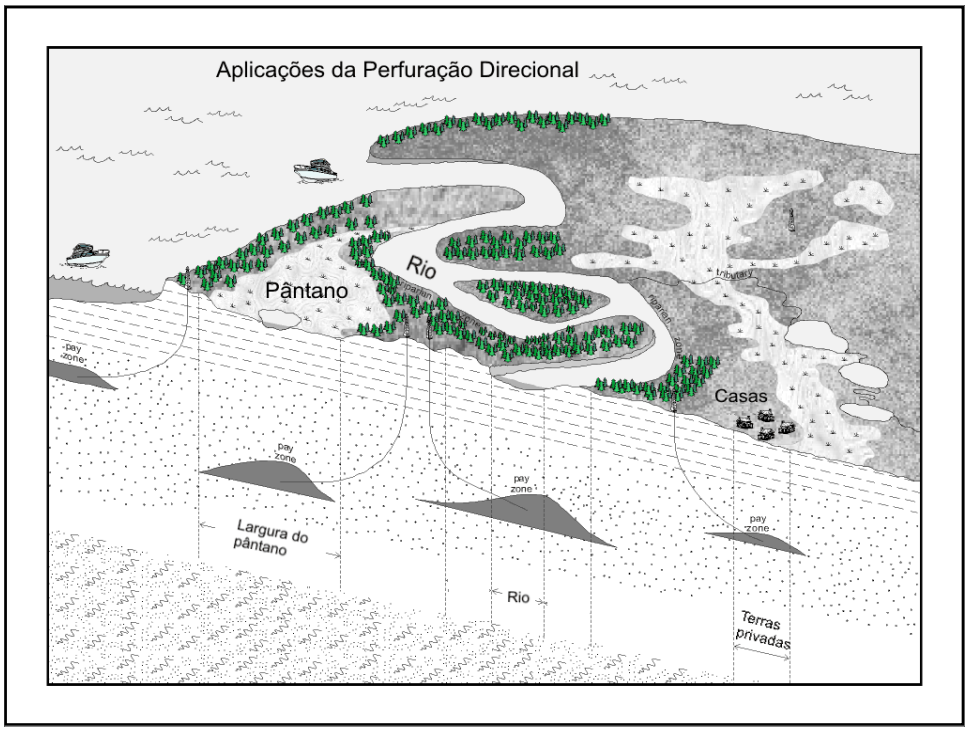


Diagrama de blocos de uma perfuração direcional
Local da perfuração
Não está em escala
Gás
3 milhas
Zona do óleo
3 milhas


Aplicações da Perfuração Direcional
Rio
Pântano
Casas
pay zone
Largura do pântano
Rio
Terras privadas

PERFURAÇÃO E PLANEJAMENTO DIRECIONAL DE POÇOS

1. INTRODUÇÃO

- Não existe poço rigorosamente vertical, havendo sempre um desvio natural da vertical;
- Para desvios maiores do que 5 graus devem ser tomadas ações corretivas para reduzir a sua inclinação;
- Poços tortuosos significam perdas

Início da perfuração rotativa, por volta de 1850: permitiu que os perfuradores tivessem grande controle para alcançar um alvo específico

Outros avanços dependeram do desenvolvimento de sistemas de levantamento precisos e outros serviços no furo.

Perfuração direcional controlada começou em fins de 1920, quando operadores tentavam manter os furos verticais, que teimavam em entortar, tentavam contornar obstáculos ou perfuravam poços de petróleo para tentar controlar os blowouts.

Havia inclusive casos de perfurações que ultrapassavam os limites da propriedade para drenar reservas de óleo e gás de forma ilegal.

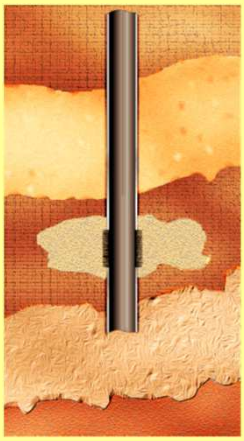
A determinação da inclinação de um furo de poço era um problema-chave na perfuração direcional até a invenção dos equipamentos precisos de medição.

Os levantamentos direcionais fornecem pelo menos 3 elementos vitais de informação: a profundidade medida, a inclinação do furo e o azimute (ou direção da bússola) do furo. A partir daí pode-se calcular a localização do furo.

Geometrias dos poços

- Verticais
- Poço Direcional ou Desviado
- Poço Horizontal
- Poço de longo alcance (Extended Reach Well)
- Poço Multilateral ou multi-ramificado

Poço Vertical

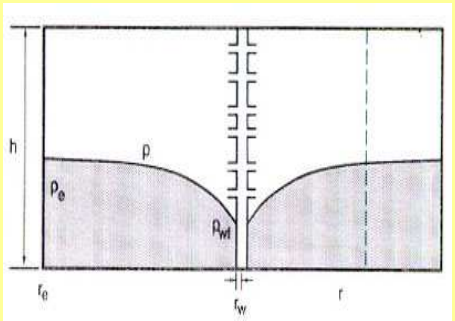


- Zero grau ou apenas poucos graus da vertical verdadeira.
- Geometria preferida porque simplifica o processo de completação e avaliação do reservatório.

Limitações dos poços verticais

- Queda maior de pressão nas regiões próximas do poço em comparação ao poço horizontal.
- Área de drenagem reduzida, especialmente em formações apertadas (baixa permeabilidade).
- Pode exigir grande número de poços para desenvolver um campo.

Distribuição da Pressão



- A pressão no poço é mais baixa e aumenta até a pressão de reservatório estabilizada a alguma distância do poço.
- A maior queda de pressão ocorre na "zona próxima" ao poço.

Poços direcionais ou desviados

- Poços perfurados em ângulos de 45-60 graus ou mais, a partir da vertical verdadeira.
- Usado frequentemente como poços de plataforma offshore para 'atingir' distâncias maiores a partir da plataforma.
- Diversos estilos de trajetória usados

Causas

- variação das características das formações (dureza, inclinação, etc.);

- mudança brusca no peso sobre a broca, diâmetro de poço grande para os comandos usados;

- perfuração com coluna não estabilizada e desbalanceamento dos parâmetros de perfuração (peso sobre a broca e rotação)

Mudanças bruscas na trajetória do poço

- problemas sérios para a perfuração;

- desgaste por fadiga dos tubos de perfuração;

- formação de chavetas (sulcos) no trecho que podem reter os comandos e impedir a retirada da coluna;

- dificultam a descida de colunas de revestimentos.

PERFURAÇÃO DE POÇOS DIRECIONAIS

Técnica (intencional) de desvio da trajetória de um poço da vertical, para atingir objetivos que não se encontram diretamente abaixo da sua locação na superfície.

