



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

## PMI-1841 ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO

AULA 16 – EXERCÍCIOS SOBRE PRESSÃO DE POROS  
AULA 17 - REVESTIMENTO

Wilson Siguemasa Iramina

Santos, outubro de 2016

## A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

### FASES DE UM POÇO

- Perfurar.
- Revestir.
- Cimentar.

### OBJETIVO PRIMORDIAL DA PERFURAÇÃO

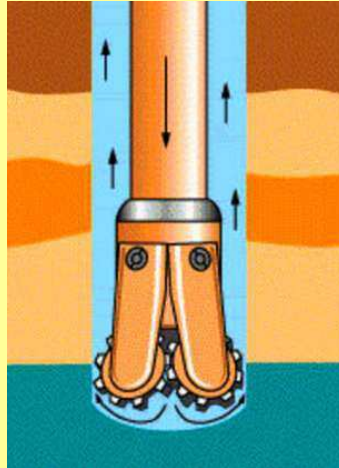
Perfurar um poço com segurança: sem causar instabilidades nas rochas cortadas (colapso e fraturamento) e sem permitir o influxo de fluidos da formação (água, óleo ou gás).



## A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

Na perfuração rotativa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicado a uma broca existente na extremidade da coluna de perfuração.

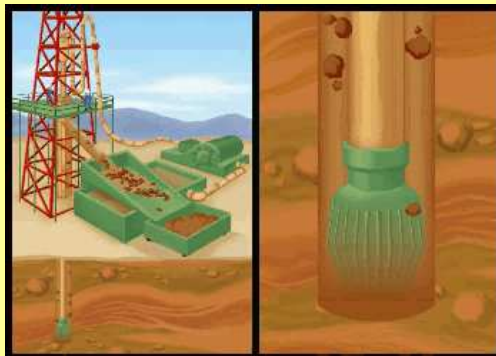
A coluna de perfuração consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas).



## A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

Os fragmentos da rocha são removidos continuamente através de um fluido de perfuração ou lama.

O fluido é injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração através da cabeça de injeção, ou "swivel", e retorna a superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna.



## A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

Ao atingir determinada profundidade, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço, de diâmetro inferior ao da broca, é descida no poço.

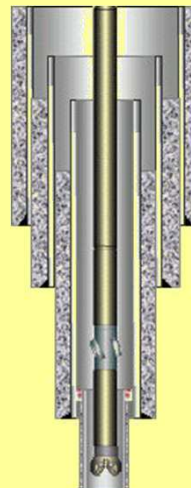
O espaço anular entre os tubos do revestimento e as paredes do poço é cimentado com o objetivo de isolar as rochas atravessadas, permitindo então avanço da perfuração com segurança.



## A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

Após a operação de cimentação, a coluna de perfuração é novamente descida no poço, tendo na sua extremidade uma nova broca de diâmetro menor que a do revestimento para o prosseguimento da perfuração.

Assim, um poço é perfurado em diversas fases, cada uma delas caracterizada pelo diferente diâmetro da broca utilizada.

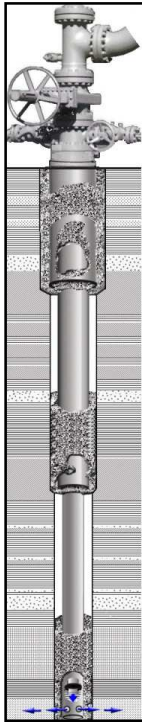


### **AO FINAL DESTA AULA VOCÊ DEVERÁ :**

- COMPREENDER A IMPORTÂNCIA DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO PARA O SUCESSO DE UM POÇO
- SABER AS PRINCIPAIS FUNÇÕES DE UMA COLUNA DE REVESTIMENTO
- IDENTIFICAR OS PRINCIPAIS TIPOS DE COLUNAS DE REVESTIMENTO
- CONHECER OS PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA O DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO

### **ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO**

1. INTRODUÇÃO E HISTÓRICO
2. REVESTIMENTO: DESCRIÇÃO
3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO
4. CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO
5. CLASSIFICAÇÃO DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO QUANTO À FINALIDADE
6. ESPECIFICAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE REVESTIMENTO
7. MANUSEIO DOS TUBOS E DESCIDA DA COLUNA AO POÇO
8. ESFORÇOS ATUANTES NA COLUNA DE REVESTIMENTO E SEU DIMENSIONAMENTO
9. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA



## 1. INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

A importância do revestimento e da vedação de paredes do poço dentro do processo exploratório / produtivo

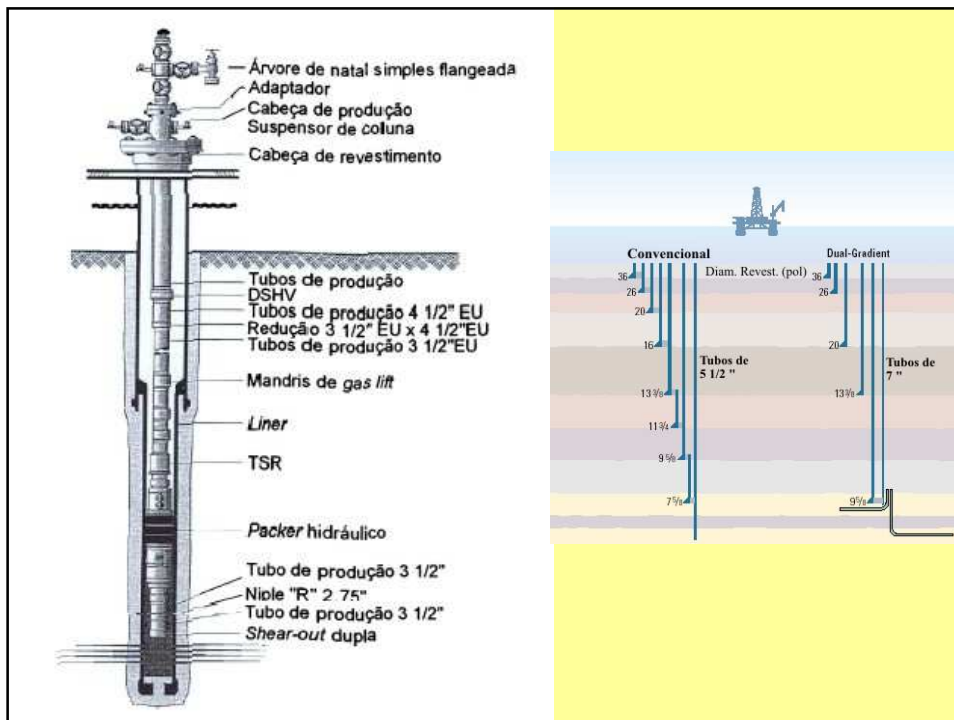
Necessidade de se revestir os poços para proteger as suas paredes e garantir assim a integridade do trecho perfurado e a continuidade dos trabalhos.

