



# SEGURANÇA DE POÇO NA PERFURAÇÃO

OTTO LUIZ ALCÂNTARA SANTOS

**Blucher**



**PETROBRAS**

# **Segurança de poço na perfuração**

**Blucher**

Otto Luiz Alcântara Santos

# Segurança de poço na perfuração



**PETROBRAS**

*Segurança de poço na perfuração*  
© 2013 Otto Luiz Alcântara Santos  
Editora Edgard Blücher Ltda.

---

## Blucher

---

Rua Pedroso Alvarenga, 1.245, 4<sup>o</sup> andar  
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel.: 55 (11) 3078-5366  
editora@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme  
5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua  
Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março  
de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quais-  
quer meios, sem autorização escrita da Editora.

---

Todos os direitos reservados pela  
Editora Edgard Blücher Ltda.

---

### Ficha Catalográfica

---

Santos, Otto Luiz Alcântara Santos  
*Segurança de poço na perfuração* / Otto Luiz  
Alcântara Santos. – São Paulo: Blucher, 2013.

Bibliografia  
ISBN 978-85-212-0716-0

1. Poços de petróleo – Perfuração 2. Poços de  
petróleo submarino – Perfuração. I. Título

12-0327

CDD 622.3382

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Poços de petróleo – Perfuração
2. Poços de petróleo – Segurança

# Conteúdo

AGRADECIMENTOS .....	11	
APRESENTAÇÃO .....	13	
PREFÁCIO .....	15	
CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO .....	17
	Definição de <i>kicks</i> .....	17
	<i>Blowouts</i> .....	28
	Controle de poço em águas profundas e ultraprofundas . . .	20
CAPÍTULO 2	CONHECIMENTOS FUNDAMENTAIS DO CONTROLE DE POÇOS .....	23
	Fluidos de perfuração .....	23
	Pressão e pressão hidrostática (Ph) .....	26
	Gradiente de pressão (Gp) .....	29
	Massa específica ou densidade equivalente ( $\rho_e$ ) .....	29
	Pressão da formação ( $P_p$ ) .....	30
	Pressões no sistema sondapoço .....	30
	Pressão de fratura ( $P_f$ ) .....	35
	Exercícios .....	38

CAPÍTULO 3	CAUSAS DE <i>KICKS</i> .....	43
	Introdução.....	43
	Falta de ataque ao poço durante as manobras.....	43
	Pistoneio.....	46
	Perda de circulação.....	48
	Massa específica de fluido de perfuração insuficiente.....	48
	Corte da lama por gás.....	49
	Outras causas de <i>kicks</i> .....	51
	Exercícios.....	52
CAPÍTULO 4	INDÍCIOS E DETECÇÃO DE <i>KICKS</i> .....	55
	Detecção do aumento da pressão de poros.....	55
	Indicadores primários de <i>kicks</i> .....	59
	Indicadores de que um <i>kick</i> está ocorrendo ou está para ocorrer.....	60
	Detecção de <i>kicks</i> em águas profundas.....	61
CAPÍTULO 5	FECHAMENTO DO POÇO.....	63
	Tipos de fechamento.....	63
	Uso de <i>flow check</i> .....	64
	Procedimentos para o fechamento do poço em sondas com ESCP de superfície.....	64
	Perfurando ou circulado no fundo do poço.....	64
	Manobrando (tubos de perfuração).....	65
	Manobrando (comandos).....	65
	Coluna fora do poço.....	66
	Descendo a coluna de revestimento.....	66
	Procedimentos para o fechamento do poço em unidades flutuantes.....	66
	Perfurando ou circulado no fundo do poço.....	66
	Manobrando.....	67
	Coluna fora do poço.....	68
	Poço com ferramenta a cabo.....	69
	Revestimento frente ao BOP.....	69
	Verificação do fechamento do poço.....	70