Finalidades

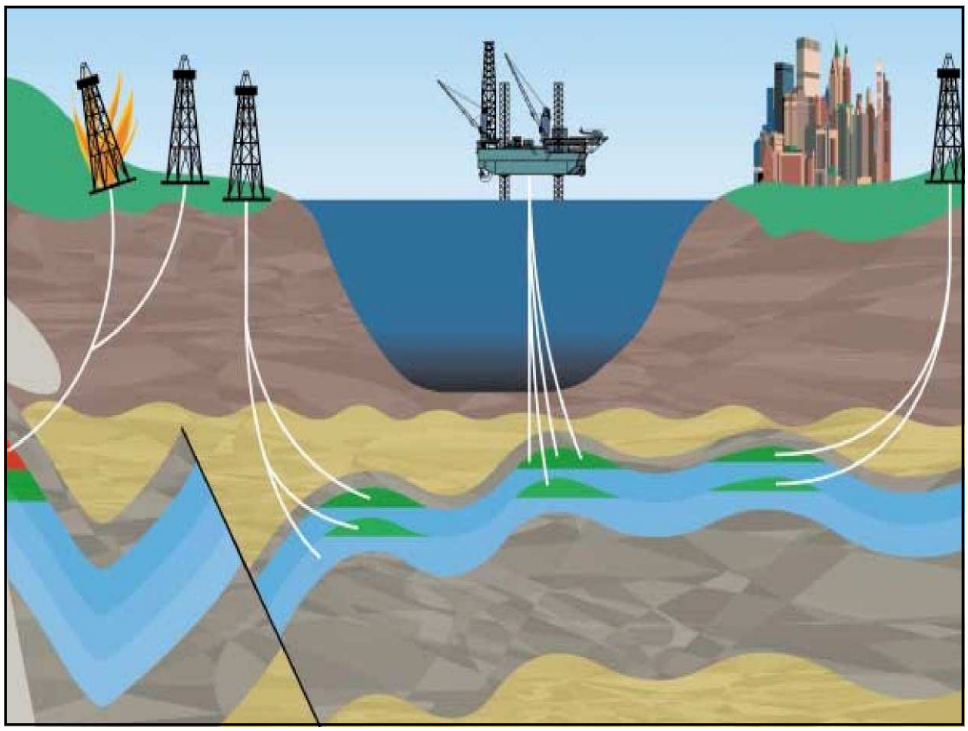
a) controlar um poço em blowout através de perfuração de poços de alívio;

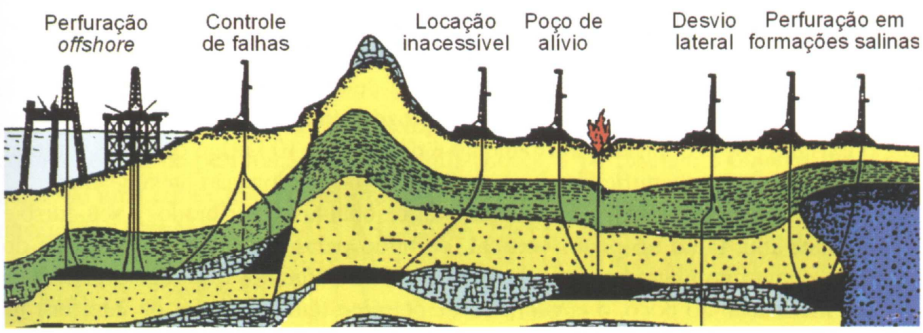
b) atingir formações produtoras que estejam abaixo de locações inacessíveis, como rios, lagos, cidades, etc.;

c) desviar a trajetória do poço de acidentes geológicos como domos salinos e falhas;

d) perfurar vários poços de um mesmo ponto, como é o caso da produção através de plataformas marítimas;

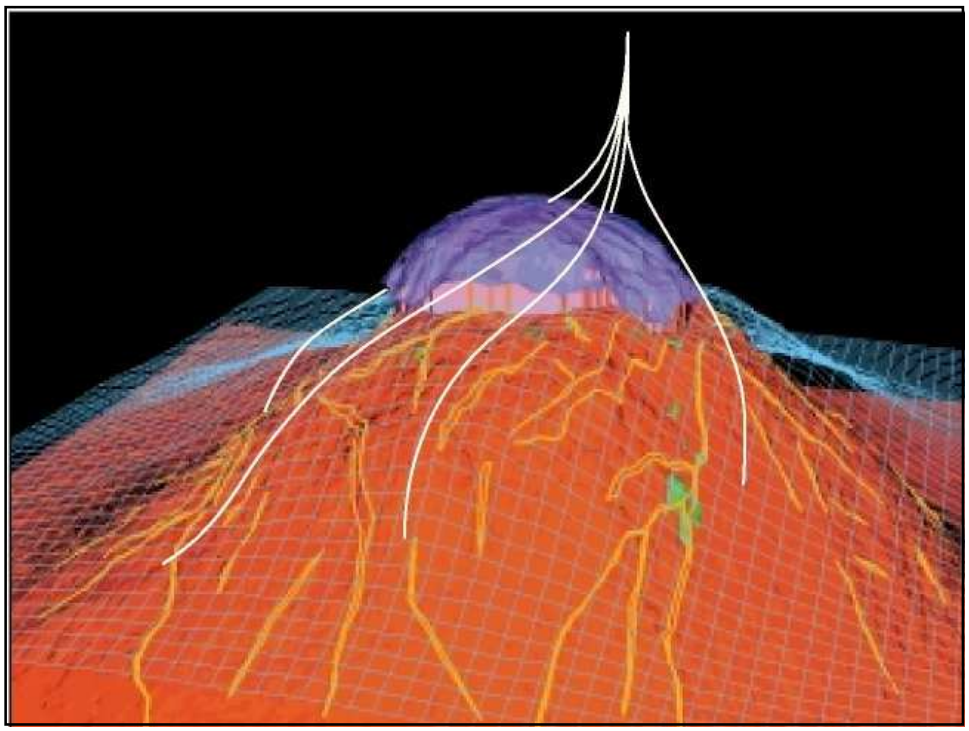
e) desviar poços que tiveram o trecho final perdido por problemas operacionais, como, por exemplo, a prisão da coluna de perfuração ou pescaria.





Causas de poços direcionais.

f) Poços horizontais: aumento da área de drenagem do reservatório, aumentando com isso a produção do campo.



a) Elementos e planejamento de um poço direcional

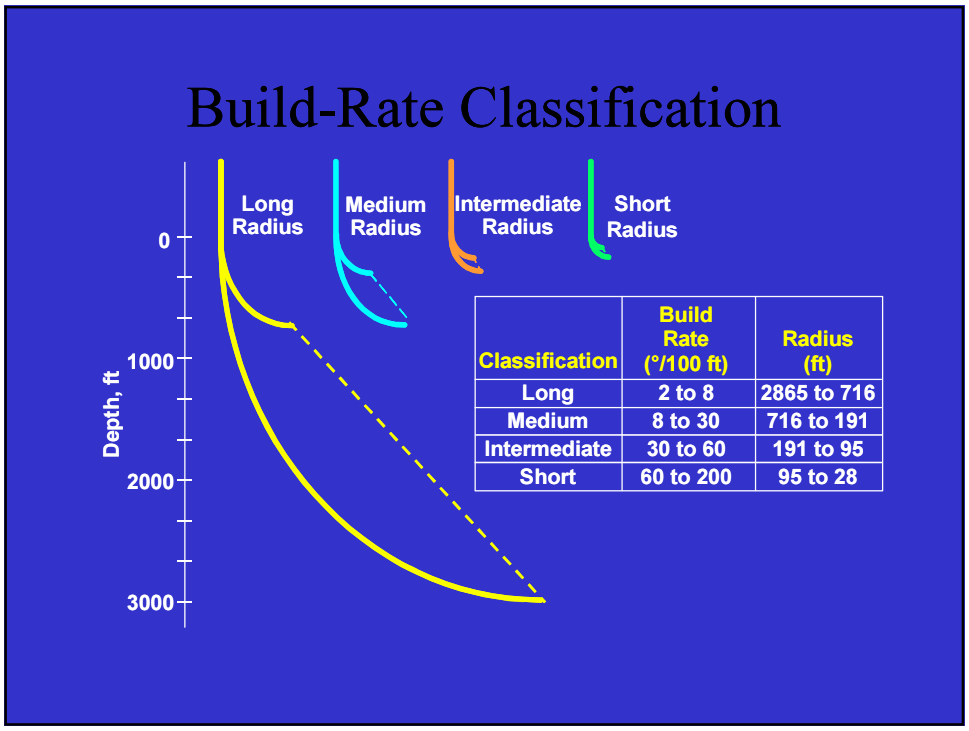
Os principais elementos de um poço direcional são a **profundidade** do ponto de desvio **KOP** (kickoff point), o **afastamento** horizontal, a **direção** locação-objetivo, a **profundidade vertical** final do poço e a **inclinação** do trecho reto inclinado