## 1. INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

Os poços existem desde a Antigüidade para diversos propósitos.

Por isso reconheceu-se logo a necessidade de revesti-los

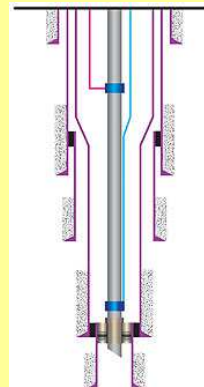
Evolução do revestimento: de rudimentares proteções de alvenaria, passando por proteções de madeira (Poço Drake, 1859), pelos tubos de ferros fundidos usados até algumas décadas atrás até chegar aos atuais revestimentos por tubulação de aço especial, envolta por uma camada de cimento para sua fixação e vedação.



## 2. REVESTIMENTO: DESCRIÇÃO

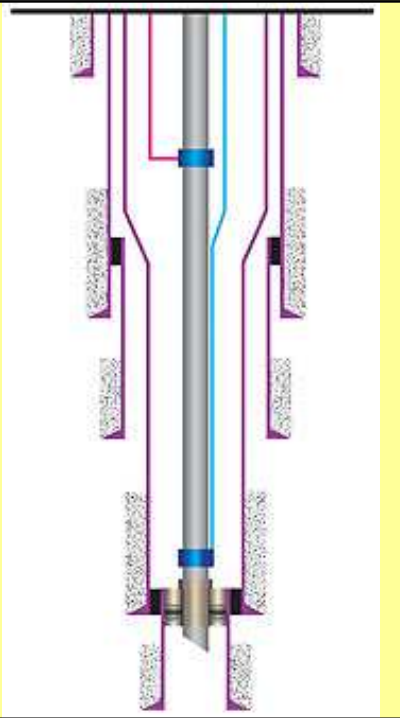
Até atingir a profundidade final projetada o poço é perfurado em "fases", cada uma delas encerrada com a descida do revestimento e sua cimentação, para proteger o trecho de poço aberto, sendo retomada a perfuração com diâmetro inferior na fase seguinte.

Dependendo das características, o poço pode ter de duas a seis fases e receber igual número de revestimentos.



## 2. REVESTIMENTO: DESCRIÇÃO

O desenho ao lado mostra um esquema das fases (etapas) de um trabalho de revestimento



## 2. REVESTIMENTO: DESCRIÇÃO

O revestimento constitui uma das parcelas mais expressivas do custo de perfuração de um poço de petróleo (15 a 20%)

Ao se iniciar a perfuração de um poço, já existe uma posição especificada para revestimento em função da variação prevista das pressões de poros de fratura das formações, que indicam o risco de prisão da coluna por pressão diferencial, de ocorrência de kicks ou de desmoronamento das paredes do poço

Cada coluna de revestimento é composta de tubos com cerca de 11 m cada, conectados individualmente no ato da descida, por enroscamento, com utilização de equipamentos próprios para o manuseio. Cada um destes tubos apresenta características (resistência à tração, resistência à pressão interna, resistência ao colapso) que dependem do diâmetro, da composição do aço e da espessura de sua parede.

## 2. REVESTIMENTO: DESCRIÇÃO

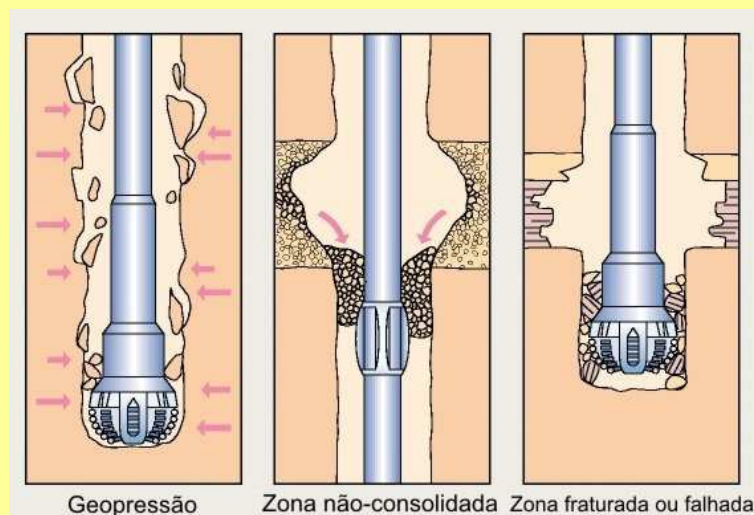
A composição de cada coluna é decidida em função das solicitações que esta sofrerá durante sua instalação e uso.

Seleção: a partir de dimensionamentos para especificar o mais econômico levando-se em conta todas os fatores de segurança envolvidos.

