

Sumário

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À PERFURAÇÃO DIRECIONAL	1
1.1 Aplicações de Poços Direcionais	1
1.1.1 Poços Direcionais Usados para Atingir Alvos de Difícil Acesso	2
1.1.2 Sidetrack	3
1.1.3 Poços Direcionais para a Exploração	4
1.1.4 Poços Direcionais Perfurados a partir de uma Plataforma Única .	5
1.1.5 Poços Direcionais para a Exploração de Novas Reservas	8
1.1.6 Direcionais em Áreas Urbanas e de Proteção Ambiental	9
1.1.7 Poços Direcionais em Zonas Fraturadas e em Áreas de Doms Salinos	10
1.1.8 Poços Direcionais para Controle de um <i>Blowout</i>	11
1.1.9 Poços Multilaterais e Horizontais	12
1.1.10 Poço Piloto	14
1.2 Definições Básicas	15
1.2.1 Definições Gerais	15
a) Afastamento	15
b) Trajetória Direcional.	16
c) Profundidade Vertical e Profundidade Medida	16
d) Objetivo, Alvo e Raio de Tolerância	16
e) Inclinação	16

f) Direção Base do Poço, Azimute e Rumo	18
g) Orientação da Tool Face	19
1.2.2 Projeções Horizontal e Vertical	20
a) Horizontal	21
b) Vertical	21
c) 3D ou <i>Vista em 3D</i>	21
1.2.3 Definições Específicas para Poços Direcionais	22
a) KOP	22
b) Estação e Inclinação do Poço a Cada Estação, α	22
c) Ângulo Máximo do Trecho Reto, θ	23
d) Buildup, Buildup Rate e End-of-buildup	23
e) Seção Tangente ou Slant	23
f) Início do Drop off (Perda de Ângulo)	24
g) Seção de Drop off	24
h) Dogleg (β) e Dogleg Severity (DLS)	24
i) Raio de Curvatura (R)	25
j) Giro da Broca ou Bit Walk	25
k) Ângulo Guia ou Lead Angle	25
1.3 Classificação de Poços Direcionais	25
1.3.1 Classificação quanto ao Raio de Curvatura	25
1.3.2 Classificação quanto ao Afastamento do Objetivo	27
1.3.3 Classificação quanto ao Giro	27
1.4 Sistemas de Referência	28
1.4.1 Sistemas de Referências Geodésicos	29
a) Sistema de Coordenadas Planas	29
Métodos de Projeção	29
b) Sistema de Coordenadas Cartesianas	35
c) Sistemas de Coordenadas Geodésicas	36
d) Sistema Local de Referência	37
1.4.2 Referencial Geodésico (<i>Datum</i>)	39
CAPÍTULO 2	
PLANEJAMENTO DIRECIONAL	47
2.1 Dados Básicos	48
2.2 Tipos de Trajetória Direcionais	50
2.2.1 Trajetória Tipo I (<i>Build-Hold</i>)	51
2.2.2 Planejamento da Trajetória do Poço Tipo I	53

2.2.3	Trajectoria Tipo II ou “S”	57
2.2.4	Trajectoria de Poços Horizontais	59
2.2.5	Trajectoria Direcional <i>Designer Wells</i> (3D)	63
2.3	Importantes Aspectos Relacionados ao Planejamento Direcional	66
2.3.1	Especificação da Sonda	66
2.3.2	Trajectoria do Poço	67
2.3.3	Fluido de Perfuração	69
2.3.4	Limpeza de Poço	72
2.3.5	Hidráulica de Perfuração e ECD (<i>Equivalent Circulating Density</i>)	76
2.3.6	Geopressões	80
2.3.7	Controle de Poço	82
2.3.8	Torque, Arraste e Flambagem.	83
2.3.9	Revestimento	86
2.3.10	Cimentação	88
2.3.11	Perfilagem a Cabo (<i>Wireline</i>) e LWD.	90
2.3.12	Completação.	91
2.3.13	Vibração	92
2.3.14	Desempenho e Custo	95

CAPÍTULO 3

	COLUNAS DE PERFURAÇÃO DIRECIONAL.	99
3.1	Componentes Básicos da Coluna de Perfuração.	100
3.1.1	<i>Drill Collars</i> (DC – Comandos)	100
3.1.2	<i>Heavyweight Drillpipes</i> (HWDP)	101
3.1.3	Estabilizadores	102
3.1.4	Percussor de Perfuração (<i>Drilling Jar</i>)	103
3.1.5	<i>Sub</i> com Válvula Flutuante (<i>Float Sub</i>)	106
3.1.6	Brocas.	106
3.2	Composições de Colunas para Perfuração Direcional Utilizando Componentes Básicos.	111
3.2.1	Composição para Ganhar Ângulo (Princípio da Alavanca ou Efeito <i>Fulcrum</i>).	112
	a) Peso sobre a Broca	113
	b) Rotação de Coluna	114
	c) Diâmetro dos Comandos.	114
	d) Vazão	114
3.2.2	Composição para Manter Ângulo (Coluna Empacada).	114