Tipos de poços direcionais

Tipo I (build and hold) – o ponto de desvio é raso e o trecho inclinado prossegue até atingir o objetivo;

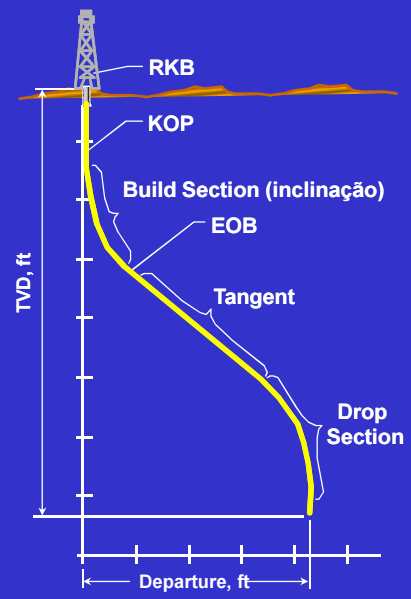
Tipo II (build, hold and drop)– o ponto de desvio é também raso e o trecho inclinado prossegue até se conseguir o afastamento lateral projetado. O poço é trazido para a vertical e assim prossegue até atingir o objetivo;

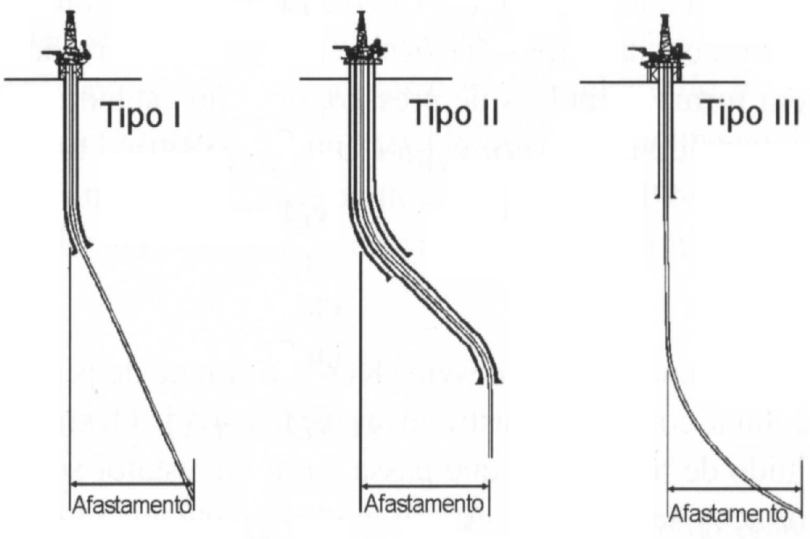
Tipo III (build)– semelhante ao Tipo I, porém o objetivo é atingido na fase de crescimento de inclinação. O KOP é feito a maiores profundidades.



Classification	Build Rate (°/100 ft)	Radius (ft)
Long	2 to 8	2865 to 716
Medium	8 to 30	716 to 191
Intermediate	30 to 60	191 to 95
Short	60 to 200	95 to 28

Terminologia do perfil do poço direcional





Tipos de poços direcionais.

Poço horizontal

Tipo particular de poço direcional que proporciona aumento da produtividade e da recuperação final de hidrocarbonetos. Possui um trecho reto que é perfurado horizontalmente dentro da formação produtora, aumentando assim a sua área de drenagem no reservatório.

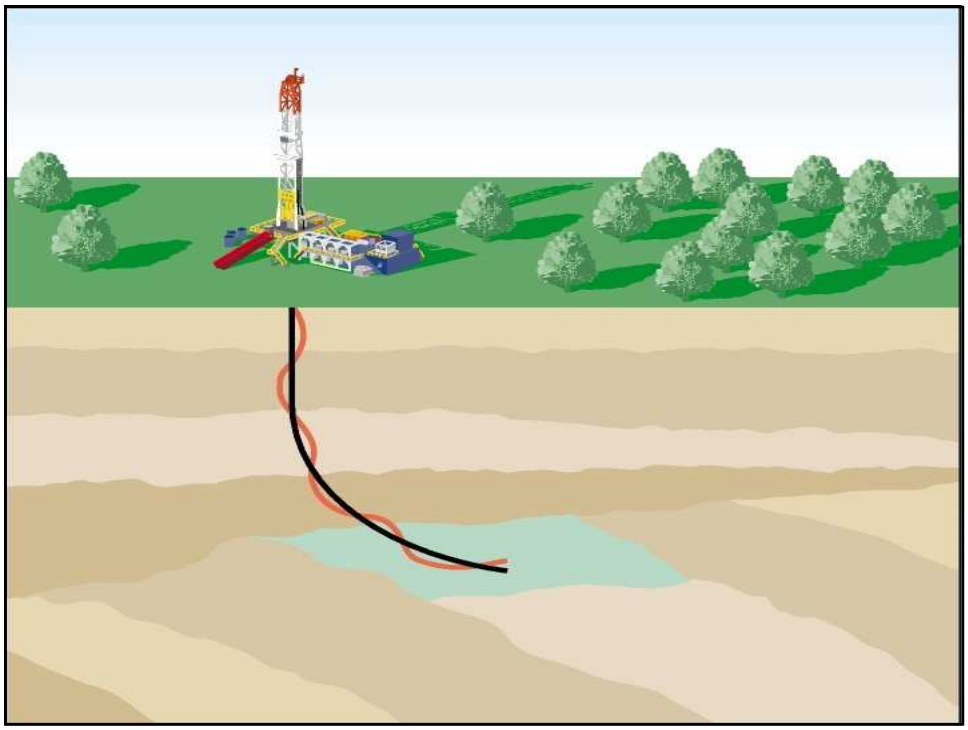
Poços de longo alcance (extended reach wells)

O objetivo está bastante afastado horizontalmente da sua locação na superfície (> 10 km)

Poços multilaterais

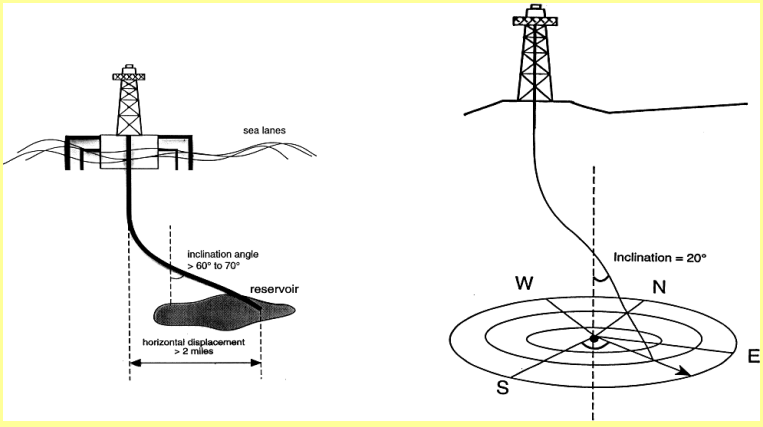
Poços ramificados a partir de uma mesma locação na superfície.

Após a decisão sobre o tipo de poço direcional a ser perfurado, o seu curso é então planejado, tanto no plano vertical, definido pelas posições da locação e do objetivo, quanto do plano horizontal. Através de instrumentos que registram a direção e a inclinação do poço, o engenheiro de petróleo tem condições de interferir na trajetória do poço e tomar providências para executa-lo conforme projetado.