API: padronização de procedimentos industriais e operacionais de modo a compatibilizar os produtos de diversos fabricantes. Praticamente adotado no mundo todo, inclusive o Brasil

## 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

a) Prevenir desmoronamento das paredes do poço

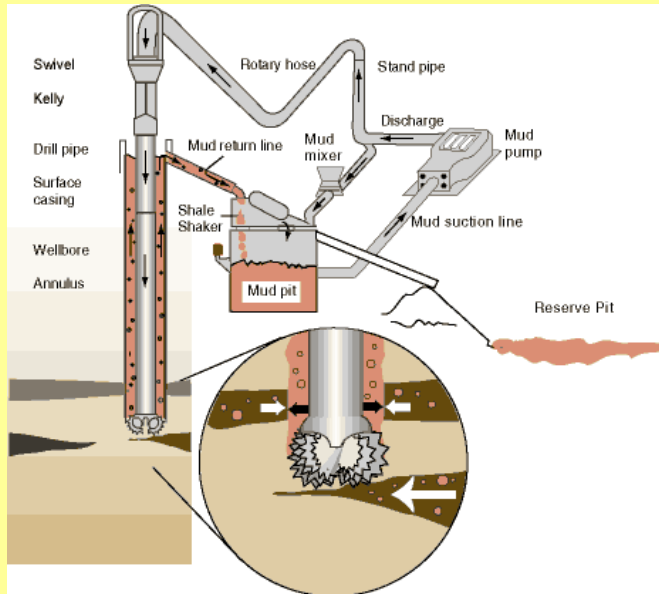


b) Evitar a contaminação da água potável



### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

c) Permitir o retorno de fluidos de perfuração à superfície

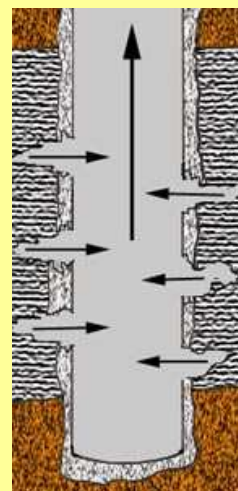


### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

d) Prover meios de controle de pressões

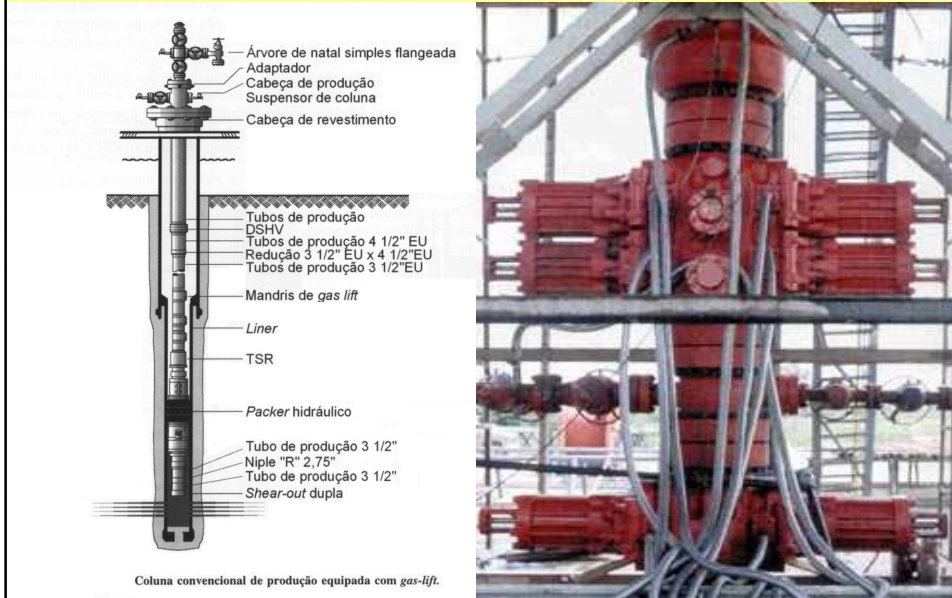
e) Permitir a adoção de sistema de fluido de perfuração diferente

f) Impedir a migração de fluido das formações



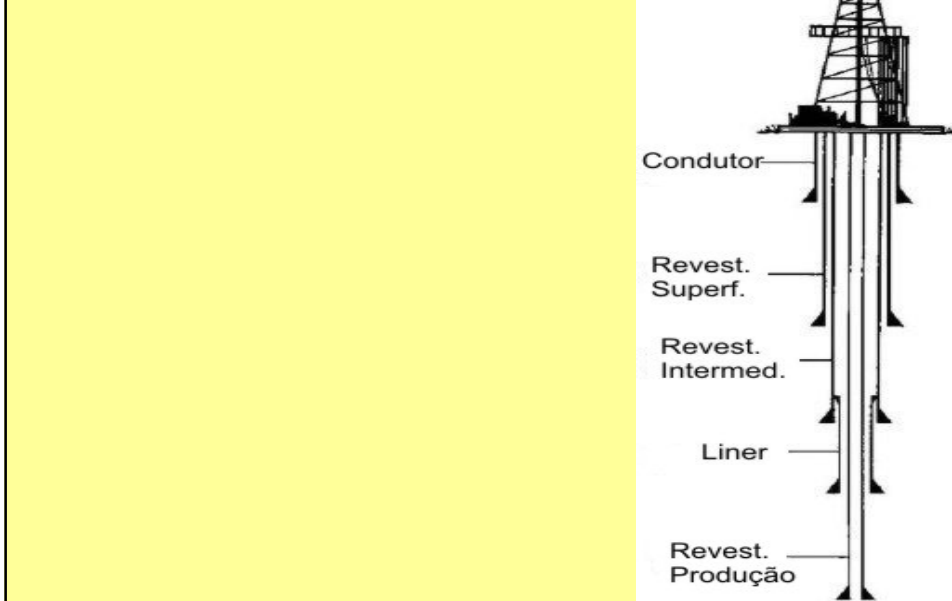
### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

#### g) Sustentar equipamentos de cabeça de poço



### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

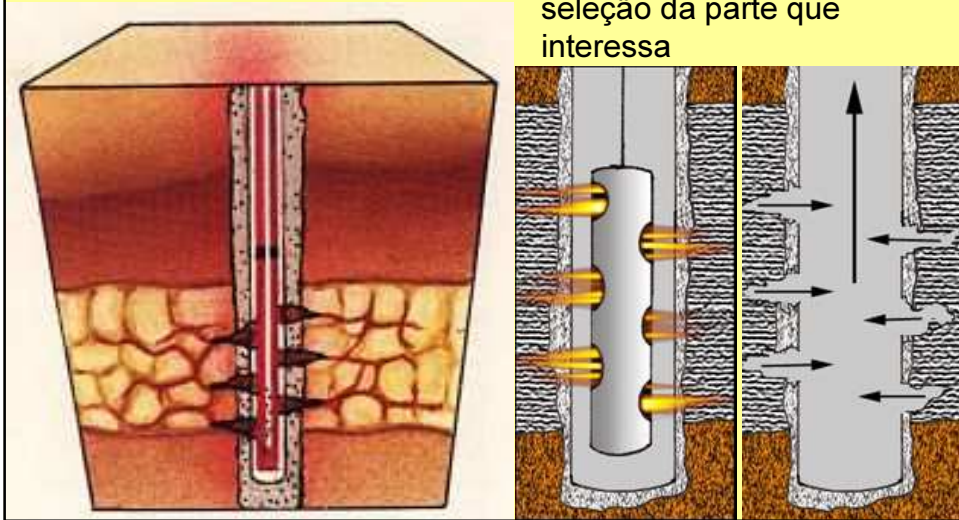
#### h) Sustentar outra coluna de revestimento



### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

i) Isolar a água da formação produtora

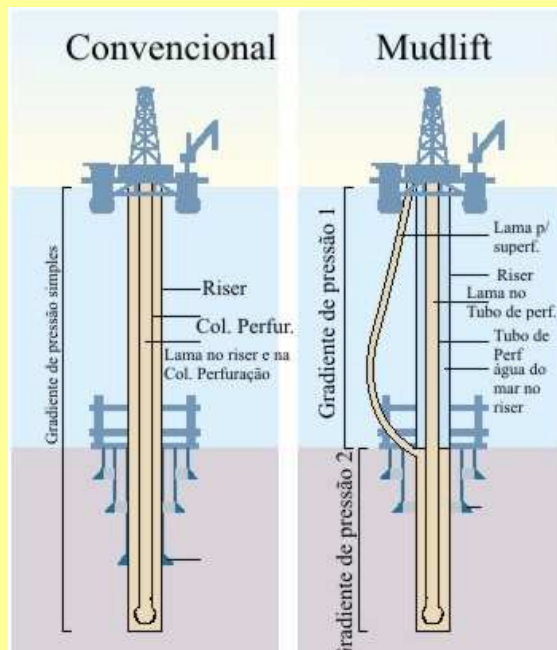
Água fica sempre na parte mais baixa da formação – seleção da parte que interessa



### 3. FUNÇÕES DA COLUNA DE REVESTIMENTO

j) Alojamento de equipamentos de elevação artificial

k) Confinar a produção ao interior do poço



#### 4. CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO

##### a) Ser estanque

Um dos aspectos mais críticos, pois são vários tubos interconectados. Deve-se garantir a vedação pelo aperto no enroscamento e uso de graxas especiais para revestimento. O fluido de perfuração deve retornar em sua plenitude.

##### b) Ter resistência compatível com as solicitações

Dimensionamento feito baseado na estimativa de uso e dos esforços aplicados juntamente a um fator de segurança.

##### c) Ter dimensões compatíveis com as atividades futuras (resistência à corrosão e abrasão).

A dimensão das colunas de revestimento depende do mecanismo de produção (por surgência ou por elevação artificial), da vazão de produção esperada e do número de colunas necessárias para completar o poço.

#### 4. CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO

##### d) Apresentar facilidade de conexão

Grande número de conexões feitas na descida de uma coluna de revestimento. (descidos 10 a 20 tubos por hora).

Diversos tipos de roscas: as mais comuns são as cônicas, para facilitar a introdução e o aperto.

##### e) Ter a menor espessura possível

A espessura da parede do tubo é diretamente proporcional à sua resistência e ao seu custo, devendo ser a menor possível em termos de custo mas que atenda às necessidades de projeto

## 5. CLASSIFICAÇÃO DAS COLUNAS DE REVESTIMENTO QUANTO À FINALIDADE

Dependendo da finalidade de cada coluna, esta recebe uma denominação específica, consagrada internacionalmente:

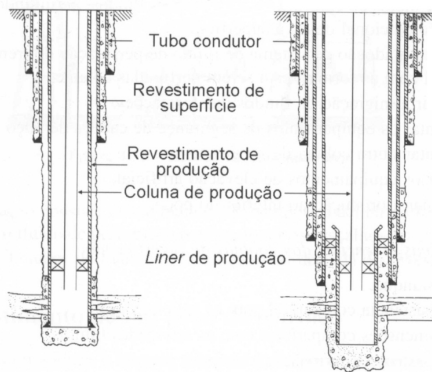
### 5.1. Condutor

Primeiro revestimento do poço, assentado a pequena profundidade (10 a 50 m), com a finalidade de sustentar sedimentos superficiais não consolidados, não devendo ultrapassar zonas de óleo ou gás. Pode ser assentado por cravação, jateamento (mar) ou cimentação em poço perfurado.

Diâmetros típicos: 30", 20", 13 3/8"

- Revestimento Condutor

- É um revestimento estrutural que tem como principal objetivo isolar o poço das zonas superficiais inconsolidadas. É assentado com base na experiência na área.



Esquema do revestimento de poços.



## 5. Classificação das colunas de revestimento quanto à finalidade

### 5.2. Revestimento de superfície

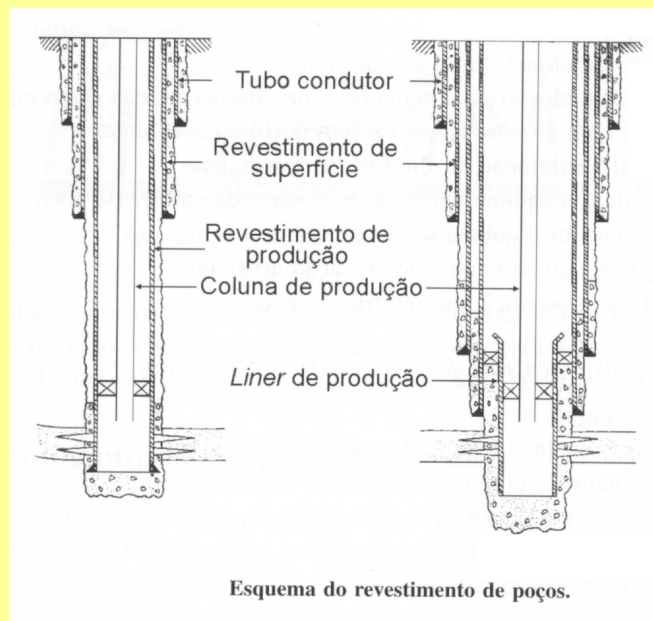
**Comprimento:** 100 a 600 m

**Função:** proteger os horizontes superficiais de água e prevenir desmoronamento de formações inconsolidadas; base de apoio para a cabeça de poço e a instalação de equipamentos de segurança de cabeça de poço (ESCP) ou BOP.