CAPÍTULO 6	COMPORTAMENTO DO FLUIDO INVASOR . . . . .	71
	Exercícios . . . . .	76
CAPÍTULO 7	INFORMAÇÕES E CÁLCULOS NECESSÁRIOS AO CONTROLE DO POÇO . . . . .	77
	Informações prévias. . . . .	77
	Informações sobre o <i>kick</i> . . . . .	80
	Cálculos e considerações . . . . .	83
	Exercícios . . . . .	88
CAPÍTULO 8	MÉTODOS DE CONTROLE DE <i>KICKS</i> . . . . .	91
	Objetivos dos métodos de controle de <i>kicks</i> . . . . .	91
	Princípio da pressão no fundo do poço constante . . . . .	91
	Método do sondador. . . . .	92
	Comportamento de pressões para o método do sondador em sondas com ESCP de superfície . . . . .	93
	Comportamento de pressões para o método do sondador em sondas com ESCP submarino . . . . .	97
	Importantes aspectos operacionais durante a circulação do <i>kick</i> . . . . .	101
	Método do engenheiro . . . . .	103
	Comparação entre os métodos do sondador e do engenheiro . . . . .	105
	Métodos volumétricos. . . . .	107
	Método volumétrico estático. . . . .	108
	Método volumétrico dinâmico . . . . .	114
	Métodos não convencionais de controle de poço. . . . .	117
	Método da baixa pressão no <i>choke</i> ( <i>low choke</i> <i>pressure method</i> ) . . . . .	118
	<i>Bullheading</i> . . . . .	118
	<i>Stripping</i> . . . . .	119
	Exercícios . . . . .	121
CAPÍTULO 9	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DE SEGURANÇA DE POÇO . . . . .	125
	Procedimentos de caráter geral . . . . .	125
	Na perfuração . . . . .	126

	Na manobra . . . . .	126
	Na descida de coluna de revestimento . . . . .	127
CAPÍTULO 10	CONTROLE DE POÇO EM SITUAÇÕES ESPECIAIS. . . . .	129
	Problemas no <i>choke</i> ou no <i>choke manifold</i> . . . . .	129
	Problemas com a bomba de lama . . . . .	130
	Vazamentos no BOP . . . . .	130
	Problemas no separador atmosférico. . . . .	131
	Problemas na broca. . . . .	131
	Problemas com a coluna de perfuração . . . . .	132
	Pressões excessivas no poço. . . . .	133
	Perda de circulação . . . . .	133
	Coluna fora do poço . . . . .	134
CAPÍTULO 11	TOLERÂNCIA DE <i>KICKS</i> . . . . .	137
	Definição e dedução da equação . . . . .	137
	Utilização do conceito no acompanhamento da perfuração . . . . .	138
	Exercícios . . . . .	140
CAPÍTULO 12	PARTICULARIDADES DO CONTROLE DE <i>KICKS</i> EM ÁGUAS PROFUNDAS. . . . .	143
	Gradiente de fratura . . . . .	143
	Perda de carga excessiva na linha do <i>choke</i> . . . . .	144
	Variações bruscas na pressão no manômetro do <i>choke</i> . . . . .	144
	Formação de hidratos . . . . .	145
	Utilização da margem de segurança do <i>riser</i> . . . . .	145
	Deteção de influxos . . . . .	146
	Remoção do gás aprisionado abaixo do BOP . . . . .	146
	Gás no <i>riser</i> após o fechamento do BOP . . . . .	147
	Espaçamento para fechamento do poço e <i>hang off</i> . . . . .	147
	Exercícios . . . . .	147
CAPÍTULO 13	TÓPICOS ESPECIAIS EM CONTROLE DE POÇOS. . . . .	151
	Gases rasos e sistemas de <i>diverter</i> . . . . .	151

Controle de <i>kicks</i> em poços direcionais e horizontais . . . .	154
Velocidade de migração de gás no fluido de perfuração. . .	157
Controle de <i>kicks</i> em poços delgados . . . . .	159
Controle de <i>kicks</i> em poços multilaterais . . . . .	160
Controle de <i>kicks</i> solúveis no fluido de perfuração . . . . .	162
Exercícios . . . . .	164

CAPÍTULO 14	ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES DAS EQUIPES DE PERFURAÇÃO. . . . .	167
	Durante o fechamento do poço . . . . .	167
	Engenheiro Fiscal . . . . .	167
	Encarregado . . . . .	167
	Químico e/ou técnico de fluido de perfuração . . . . .	168
	Sondador. . . . .	168
	Torrista . . . . .	168
	Plataformista. . . . .	168
	Durante o combate ao kick . . . . .	168
	Engenheiro fiscal . . . . .	168
	Supervisor de perfuração, superintendente/OIM e/ou encarregado. . . . .	169
	Químico e/ou técnico de fluido . . . . .	169
	Sondador. . . . .	169
	Torrista . . . . .	169
	Plataformista. . . . .	169