CONTROLE DA DIRECIONALIDADE

Utilização de técnicas de posicionamento espacial para o controle da direção dos poços:

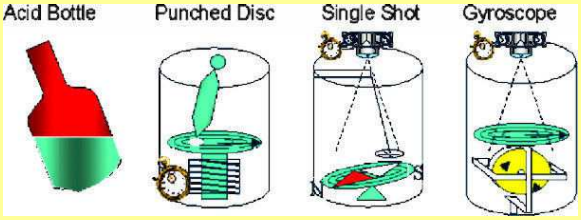


CONTROLE DA DIRECIONALIDADE

Existem diversos tipos de equipamentos para efetuar registros direcionais, podendo ser classificados como equipamentos de registros simples, múltiplos e contínuos.

Cada registro direcional traz como informações principais a inclinação e a direção do poço na estação onde foi tomado.

Além dessas informações o registro poderá indicar a orientação da face da ferramenta (tool face), temperatura no fundo do poço, existência de interferência magnética, etc.

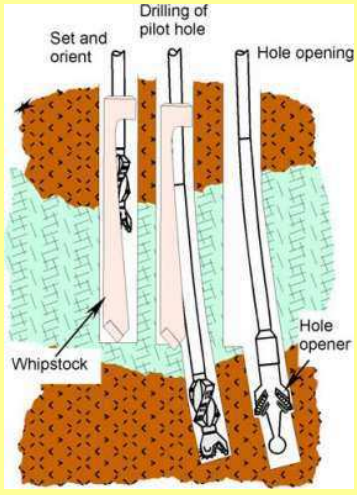


Técnicas de controle da direcionalidade

MÉTODOS DE DEFLEXÃO

WHIPSTOCK

Trata-se de uma cunha de aço temperado com a extremidade em forma de ponta, com uma ranhura côncava que guia a broca do whipstock de encontro à parede do poço.



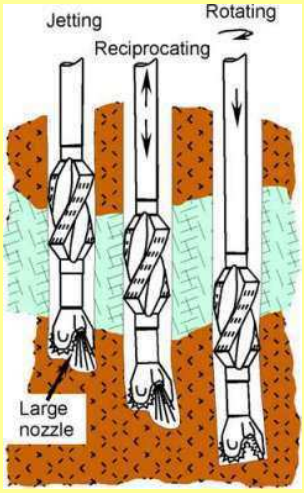
MÉTODOS DE DEFLEXÃO

JETTING (JATEAMENTO)

Quando a formação é muito mole, este sistema de deflexão pode ser usado.

Brocas tricônicas são usadas na operação, com um ou dois dos jatos maiores que o terceiro.

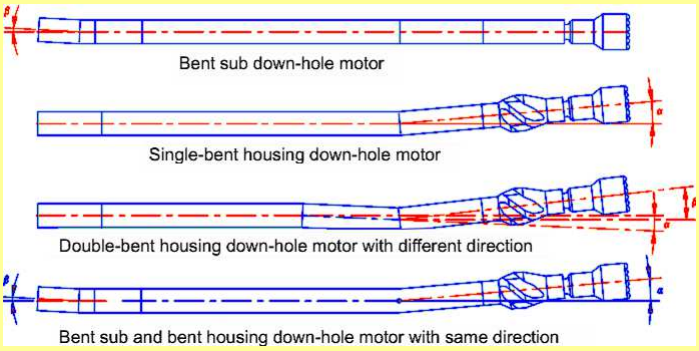
A força hidráulica "lava" o poço na direção em que a vazão é maior, permitindo a deflexão do mesmo.



MÉTODOS DE DEFLEXÃO

STEERABLE SYSTEMS

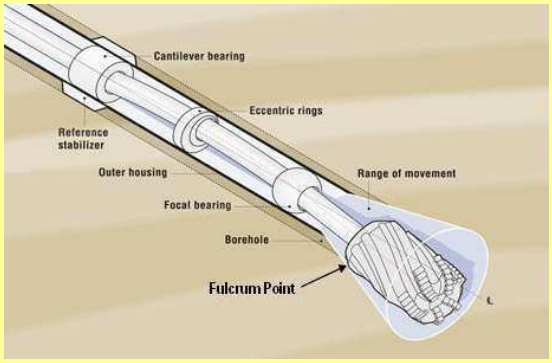
Neste método a deflexão é obtida através de um sub torto (bent sub) posicionado acima de um motor de fundo ou através da deflexão no próprio corpo (bent housing) do motor.



MÉTODOS DE DEFLEXÃO

ROTARY STEERABLE TOOL (RST)

O RST é uma ferramenta defletora que é conectada imediatamente acima da broca, permitindo uma alteração controlada da trajetória do poço em qualquer direção e inclinação, sem que seja necessário parar a rotação da coluna.



Equipamentos para a execução de um poço direcional

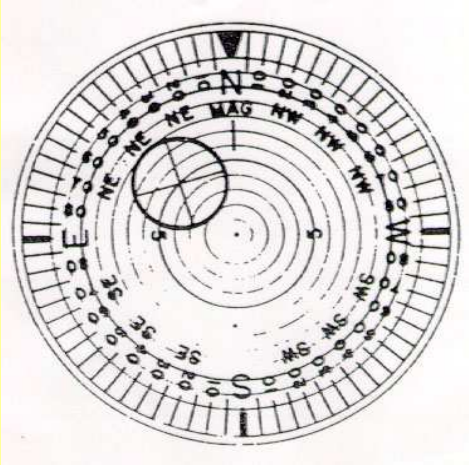
a) Motor de fundo

É a ferramenta mais usada para iniciar a deflexão do poço. Como a broca gira sem girar a coluna, um sub torto (bent sub), que apresenta uma ligeira deflexão entre o eixo do corpo e o eixo da rosca, é colocado no topo do motor. Por orientação deste sub, a broca é apontada para a direção desejada com a coluna mantida parada.

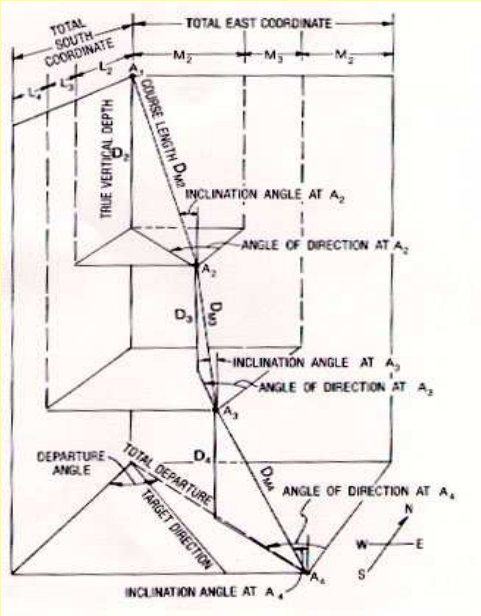
Como saber para onde estamos indo?

- Faça uma "localização topográfica" periodicamente na inclinação e azimute do poço e calcule a trajetória baseado no acúmulo de pontos de topografia.
- A inclinação é o ângulo do furo em relação à vertical verdadeira.
- O azimute é a direção horizontal (ângulo) normalmente em relação ao norte verdadeiro.

Topografia simples



Pontos topográficos ao longo da trajetória do poço



b) Instrumentos de registro e orientação

Single-shot (magnetic single-shot)

Lançado por dentro da coluna, indo se alojar em um comando especial conhecido como “k-monel”, de material não magnético acima da broca para registrar, numa única foto, a direção e a inclinação do poço, conseguidos através de uma bússola e um pêndulo, respectivamente. Após a tomada da foto, o instrumento é retirado a cabo para a interpretação da leitura em superfície.

Multi-shot

Registra num grande número de fotos por possuir um pequeno filme fotográfico. O instrumento é descido pelo interior da coluna até alojar-se no “K-monel”.