3.2.3	Composição para Perder Ângulo (Princípio do Pêndulo)	116
a)	Distância do Estabilizador até a Broca	117
b)	Parâmetros de Perfuração.	118
3.3	Equipamentos Especiais da Perfuração	
Direcional.		119
3.3.1	Motor de Fundo (<i>Mud Motor</i>)	119
a)	Dump Sub/Dump Valve	120
b)	Seção de Potência.	121
c)	Unidade de Transmissão.	122
d)	Seção de Rolamento	122
3.3.2	Sistema <i>Steerable</i>	125
3.3.3	Sistema <i>Rotary Steerable</i>	133
3.3.4	Sistema <i>Rotary Steerable</i> com Motor de Fundo	136
3.3.5	Turbina.	137
3.3.6	LWD (<i>Logging While Drilling</i>) e MWD (<i>Measurement While Drilling</i>)	140
3.4	<i>Geosteering</i>	142

CAPÍTULO 4

ACOMPANHAMENTO DIRECIONAL.	149	
4.1	Equipamentos de Registro Direcional.	150
4.1.1	Equipamentos Magnéticos	152
a)	Equipamento Magnético de Registro Simples (<i>Magnetic Single Shot – MSS</i>).	152
b)	Equipamento Magnético de Registro Múltiplo (<i>Magnetic Multi Shot – MMS</i>)	152
4.1.2	Equipamentos Giroscópicos	154
a)	Giroscópico de Registro Simples (<i>Gyroscopic Single Shot – GSS</i>)	154
b)	Giroscópico de Registro Múltiplo (<i>Gyroscopic Multi Shot – GMS</i>)	155
4.1.3	Sistema de Navegação Inercial (<i>Inertial Navigation System – INS</i>).	156
4.1.4	Equipamento de Medição Contínua a Cabo (<i>Steering Tool</i>)	157
4.1.5	Equipamento de Medição Contínua sem Cabo (<i>Measurement While Drilling e Gyro While Drilling</i>)	158

4.2	Influência do Referencial Norte na Determinação da Trajetória do Poço	160
4.2.1	Definições de Referências de Norte	161
	a) Norte Verdadeiro (True North – TN)	161
	b) Norte Grid (Grid North – GN)	161
	c) Norte Magnético (Magnetic North – MN)	161
4.2.2	Correção da Direção Azimutal	162
	a) Declinação	162
	b) Convergência	163
4.3	Frequência e Qualidade dos Registros Direcionais	164
4.4	Métodos de Cálculo de Acompanhamento da Trajetória de Poço	167
4.4.1	Método da Tangente	170
4.4.2	Método da Tangente Balanceada	171
4.4.3	Método do Ângulo Médio	172
4.4.4	Método do Raio de Curvatura	173
4.4.5	Método do Mínimo Raio de Curvatura	174
	Mudança de Direção da Trajetória	184
4.5	Análise de Anticolisão	187
4.5.1	Métodos de Cálculos de Incertezas ou Modelos de Erro	188
	a) Erros Sistemáticos	188
	b) ISCWSA	188
	c) Cone de Erro	189
	d) <i>Grid</i> de Erro de Inclinação	189
4.5.2	Erros e Incertezas no Controle de Trajetória de Poços	189
	4.5.2.1 Métodos de Redução da Elipse de Incerteza	192
4.5.3	Tipos de Cones de Incerteza	195
4.5.4	Separação Mínima e Fator de Separação	197
	Considerações Acerca do Fator de Separação	199
4.5.5	Métodos de Rastreamento	201
	a) Proximidade 3D (3D <i>Closest Approach</i>)	201
	b) <i>Travelling Cylinder</i> (TC)	202
	c) Plano Horizontal	202
4.5.6	Estudos de Anticolisão	205
	a) Problemas com o Rastreamento Tipo <i>Travelling Cylinder</i>	205
	b) Análises Envolvendo Múltiplos Poços	214