CAPÍTULO 15	CERTIFICAÇÃO E EXERCÍCIOS SIMULADOS DE CONTROLE DE POÇO. . . . .	171
	Certificação e treinamento. . . . .	171
	Exercícios simulados de detecção de <i>kicks</i> e fechamento do poço . . . . .	172
	Objetivo e aplicação . . . . .	172
	Referencias para avaliação . . . . .	173
	Procedimentos. . . . .	173
	Atribuições dos elementos da equipe durante a realização dos exercícios. . . . .	173

	Periodicidade.....	174
	Registros .....	174
	Avaliação dos exercícios .....	174
	<b>FONTES DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>175</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>Planilha de Acompanhamento de Manobra.....</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>Planilhas de Controle para ESCP de Superfície .....</b>	<b>179</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>Planilhas de Controle para ESCP Submarino.....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXO IV</b>	<b>Glossário de Termos Técnicos em Controle de Poço .....</b>	<b>187</b>
<b>ANEXO V</b>	<b>Repostas aos Exercícios Numéricos .....</b>	<b>201</b>

# AGRADECIMENTOS

Gostaria em primeiro lugar de agradecer aos inúmeros colegas da Petrobras que me apresentaram sugestões e correções quando o conteúdo deste livro era apresentado como uma apostila desde a afiliação da Petrobras ao programa WellCAP em junho de 1996.

Aos colegas e amigos Heitor Rodrigues de Paula Lima e Roberto Vinicius Barragan agradeço pela revisão e sugestões de melhorias feitas ao livro. Agradeço também ao colega Luis Gustavo Alcântara Barros pela elaboração da figura apresentada na capa.

Agradeço à Universidade Petrobras através das suas gerências presentes e passadas pelo continuo apoio dado ao programa de certificação em controle de poço que utiliza o material apresentado no livro. Agradecimentos são extensivos ao Sr. Fernando Alves da Editora Blucher e a Sra. Lúcia Emília de Oliveira da Universidade Petrobras que através do Programa de Editoração de Livros Didáticos tornou possível esta publicação.

Finalmente gostaria de agradecer a minha esposa Janete, as minhas filhas Patrícia e Diana e a minha neta Giovanna pelo convívio e carinho a mim oferecidos ao longo dos anos. A elas, este livro é dedicado.



# APRESENTAÇÃO

O Programa de Editoração de Livros Didáticos da Universidade da Petrobras (PELD) vem ao longo dos anos difundindo o conhecimento construído e a experiência acumulada por profissionais da Petrobras entre os integrantes da comunidade técnica e científica da área de petróleo no País. Os produtos deste programa constituem importante instrumento para a preservação da memória técnica da Petrobras e para o desenvolvimento de profissionais da indústria brasileira do petróleo.

No âmbito da Petrobras, as publicações do PELD representam um recurso essencial para a capacitação de profissionais nos centros de desenvolvimento de recursos humanos da Companhia. A propósito, pode-se afirmar que este permanente esforço de capacitação é um dos elementos que contribui decisivamente para a preservação e para a ampliação da reconhecida competência técnica da Petrobras nos diversos segmentos da indústria do petróleo. Entre estes segmentos, destaca-se a atividade de perfuração de poços de petróleo, cujo sucesso é mensurado pela eficiência, economia e, principalmente, pela segurança de suas operações. Nessa linha, o conjunto de conhecimentos necessários à elaboração de um planejamento robusto, visando à execução segura das operações de perfuração, é o objeto deste livro editado pelo PELD.

O livro apresenta os princípios fundamentais, bem como as melhores práticas e procedimentos de controle de poço aplicáveis às operações de perfuração. O autor discorre ainda acerca dos itens de segurança de poço constantes em normas internacionais e brasileiras, destacando experiências com projetos e execuções de

operações em controle de poço no Brasil e no exterior, assim como resultados de pesquisas nessa área de extrema importância da indústria do petróleo. O conteúdo desse livro vem sendo utilizado no formato de apostila e desenvolvido desde junho de 1996, quando a Petrobras se associou ao **WellCAP** da *International Association of Drilling Contractors – IADC*, que se destaca como o programa de certificação em controle de poço mais adotado na indústria. Vale mencionar também que este é o primeiro livro publicado em língua portuguesa a abordar este tema.