Giroscópio

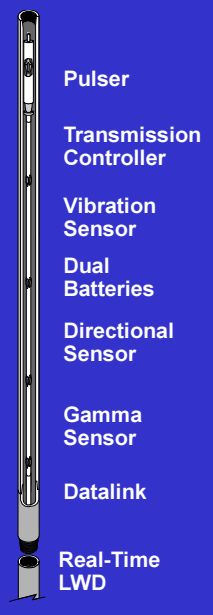
Outros instrumentos de orientação

MWD (measurement while drilling) – instrumento de medição contínua de direção e inclinação, porém os dados são transmitidos por pulsos de pressão através da massa fluida. O MWD permanece na coluna durante a perfuração rotativa convencional ou com motor de fundo. Para se obter um registro de inclinação e direção deve-se parar a perfuração e proceder ao acionamento dos sensores através da variação da vazão da bomba de lama. Proporciona maior precisão na operação devido ao seu sistema da medição mais acurado além de permitir o acompanhamento contínuo da posição da face da ferramenta (tool face).

Steering tool - equipamento de medição contínua de direção e inclinação, cujos dados são transmitidos à superfície por cabo elétrico. Os sensores de direção podem ser magnéticos ou giroscópicos. Como é uma ferramenta operada a cabo, ela só é utilizada quando perfurando com motor de fundo (coluna parada).

Measurement-While-Drilling

- **Power systems**
- **Telemetry systems**
- **Directional systems**



c) Comandos não-magnéticos (K-monel)

É um comando com permeabilidade magnética baixa, usado para evitar a interferência magnética da coluna de perfuração nos registros dos instrumentos magnéticos. O instrumento colocado dentro deste comando sofre apenas a ação do magnetismo terrestre, porém ele não impede a interferência de corpos magnetizados que possam estar por perto

c) Operação de desvio e acompanhamento direcional

- atingir o KOP e retirar a coluna de perfuração;

- outra coluna com motor de fundo operado pela circulação do fluido de perfuração;

- sub-torto: desviar o motor de fundo para a direção desejada;

- a coluna é orientada também para direção desejada;

O acompanhamento é feito da seguinte forma:

-Obter registros de inclinação e direção a diferentes profundidades medidas;

- calcular a trajetória do poço. Após cada registro direcional, calculamos as projeções da profundidade vertical e afastamento horizontal sobre o plano vertical do projeto e as coordenadas no eixo norte-sul e leste-oeste (tendo como origem a boca do poço). Existem vários métodos de cálculo, sendo os das médias e o do raio de curvatura os mais usados.

Acompanhamento direcional

- Plotar nos mapas de acompanhamento, analisar os resultados e definir as eventuais modificações nos parâmetros ou na estabilização da coluna.

https://www.youtube.com/watch?v=raTMsTpD3Pg

https://www.youtube.com/watch?v=fBQCQ6HL2Yw

https://www.youtube.com/watch?v=1HiBeLRsJoM

Rotary steerable system (RSS)

Inicialmente desenvolvidos para perfurar poços de alcance extensos

Tem um bom custo-benefício na perfuração convencional

Tecnologia avançada de perfuração: geologia pode ditar a trajetória (domo salino, blocos ou camadas de sal)

A drenagem ou produção de um reservatório pode ser melhorada se o poço penetrar blocos de falhas múltiplas ou se for construído horizontalmente para interseccionar fraturas ou para maximizar a área de superfície do furos do poço dentro do reservatório.

Perfuração de poços de longo alcance em direção a reservatórios que não podem ser explotados de outra forma sem que envolvam custos inceitáveis ou riscos ao meio ambiente. Ex. perfurar a partir da terra para alcançar um reservatório abaixo do mar ao invés de construir uma ilha artificial para explorar este reservatório.

Perfurar múltiplos poços a partir de um ponto na superfície tem sido uma prática padrão para poços marítimos por anos e agora é comum para locações em terra como florestas tropicais por razões de proteção ambiental.

Em raras situações emergenciais, a tecnologia de perfuração direcional é essencial, por exemplo, para construir poços de alívio para blowouts.

Habilidade em se controlar a trajetória: também boa para situações menos drásticas como percorrer lateralmente uma obstrução ou para construção de conduites para tubulações de gás e petróleo de modo a proteger o meio ambiente.

https://www.youtube.com/watch?v=9TEyYRAu2Uk

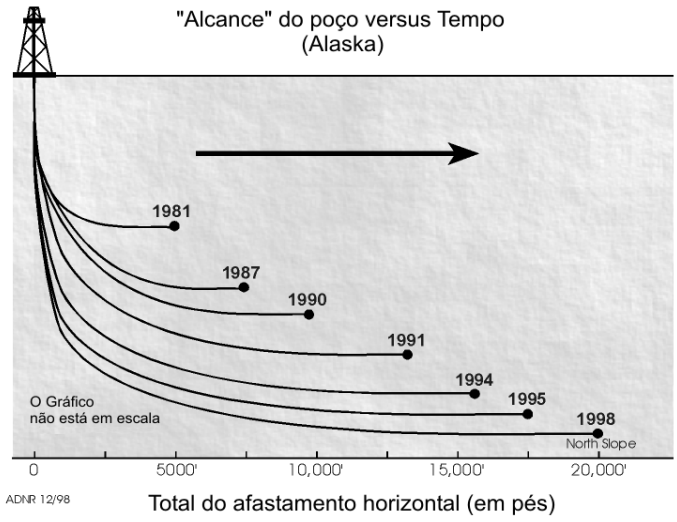
Como outras operações de perfuração há também a necessidade do levantamento do custo-benefício para a perfuração direcional.

Os gastos com a perfuração correspondem a aproximadamente 40% dos custos declarados pelas companhias de exploração e produção para os custos de descoberta e desenvolvimento.

Em poços marítimos, eliminar um dia de trabalho com sonda pode significar uma economia de U$ 100.000,00 ou mais. Acelerar a produção em um dia também gera retorno similar.

Antes do desenvolvimento das RSS, fazia-se uso de comandos (drill collars) e estabilizadores que permitiam aos operadores que construíssem ou baixassem o ângulo. Estas técnicas permitiam algum controle sobre a inclinação do furo, porém pouco ou nenhum controle sobre o azimute do furo. Em algumas regiões, perfuradores experientes tiravam vantagem da tendência natural da broca se desviar de modo limitado do furo de uma forma previsível.

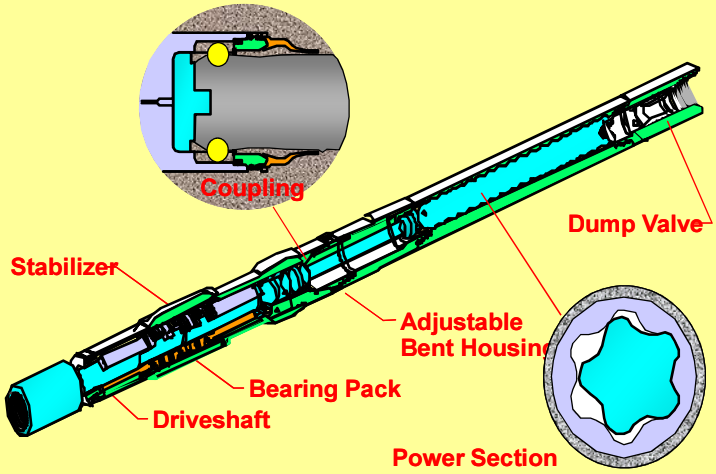
A perfuração direcional com o motor de fundo é realizada em 2 modos: rotacionando e deslizando. No modo rotacionante, a linha de perfuração inteira vira do mesmo modo que uma perfuração rotativa normal e tende a perfurar em linha reta. Para iniciar uma mudança na direção do furo, a rotação da linha de perfuração é imobilizada em uma posição na qual uma dobra no motor faz com que ela aponte a direção da nova trajetória (chamada de modo deslizante)