Cimentado em toda a sua extensão para evitar flambagem pelo peso elevado dos ESCP e dos revestimentos subseqüentes, que nele se apóiam.

**Diâmetros típicos:** 20", 18 5/8", 16", 13 3/8", 10 3/4" e 9 5/8"

### 5.2. Revestimento de superfície



- **Revestimento de Superfície**

- É um revestimento estrutural que tem como principais objetivos:
  - isolar o poço das zonas superficiais inconsolidadas.
  - Suportar o peso dos BOP e das demais colunas de revestimentos.
  - Proteger reservatórios de águas.
- Seu assentamento deve ser feito a uma profundidade tal que garanta que não ocorra migração de fluido para a superfície evitando assim crateramentos.

## **5. Classificação das colunas de revestimento quanto à finalidade**

### **5.3. Revestimento intermediário**

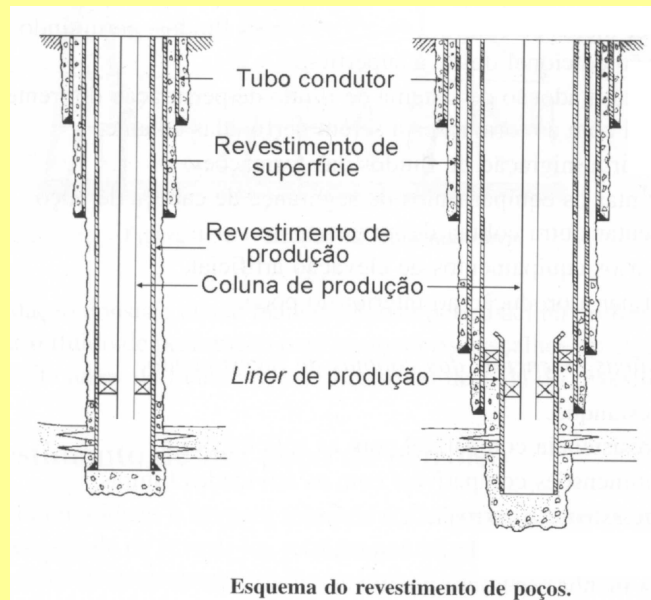
**Comprimento:** 1000 a 4000 m

**Função:** isolar e/ou proteger zonas de alta ou baixa pressão, zonas de perda de circulação, formações desmoronáveis, formações portadoras de fluidos corrosivos ou contaminantes de lama. Pode haver mais de um revestimento intermediário.

Não há necessidade desta coluna em poços rasos.

**Diâmetros típicos:** 13 3/8", 9 5/8" e 7".

### 5.3. Revestimento intermediário



- Revestimento Intermediário
  - É um revestimento que tem como principais objetivos:
    - Proteger zonas de perda de circulação.
    - Isolar zonas de hidrocarbonetos.
  - Seu assentamento deve ser feito a uma profundidade tal que garanta o controle total do poço.



## 5. Classificação das colunas de revestimento quanto à finalidade

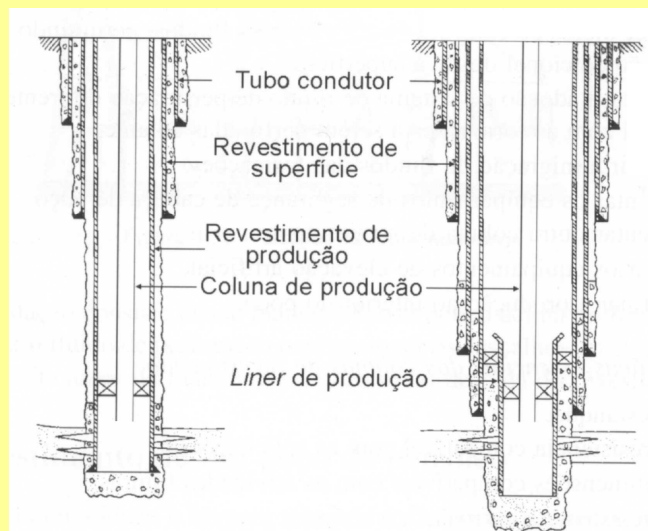
### 5.4. Revestimento de produção

**Comprimento:** depende da espessura da zona produtora

**Função:** prover meios para permitir os trabalhos de produção do poço, suportando suas paredes e possibilitando o isolamento entre vários intervalos produtores e sua produção seletiva.

Sua instalação depende de zonas de interesse, não sendo descido em poços onde não se identifica zonas potencialmente produtoras.

### 5.4. Revestimento de produção



Esquema do revestimento de poços.

- Revestimento de Produção

- É um revestimento que tem como principal objetivo o de conduzir hidrocarbonetos até a superfície de maneira segura e econômica.
- Seu assentamento deve ser feito de tal maneira que cubra todas as zonas produtoras, e em particular o objetivo do poço.

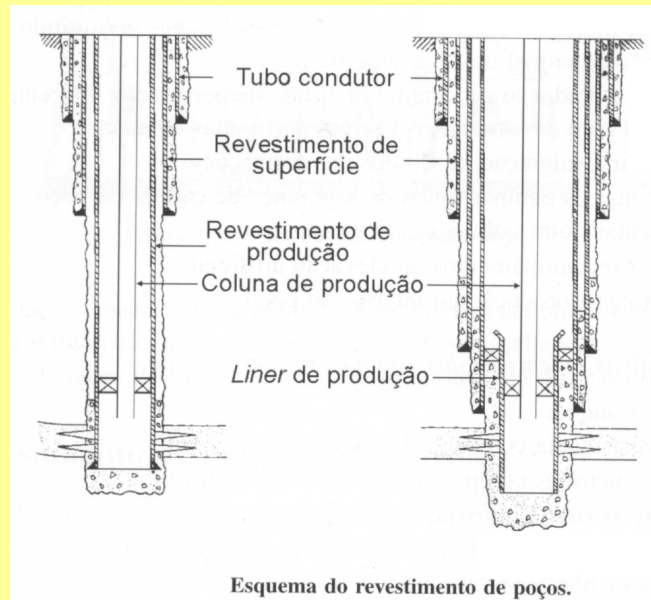
## **5. Classificação das colunas de revestimento quanto à finalidade**

### **5.5. Liner**

**Comprimento:** varia

**Função:** Descida e cimentada no poço visando cobrir apenas uma parte deste, ficando seu topo abaixo da superfície, ancorado no revestimento anterior e independente do sistema de cabeça de poço. Econômico, versátil e rapidez de operação. Pode ser usado em substituição ao revestimento intermediário (liner de perfuração) ou revestimento de produção (liner de produção).