CAPÍTULO 5

TÓPICOS COMPLEMENTARES 217

5.1 Poço Horizontal 217

5.1.1	Vantagens e Aplicações de Poços Horizontais.	217
5.1.2	Tipos de Poços Horizontais	220
a)	Poços Horizontais de Raio Longo	221
	<i>Buildup</i> Único	224
	<i>Buildup</i> Duplo	224
	<i>Buildup</i> Interrompido por Trecho Reto	224
b)	Poços Horizontais de Raio Médio.	225
c)	Poços Horizontais com Perfil Combinado.	226
5.1.3	BHA em Poços Horizontais <i>Versus</i> Poços Verticais.	228
a)	Linha Neutra de Tração do BHA	229
b)	Linha Neutra de Flambagem do BHA.	232
	Poços Verticais.	236
	Poços Direcionais	237
5.1.4	Completação em Poços Horizontais	238
5.2	Poço Piloto	241
5.3	Poços Multilaterais	244
5.3.1	Aplicações de Poços Multilaterais	244
a)	Reservatórios de Óleo Pesado ou de Baixa Mobilidade	244
b)	Reservatório de Baixa Permeabilidade ou Naturalmente Fraturado	245
c)	Reservatórios Pequenos, Depletados ou de Baixa Pressão.	245
d)	Reservatórios em Camadas ou Formações Laminares.	246
e)	Reservatórios Isolados ou Compartimentados.	247
5.3.2	Classificação dos Poços Multilaterais.	248
a)	Nível 1	249
b)	Nível 2	249
c)	Nível 3	249
d)	Nível 4	249
e)	Nível 5	251
f)	Nível 6.	251
5.4	Poços de Grande Afastamento em Águas Profundas.	252
5.4.1	Características das Trajetórias de Poços em Água Profunda.	253
5.4.2	Gradientes de Poros, Colapso e Fratura	254
5.4.3	ECD <i>Versus</i> Gradiente de Fratura	256
5.4.4	Limpeza de Poço	260
5.5	Roteiros Básicos para Operações Direcionais Típicas	263
5.5.1	Jateamento	263

5.5.2	Operações com Motor de Fundo Convencional como Ferramenta Defletora (Usando Registro Direcional Magnético Simples)	266
5.5.3	Efetuando Registros Direcionais Magnéticos Simples (<i>Magnetic Single Shots – MSS</i>)	269
5.5.4	Efetuando Registros Direcionais Giroscópicos Simples (<i>Gyroscopic Single Shots – GSS</i>).	270
5.5.5	Efetuando Registros Direcionais Magnéticos Múltiplos (<i>Magnetic Multishots – MMS</i>)	271
5.5.6	Efetuando Registros Direcionais Giroscópicos Múltiplos (<i>Gyroscopic Multishots – GMS</i>)	273
5.5.7	Procedimentos para a Execução do Desvio	275
5.6	Tubulação de Perfuração Com Transmissão de Sinais Elétricos por Fio (<i>Wired Drill String</i>)	276
5.7	Perfuração Direcional com Revestimento	278
5.8	Perfuração Direcional Sub-Balanceada (<i>Under Balanced Directional Drilling</i>)	281
5.9	Operação de Alargamento Simultâneo com o Alargador Distante da Broca	282
5.10	Hidráulica de Perfuração e Limpeza de Poço	286
5.10.1	Modelos Reológicos Utilizados na Hidráulica de Perfuração	287
	Fluidos Newtonianos	287
	Fluidos Não Newtonianos	288
	a) Modelo de Bingham	289
	b) Modelo de Potência	290
5.10.2	Hidráulica de Perfuração	294
5.10.3	Método Simplificado para Cálculo de Hidráulica	297
5.10.4	Limpeza de Poço	312
5.11	Interceptação de Poços	321
5.11.1	Ferramentas de Detecção Magnética (<i>Magnetic Ranging Tools</i>)	322
5.12	Poços de Alívio	324
5.12.1	Fatores que Afetam a Execução de um Poço Direcional de Alívio	325
	a) Lâmina D'Água	325
	b) Profundidade da Erupção	326
5.12.2	Trajetória do Poço em Erupção	327

5.12.3	Avaliação da Área para a Perfuração do Poço de Alívio	328
5.12.4	Seleção da Localização para o Poço de Alívio	328
	a) Distância do Poço em Erupção	328
	b) Ponto Ótimo de Interceptação	329
	c) Proximidade de Outros Poços	329
	d) Erupções de Gases Rasos (<i>Shallow Gas</i>)	329
	e) Ventos	330
	f) Correntezas	330
	g) Calor	330
	h) Batimetria	331
	i) Migração de Gás no Fundo do Mar (<i>Gas Seepage</i>)	331
	j) Companhias Seguradoras e Agências Reguladoras	331
5.12.5	Equipamentos Direcionais Utilizados na Construção do Poço de Alívio Direcional	331
GLOSSÁRIO.		333
REFERÊNCIAS		339