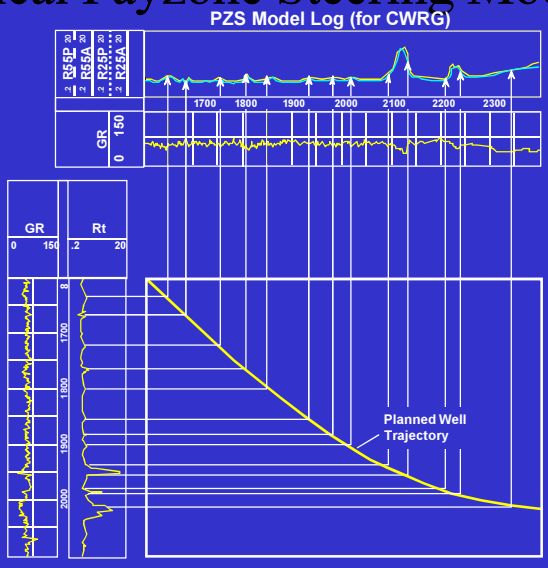
Motores de Deslocamento Positivo - Positive Displacement Motors (PDMs)

- Um PDM é usado para fazer a broca descer no furo SEM ROTACIONAR A COLUNA DE PERFURAÇÃO
- A potência do PDM é gerada por um rotor e um estator que tem helical cavidades e estrututras helicoidais.
- O fluxo do fluido de perfuração nestas cavidades força o rotor para que rotacione.
- Os PDMs tipicamente tem velocidades de saída de 100 a 300 rpm e providenciam potência o suficiente para acionar de forma agressiva as brocas PDC.

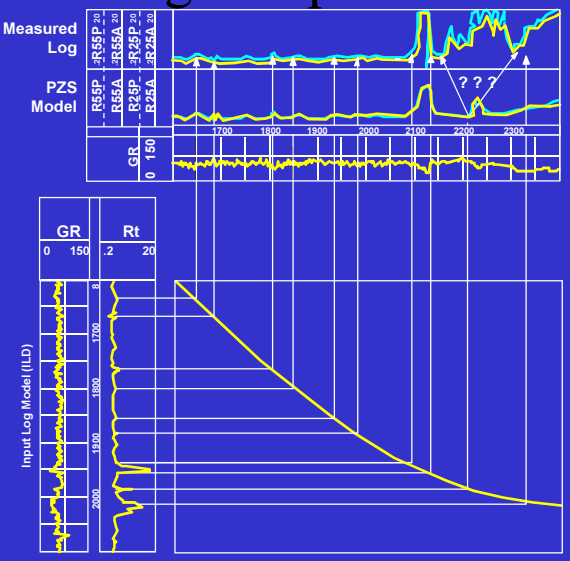
Positive-Displacement Motor (PDM) - Componentes



Typical Payzone Steering Model



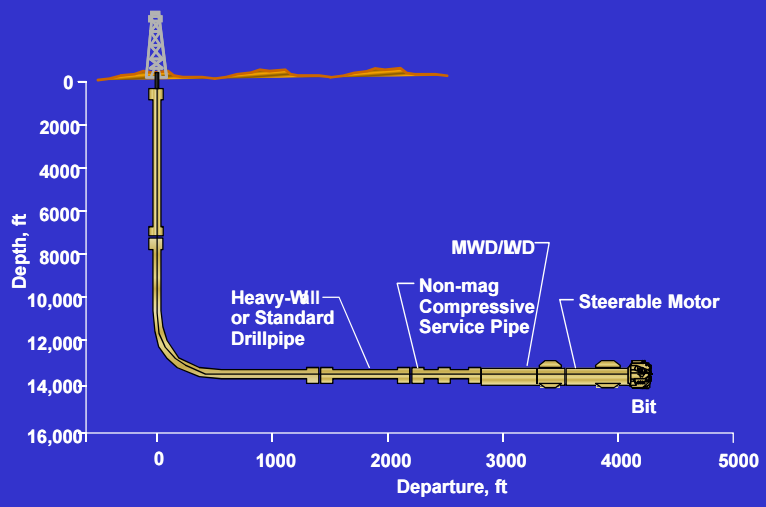
Actual Log Compared to Model



Poços de longo alcance (Extended Reach Wells - ERD)

- Partem de mais de duas vezes maiores do que a relação com a profundidade vertical verdadeira (TVD) do poço.
- Estado da arte em tecnologia ERD pode perfurar poços com relação TVD de 4 ou 5 ou até mesmo maiores.
- Uma relação de 3 é muito alta – o arraste deve ser estudado cuidadosamente.

Poços Horizontais



Embora os poços horizontais tenham sido usados desde 1927, somente a partir de 1980 eles começaram a se tornar confiáveis.
No início eram de pequeno comprimento (250 ft). Em 1985, o 1o poço horizontal médio foi perfurado usando se um motor de fundo movido à lama . Desde então, estes poços se tornaram uma prática comum.

Os poços horizontais são usados para camada de reservatórios finas, reservatórios fraturados, formações com problemas de cones de água e gás, waterflooding, reservatórios de óleo pesado, de gás e heavy oil reservoirs, gas reservoirs e métodos EOR (Recuperação Otimizada de Óleo) como termal e CO2 flooding.

Entre os anos 70 e 80, com o barril do óleo custando $35, o interesse por poços horizontais se reiniciou com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir o water e o gas coning, interceptar fraturas naturais e melhorar a renatbilidade.

54

VANTAGENS DO POÇO HORIZONTAL

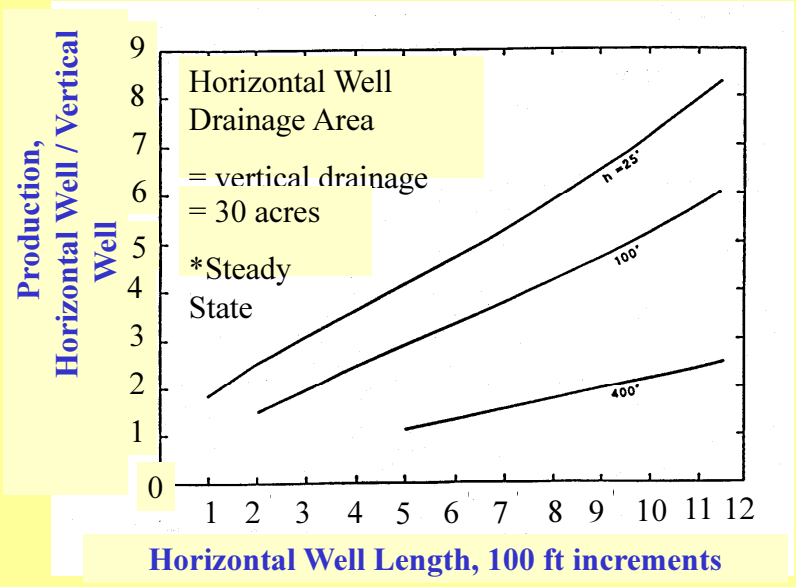
- Aumenta as Taxas de Produção
- Controle da produção de água
- Controle da produção de gás
- Controle da produção de areia
- Aumenta as reservas

55

VANTAGENS DO POÇO HORIZONTAL

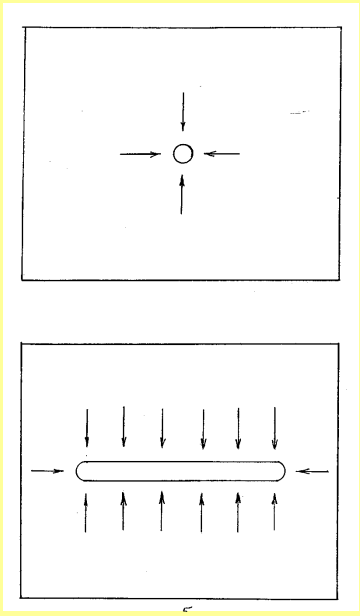
- Produz em reservatórios estreitos
- Conecta fraturas verticais
- Produz Metano a partir de camadas de carvão
- Aumenta a injetividade (vapor, água, polímeros, etc.)