O autor é especialista na área de controle de poço e instrutor do programa **WellCAP**. Atualmente, representa a Petrobras junto ao programa **WellCAP**, é Consultor Sênior da Petrobras na área de perfuração e segurança de poço e preside a Seção Bahia-Sergipe da *Society of Petroleum Engineers – SPE*.

**José Alberto Bucheb**

Gerente Geral

Recursos Humanos/Universidade Petrobras

# PREFÁCIO

Este livro destina-se primariamente aos cursos pertencentes ao programa **WellCAP** da *International Association of Drilling Contractors – IADC*, no nível de supervisão, na modalidade perfuração e nas duas opções: BOP de Superfície e BOP Submarino. Ele apresenta os princípios, as práticas e os procedimentos de controle de poço referentes às operações de perfuração. Não são escopos deste livro os equipamentos de segurança de poço e o controle de poço em operações de completção e *workover*, que serão objetos de outras duas publicações.

O texto apresenta aspectos de segurança de poço constantes em normas internacionais e brasileiras, procedimentos operacionais de segurança de poço, experiências com projetos e execuções de operações em controle de poço, no Brasil e no exterior, e resultados de pesquisas nessa área de extrema importância da indústria do petróleo. Ele está estruturado de forma a satisfazer os requisitos do programa **WellCAP** no que concerne ao material didático.

Na elaboração desse manual, procurou-se observar uma conceituação e uma nomenclatura coerente e em sintonia com os padrões nacionais e os internacionais. Apesar de o controle de poços em águas profundas ser seu foco principal, este livro poderá ser utilizado no treinamento neste assunto, em qualquer ambiente operacional.



# INTRODUÇÃO

## DEFINIÇÃO DE KICKS

Uma das mais importantes funções do fluido de perfuração é exercer uma pressão no poço superior à pressão dos fluidos contidos nos poros das formações perfuradas pela broca. Se, por algum motivo, a pressão no poço se tornar menor que a pressão de uma formação e se esta possuir permeabilidade suficiente, deverá haver fluxo do fluido da formação para o interior do poço. A esse fluxo, dá-se o nome de *kick* e diz-se que o controle primário do poço foi perdido (Figura 1.1). Como a operação para a remoção do fluido invasor, que também recebe o nome

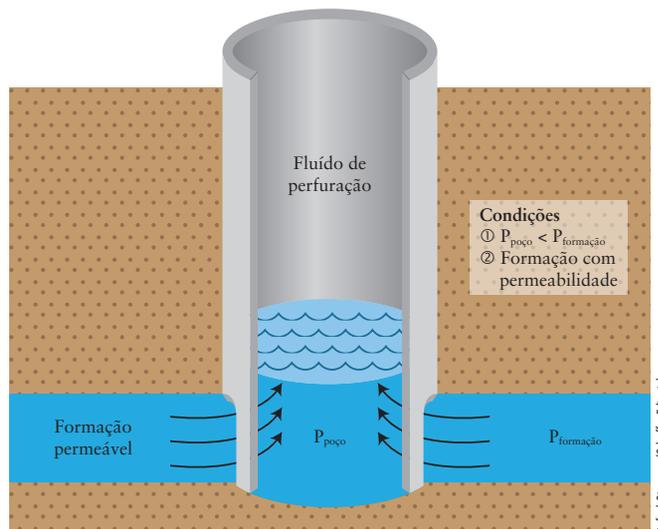


Figura 1.1 Condições necessárias para a ocorrência de *kicks*

de *kick*, envolve riscos operacionais, possibilidade de perda do poço e perda de tempo produtivo, as equipes das sondas devem estar treinadas para evitá-lo. Porém, se ele ocorre, essas equipes devem estar preparadas e as sondas equipadas para uma pronta detecção, contenção e remoção desse fluido invasor para fora do poço. Se a equipe da sonda falhar na sua detecção, contenção ou remoção do poço, o fluxo de fluido da formação pode ficar fora de controle, incorrendo em uma situação denominada de *blowout*.