## 5.5. Liner



## 5. Classificação das colunas de revestimento quanto à finalidade

### 5.6. Tie back

Complementação de uma coluna de liner até a superfície, quando limitações técnicas ou operacionais exigirem proteção do revestimento anterior. O termo é também usado para designar as colunas de ligação entre o fundo do mar e a plataforma fixa, quando o poço, previamente perfurado, é a ela conectado.

## Tipos de revestimento - exemplo

	<u>Diâmetro</u>	<u>Exemplo</u>
1. Drive pipe or structural pile {Gulf Coast and offshore only} 150'-300' below mudline.	16"-60"	30"
2. Conductor string. 100' - 1,600' (BML)	16"-48"	20"
3. Surface pipe. 2,000' - 4,000' (BML)	8 5/8"-20"	13 3/8"

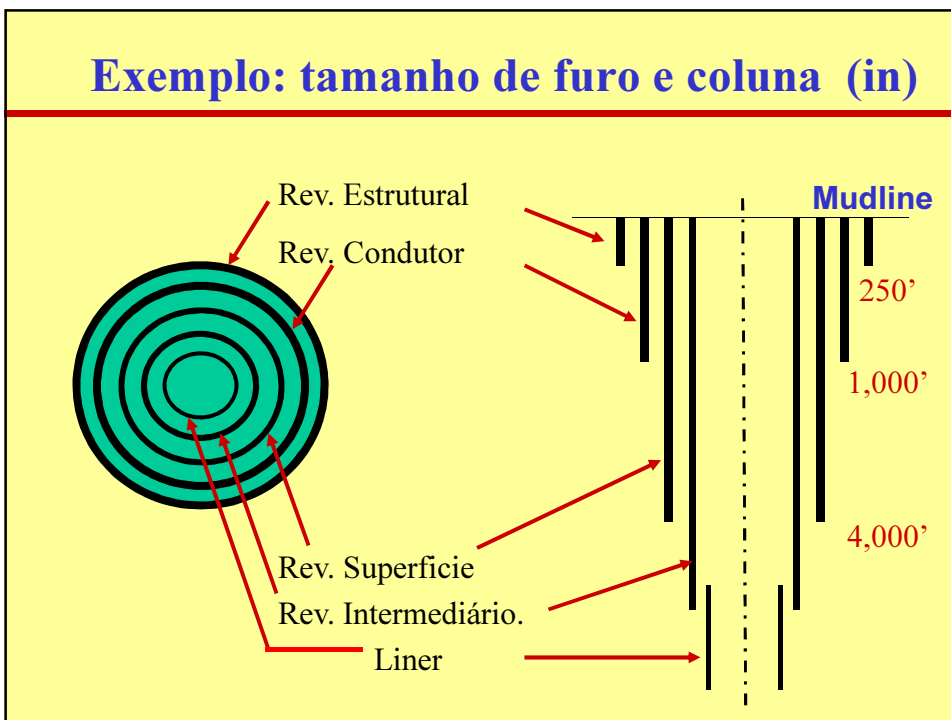
## Tipos de revestimento - exemplo

	<u>Diâmetro</u>	<u>Exemplo</u>
4. Intermediate String	7 5/8"-13 3/8"	9 5/8"
5. Production String (Csg.)	4 1/2"-9 5/8"	7"
6. Liner(s)		
7. Tubing String(s)		

## Exemplo: tamanho de furo e coluna (in)

<u>Dimensão do furo</u>		<u>Dimensão do tubo</u>	
36"	Rev. Estrutural	30"	→
26"	Rev. Condutor	20"	→
17 1/2"	Rev. Superfície	13 3/8"	→
12 1/4"	Rev. Intermediário	9 5/8"	→
8 3/4"	Liner	7"	→

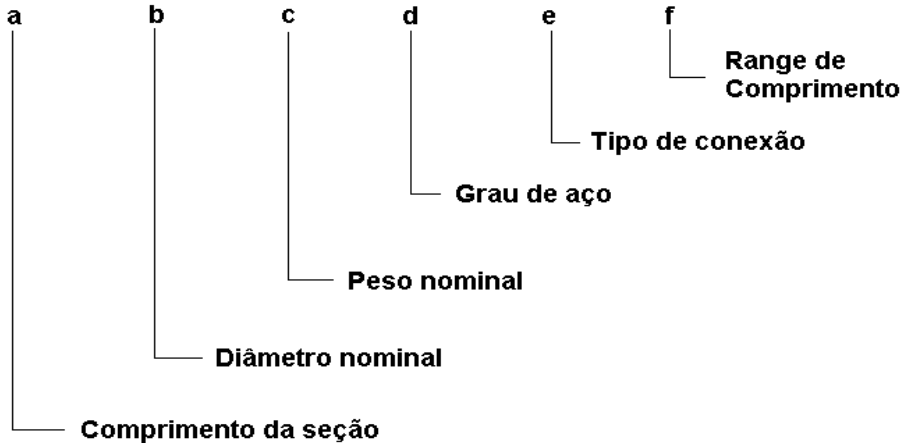
## Exemplo: tamanho de furo e coluna (in)



## 6. ESPECIFICAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE REVESTIMENTO

A coluna de revestimento é usualmente composta de trechos de tubos de mesmas características, sendo cada um destes trechos denominados “seção”.

900 m; 9 5/8" OD; 47 lb/pé; P-110; BUTTRESS; R-3



## 7. MANUSEIO DOS TUBOS E DESCIDA DA COLUNA AO POÇO

Organização: quantidade e posição adequados para obedecer à seqüência de descida.