56



57

Poço Vertical



Poço Horizontal

58

VANTAGENS DO POÇO HORIZONTAL

- Os poços horizontais são frequentemente perfurados perpendicularmente às fraturas verticais de modo a interceptar e drenar o maior número de fraturas possível.
- Os poços horizontais reduzem bastante o risco de desviar (bypassing) reservatórios verticalmente fraturados.

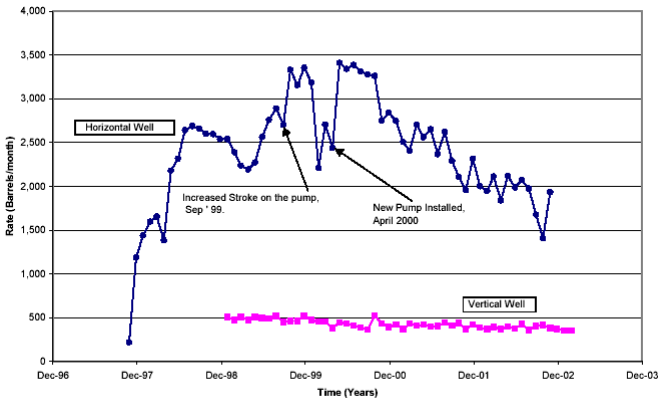
59

Maiores taxas e reservas comparados com os poços verticais.
Os resultados são menor custo de desenvolvimento e menor custo operacional por barril de óleo produzido.
Nos EUA, em locais onde os custos operacionais de um poço vertical situam-se entre $7 to $9 por barril de óleo, os poços horizontais possuem custos operacionais de $3 a $4 por barril.

Para diversos projetos de poços horizontais, o custo de desenvolvimento, definido como o custo do poço dividido pela reserva, é de $3 a $4/bbl. Isto é cerca de 25% a 50% menor do que o custo de venda da reserva provada (cost of buying proved producing reserves).

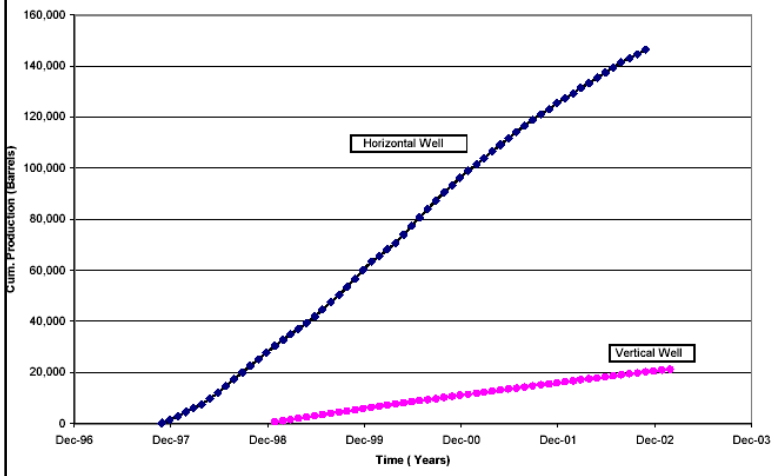
Para produzir a mesma quantidade de óleo, é preciso um menor número de poços horizontais comparado com poços verticais. Isto resulta em necessidades reduzidas para instalações e dutos superficiais, etc. em função das diferentes aplicações dos poços horizontais.

60



A Comparison of Monthly Production Rates for Horizontal and Vertical Wells

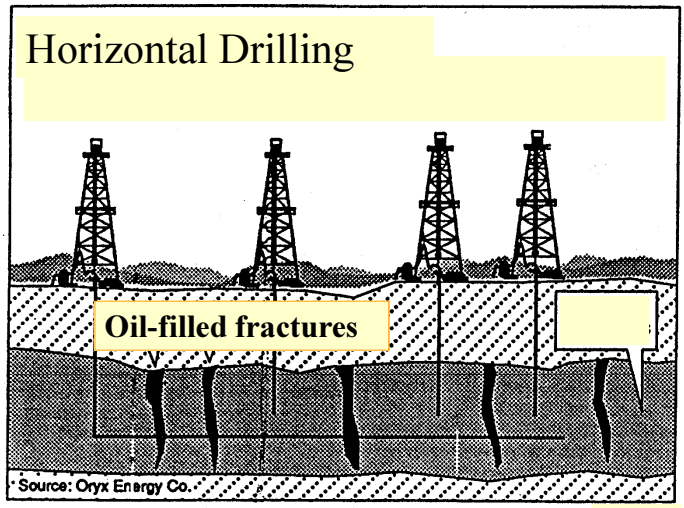
61



A Comparison of Cumulative Production Over Time for Horizontal and Vertical Wells

62

Horizontal Drilling



63

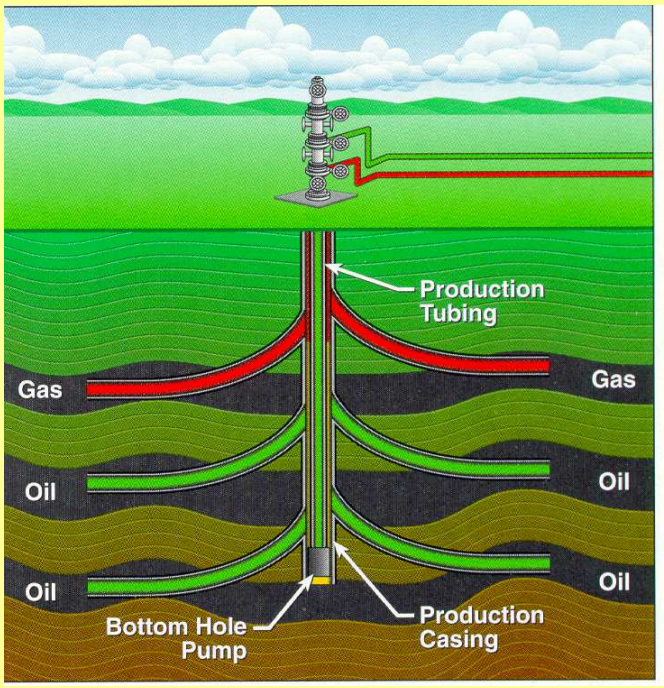
Exemplo de Taxas de produção: ORYX - Austin Chalk

Vertical Well B/D	Horizontal Well B/D	Horizontal/ Vertical Ratio
12	507	42
15	215	14
5	107	21

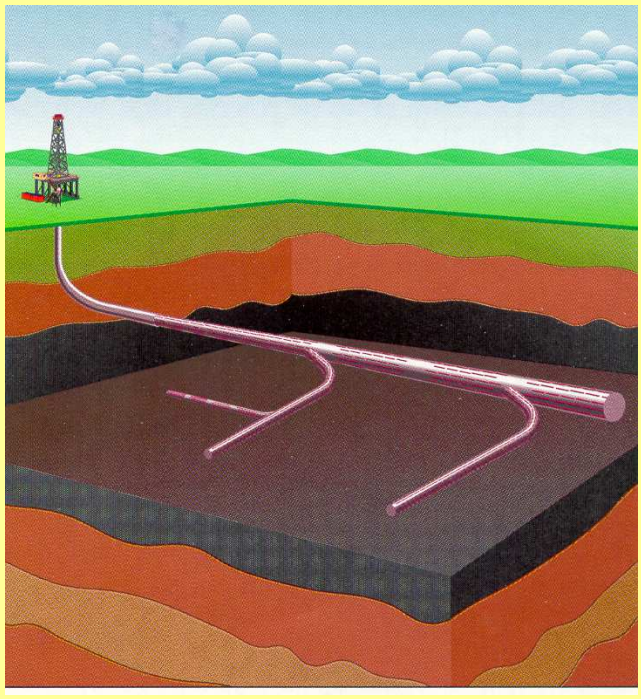
Drilled 7 wells over a period of 4 years (1986-1989)