## Blowouts

Um *blowout* é definido como um fluxo descontrolado do reservatório para o poço e deste para a atmosfera, fundo do mar ou para outra formação exposta no poço. Se o fluxo atinge a superfície através do poço, tem-se uma situação chamada de *blowout* de superfície; se o fluxo chega à superfície através de fraturas na rocha que terminam na superfície como crateras, tem-se uma situação chamada de crateramento; se o fluxo é para o fundo do mar, tem-se um *blowout* submarino; e se existe um fluxo entre a formação produtora e outra formação não revestida no poço, tem-se um *underground blowout*. Alguns desses tipos de *blowouts* encontram-se esquematizados na Figura 1.2. Exemplos reais de *blowouts* são mostrados nas Figuras 1.3, 1.4 e 1.5. Independentemente do tipo de *blowout*, ele deve ser controlado de imediato. As unidades operacionais devem possuir planos de contingência para as primeiras ações a serem praticadas logo após o evento, ações para limitar a sua extensão e, finalmente, ações para o combate e controle do *blowout*.

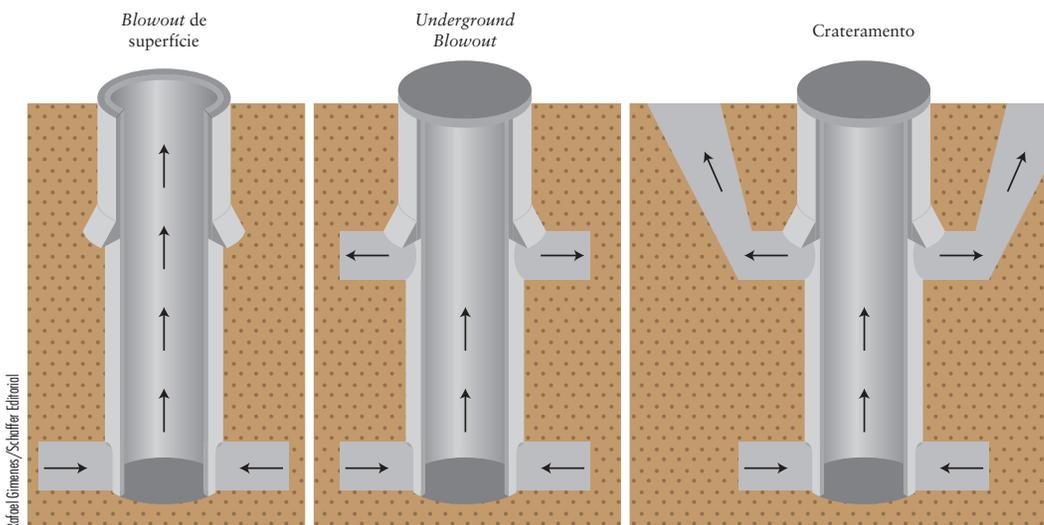


Figura 1.2 Alguns tipos de *blowouts*.

Fonte: <http://www.sareenergy.org/images/fig5.jpg>



**Figura 1.3** *Blowout* de superfície com ignição.

**Figura 1.4**  
*Blowout* submarino.



Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Deepwater\\_Horizon\\_offshore\\_drilling\\_unit\\_on\\_fire\\_2010.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Deepwater_Horizon_offshore_drilling_unit_on_fire_2010.jpg)



Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:XTOC\\_L\\_oil\\_well\\_blowout.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:XTOC_L_oil_well_blowout.jpg)

**Figura 1.5** *Blowout* com poluição.

Os *blowouts* podem trazer perdas de vidas humanas, reservas e equipamentos, prejuízo à imagem da companhia operadora e danos ao meio ambiente. O treinamento em controle de poço dos membros das equipes; a manutenção e realização dos testes dos equipamentos do sistema de controle de poço; a observância das normas e procedimentos operacionais de segurança de poço; e a implementação da análise de risco e da gestão de mudanças são ações que minimizam a ocorrência de *blowouts*. Embora os *kicks* e *blowouts* sejam mais comuns na fase de perfuração do poço, eles podem ocorrer durante qualquer operação realizada no poço durante a sua vida produtiva e no seu abandono.