Tubos possuem dimensões e pesos diferentes: necessário um elevador potente (até 500 toneladas de peso de coluna).

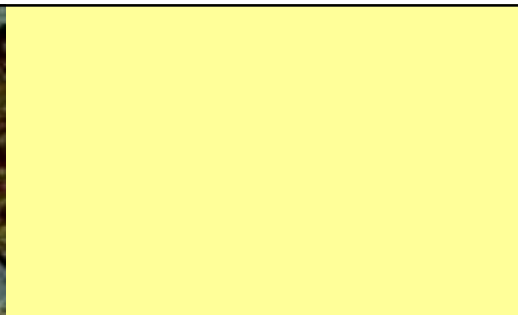
Os tubos são levados do estaleiro para a plataforma. Manuseio é feito por cabos, catarina, elevadores e chaves.



**Estaleiro**



**Elevação**







## **8. ESFORÇOS ATUANTES NA COLUNA DE REVESTIMENTO E SEU DIMENSIONAMENTO**

### **8.1. Parâmetros críticos**

Ao se dimensionar uma coluna de revestimento, diversos parâmetros são críticos para o projeto e, conseqüentemente, para a redução de custos:

- volume de gás que deve ser considerado como tendo invadido o poço;
- pressão de poros da formação a ser perfurada;
- pressão de fratura da formação a ser perfurada;
- tipo de fluido que ficará no anular do revestimento e em seu interior;
- conhecimento prévio sobre as características da área;
- possibilidade de perdas de circulação;

### **8.1. Parâmetros críticos (continuação)**

- variações de inclinação do poço;
- posição do topo do cimento;
- presença de fluidos corrosivos nas formações, etc...

### **8.2. Aplicação e uso prático**

De modo geral é suficiente fazer o dimensionamento quanto à tração, à pressão interna e ao colapso. (Normalmente as tabelas apresentam somente estes 3 valores de resistência).

### 8.2.1. Tração

Causada pelo próprio peso da coluna e outros esforços como atrito das paredes, pressões internas, etc.

$$R_t = 0,7854 (D^2 - d^2) Y_m$$

Onde,  $R_t$  = resistência à tração do tubo, lbf;

$D$  = diâmetro nominal, pol

$d$  = diâmetro interno, pol

$Y_m$  = tensão de escoamento mínima, psi

Obs. Uso de um fator de segurança

$$1,35 < FS < 1,75$$

### 8.2.2. Pressão Interna

Ocorre quando a pressão do interior da coluna é maior do que a pressão anular. Maior efeito na parte superior da coluna pois pode haver a presença de gás.

$$R_{pi} = 1,75 Y_m (t/D)$$

Onde,  $R_{pi}$  = resistência à pressão interna, psi;

$D$  = diâmetro externo, pol

$t$  = espessura da parede do tubo, pol

$Y_m$  = tensão de escoamento mínima, psi

Obs. Uso de um fator de segurança

$$1,00 < FS < 1,10$$

### 8.2.3. Colapso

Ocorre quando a pressão externa do tubo é maior do que a pressão interna. Valor da resistência ao colapso é calculado em função do regime de deformação do tubo, indicado pela relação  $D/t$ , pelo uso de uma das seguintes expressões recomendadas pelo API.

Colapso por escoamento

$$R_c = R_{cy} = 2 \frac{[(D/t) - 1]}{(D/t)^2} Y_m$$

Colapso por regime plástico

$$R_c = R_{cp} = Y_m \left[ \frac{A}{(D/t)} - B \right] - C$$

### 8.2.3. Colapso

Colapso na zona de transição

$$R_c = R_{ct} = Y_m \left[ \frac{F}{(D/t)} - G \right]$$

Colapso no regime elástico

$$R_c = R_{ce} = \frac{46,95 \times 10^6}{(D/t)[(D/t) - 1]^2}$$

A expressão a ser usada depende da relação  $D/t$  e em qual regime de deformação ela se encaixa para depois ser associada ao grau de aço utilizado (A, B, C, F, G).

### 8.3. Valores API de Resistências Mínimas à Tração, Pressão Interna e colapso (Tabelados)

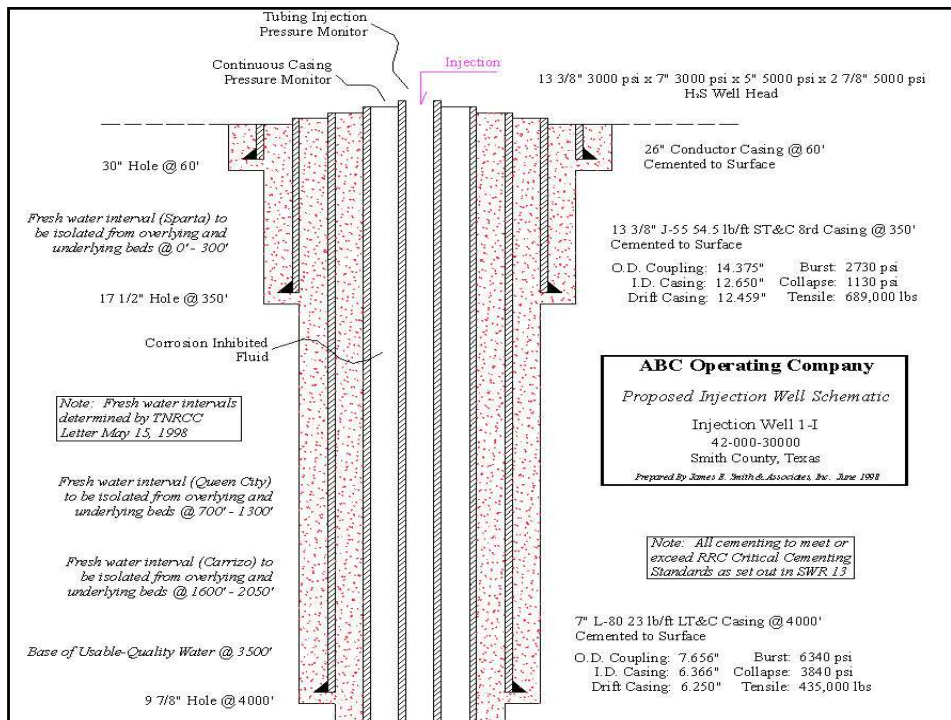
Coluna	
1	Diâmetro externo ou nominal, pol
2	Peso nominal com conexões, lb/pé
3	Grau do aço
4	Espessura da parede, pol
5	Diâmetro interno, pol
6	Diâmetro de passagem para conexão com luvas, pol
7	Diâmetro externo da luva normal, pol
8	Diâmetro externo da luva reduzida, pol
9	Diâmetro da passagem para conexão XL, pol
20	Diâmetro externo para conexão XL, apertada, pol
11	Resistência ao colapso (sem tensão), psi
12	Resistência à tração no corpo do tubo, 1000 lb
13	Resistência à pressão interna no corpo do tubo, psi
14 a 19	Resistência à pressão interna na conexão, psi
20 a 27	Resistência à tração na conexão, 1000 lb