Drilled 85 additional wells the next year (1990)

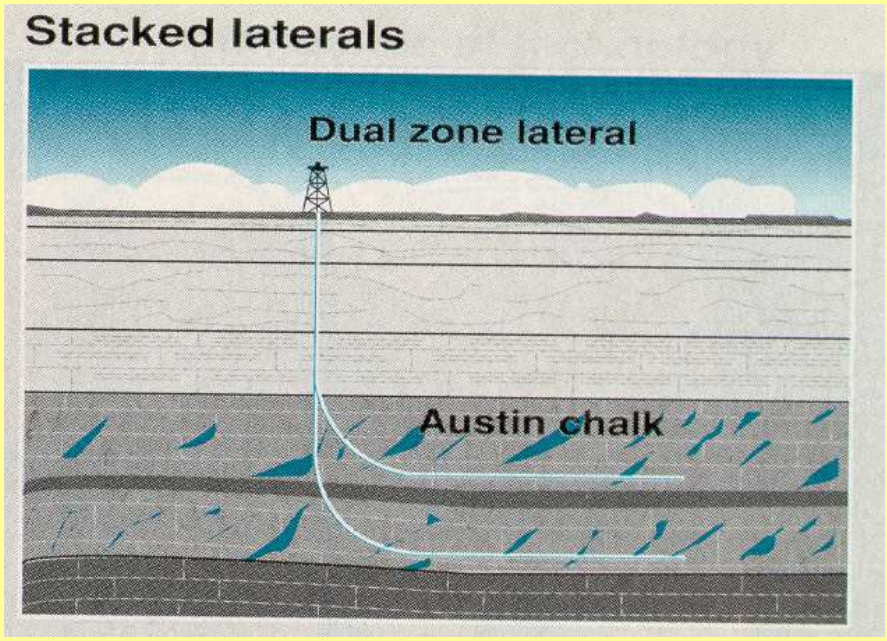
64

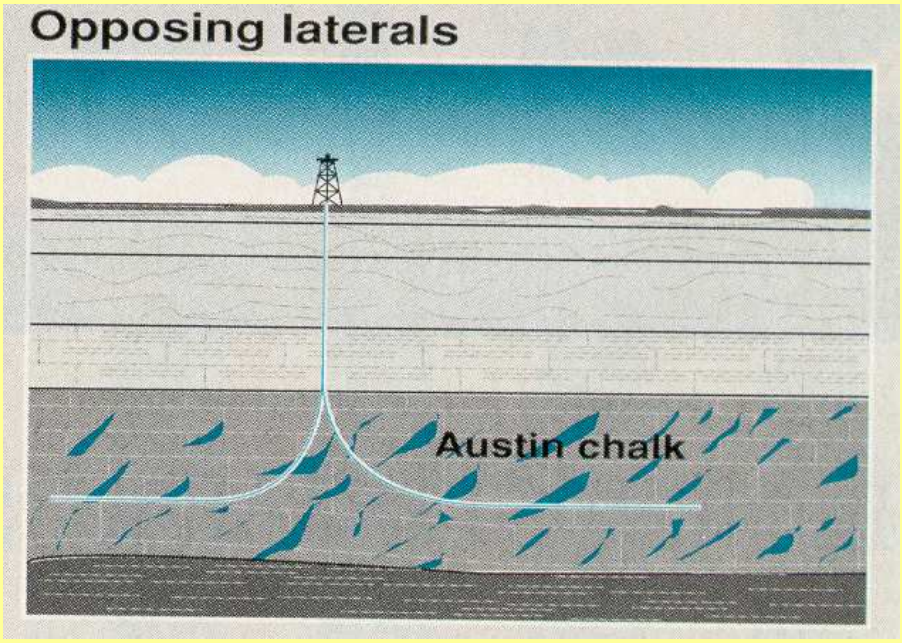

Production
Tubing
Gas
Gas
Oil
Oil
Oil
Oil
Bottom Hole
Pump
Production
Casing

65

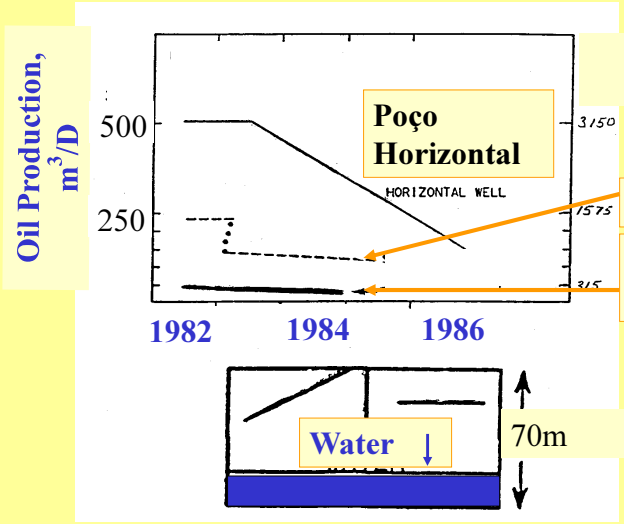


66


Stacked laterals
Dual zone lateral
Austin chalk


Opposing laterals
Austin chalk

ROSPO MARE, ITÁLIA



69

PRUDHOE BAY

Vertical Well:	**3,000 - 4,000 B/D**
Horizontal Well:	**10,000 - 12,000 B/D**
Production Ratio:	**3 - 4**
Vertical Well:	**235 $/ft**
Horizontal Well:	**520 - 282 $/ft**
Cost Ratio:	**2.2 - 1.2**

70

PROBLEMAS POTENCIAIS NA PERFURAÇÃO HORIZONTAL

- Tirar e colocar equipamentos no furo: coluna de perfuração, revestimento, cabos
- Prevenir/remediar aderência (sticking) diferencial
- Torque excessivo

71

PROBLEMAS POTENCIAIS NA PERFURAÇÃO HORIZONTAL

- Limpeza do furo e impedir o depóstio dos cascalhos no fundo do furo
- Controlar o peso da broca para alcançar e manter o controle direcional
- Cimentação do revestimento ou do liner

72

Geralmente, apenas uma zona de cada vez pode ser produzida usando-se poços horizontais. Se o reservatórios tiver multiplas zonas produtoras (pay-zones), especialmente com grandes diferenças em profundidades verticais, ou grandes diferenças em permeabilidades, não é fácil drenar todas as camadas usando se apenas um único poço horizontal.

A atual taxa global de sucesso comercial de poços horizontais nos EUA está em torno de 65%. (Esta taxa de sucesso aumenta à medida que mais poços horizonatais são perfurados em uma determinada formação numa área em particular). Isto significa, que inicialmente é provável que apenas 2 de 3 poços perfurados são comercialmente bem sucedidos. Assim, cria-se se um risco extra inicial para o projeto.

73

CONCLUSÃO

- Poços horizontais podem produzir de 3 a 5 vezes mais do que poços verticais na mesma área. (Até 20 vezes em casos altamentes especiais).
- Poços horizontais tipicamente custam de 1,5 a 3 vezes mais do que poços verticais na mesma área.

74

CONCLUSÃO

- Poços horizontais são frequenetemente muito atrativos em formações com fraturas verticais extensas.
- O uso de poços horizontais está em crescimento no mundo todo.
- Poços horizontais irão aumentar as nossas reservas recuperáveis.
- 1995 nos EUA um a cada dez poços é horizontal

75