## Controle de poço em águas profundas e ultraprofundas

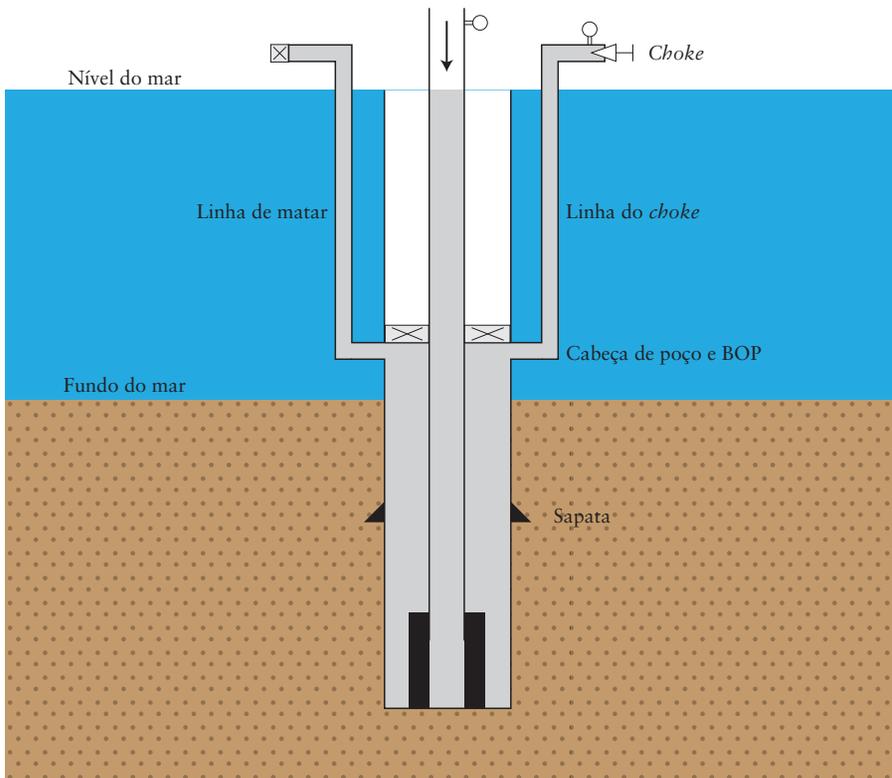
O volume do fluido invasor no poço deve ser o mínimo possível. Em sondas flutuantes operando em águas profundas (300 a 1500 m) e ultraprofundas (acima de 1500 m), este aspecto é extremamente relevante em virtude das complicações e particularidades inerentes ao controle de poço nesses de ambiente de operação. A pronta detecção do *kick* torna-se assim imperativa. Essas complicações e particularidades são, em sua maioria, devidas ao tipo e a configuração dos equipamentos de segurança de poço utilizados nessas unidades flutuantes.

A Figura 1.6 mostra o esquema do sistema de equipamentos de controle de poço existente em unidades flutuantes. O BOP e a cabeça do poço estão localizados no fundo do mar. O *riser* de perfuração faz a ligação entre os equipamentos submarinos e a embarcação, tendo assim as funções de conduzir o fluido de perfuração até a superfície e de guiar as colunas de perfuração e de revestimento ao poço. Acontecendo o *kick*, o BOP é fechado e o acesso ao poço não pode ser feito mais por meio do *riser* e sim por duas linhas paralelas ligadas lateralmente ao *riser* chamadas de linhas do *choke* e de matar.

As principais complicações advindas da utilização desse sistema e agravadas com o aumento da profundidade d'água serão discutidas com mais detalhes ao longo do livro, principalmente no Capítulo 12. Elas são as seguintes:

- ocorrência de baixas pressões de fratura das formações;
- existência de perda de carga por fricção excessiva na linha do *choke*;
- necessidade de ajustes rápidos na abertura do *choke*, quando o gás entra na linha do *choke* e, posteriormente, quando ele a deixa, em razão da grande diferença entre a área transversal do espaço anular e da linha do *choke*;
- existência de baixas temperaturas (em torno de 4°C) na cabeça submarina do poço causando um resfriamento do fluido de perfuração e, assim, tornando-o mais viscoso e com maior propensão à formação de hidratos no BOP;

- possibilidade de haver gás no *riser*, após fechamento do BOP;
- possibilidade de haver gás aprisionado abaixo do BOP, após a circulação de um *kick*;
- uso de um incremento na massa específica do fluido de perfuração (Margem de Segurança do *Riser*), em virtude da possibilidade de desconexão de emergência;
- utilização do procedimento conhecido com o nome de *hang-off* no fechamento do poço. O *hang-off* consiste em apoiar parte do peso da coluna de perfuração por uma das suas conexões na gaveta de tubos fechada do BOP submarino.



Roberto Gimenes/Schaffar Editorial

**Figura 1.6** Esquema do sistema de equipamentos de controle de poço existente em unidades flutuantes.