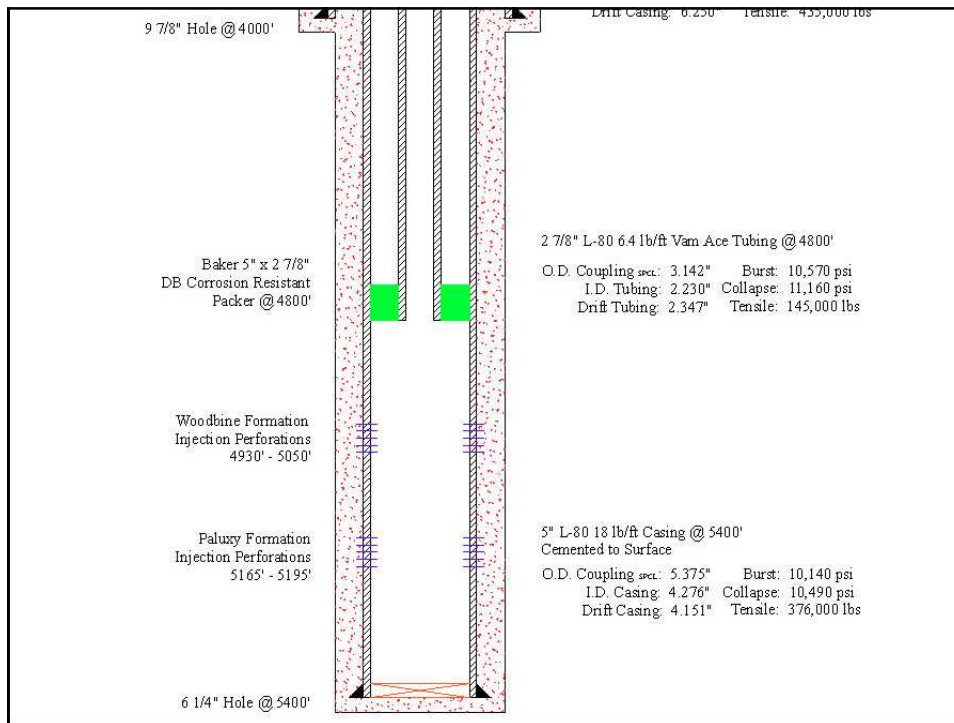
### 8.4. Dimensionamento das colunas de revestimento feito pela PETROBRÁS

- Uso de programa computacional
- Considera como parâmetros iniciais o conhecimento ou não da área e a possibilidade de perda de circulação e da ocorrência ou não de hidrocarbonetos na fase.
- Quatro parâmetros críticos:
  - volume de gás (kick) que deve se considerar como tendo invadido o campo;
  - pressão de poros da formação a ser perfurada, que indica a pressão que terá este gás no fundo;
  - pressão de fratura da formação a ser perfurada, que indica o valor limite de pressão no poço aberto, além do qual ocorre a fratura;
  - tipo de fluido que ficará no anular do revestimento e em seu interior.

## 8.5. Exemplos de dimensionamento de revestimento

PETROBRÁS	DEPER / DIRECI / SEREV	26/07/89
<b>D I M E N S I O N A M E N T O D E R E V E S T I M E N T O</b>		
POÇO : 1 - CEP - 89	SONDA : PA - 13	DISTRITO : CEN - NOR
ÁREA : PITUBA	MESA ROTATIVA/ FUNDO DO MAR : 90 m	PROFUNDIDADE FINAL DO POÇO : 3510 m
REVESTIMENTO DE PRODUÇÃO : 7"		SAPATA : 3500 m
ÁREA : <input checked="" type="checkbox"/> CONHECIDA <input type="checkbox"/> DESCONHECIDA	ÁREA DE OPERAÇÃO : <input checked="" type="checkbox"/> MAR <input type="checkbox"/> TERRA	
SONDA : <input type="checkbox"/> CONVENCIONAL <input checked="" type="checkbox"/> AUTOELEVÁVEL <input type="checkbox"/> MODULADA <input type="checkbox"/> SEMI-SUBMERSÍVEL <input type="checkbox"/> NAVIO SONDA		
<b>COLAPSO</b>	<b>PRESSÃO INTERNA</b>	<b>TRAÇÃO</b>
TOPO CIMENTO : 3000 m LAMA ANULAR : 14 lb/gal	LAMA ANULAR : 14 lb/gal BACK UP : 8.5 lb/gal GRAD. GÁS : 0.45 psi/m FORMAÇÃO : 13.5 lb/gal POÇO SURGENTE COM TUBING	IMERSO EM FLUÍDO : 13.8 lb/gal
RESULTADOS : 3500 m à 2230 m -> P - 110 29 lb/pê buttress 2230 m à 640 m -> P - 110 26 lb/pê buttress 640 m à 0 m -> N - 80 29 lb/pê buttress		





## 9. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

RABIA, H. **Oiwell drilling engineering. Principles and Practice.** Graham & Trotman editors. London, 1985.

HYNE, N. J. **Nontechnical guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and Production.** Penn Well Corporation. 2nd edition. Tulsa, Oklahoma, 2001.

THOMAS, et al. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRÁS, 2001

<http://www.glossary.oilfield.slb.com/Search.cfm> (SCHLUMBERGER)

<http://www.oilfield.slb.com/content/resources/oilfieldreview/index.asp?> (SCHLUMBERGER)