

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Análise da Segurança em Operações Marítimas
de Exploração e Produção de Petróleo**

Autor: **Victor Carlos Costa de Oliveira**
Orientador: **Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Análise da Segurança em Operações Marítimas de Exploração e Produção de Petróleo

Autor: Victor Carlos Costa de Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka

Curso: Ciências e Engenharia de Petróleo

Dissertação de mestrado apresentada à Subcomissão de Pós-Graduação Interdisciplinar de Ciências e Engenharia de Petróleo (FEM e IG), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo.

Campinas, 2004
SP - Brasil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Análise da Segurança em Operações Marítimas de Exploração e Produção de Petróleo

Autor: **Victor Carlos Costa de Oliveira**

Orientador: **Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka, Presidente
Universidade Estadual de Campinas

Dr. Shiniti Ohara
Shell Brasil Ltda

Prof. Dr. Osvair Vidal Trevisan
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 10 de Fevereiro de 2004.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família em especial aos meus pais Carlos Gomes de Oliveira e Maria de Fátima Costa de Oliveira, e à minha noiva Mariana Martins Guimarães, que sempre me apoiaram na realização deste sonho.

Agradecimentos

Inicialmente, agradeço aos meus pais Oliveira e Fátima, que me mostraram o caminho do respeito e da solidariedade humana. Minhas irmãs Indiannara Sabrina e Domynnick Carla que sempre estiveram presentes no meu coração.

À minha amada noiva Mariana Guimarães pelo imenso carinho, amor, incentivo e ajuda dados nos momentos difíceis deste trabalho, e que mesmo estando longe fisicamente sempre esteve presente no meu coração.

À minha segunda família Paulo de Tarso, Lúcia Helena e Rafael Guimarães pelo carinho, respeito e atenção pelo qual me receberam em suas vidas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka pela inestimável ajuda, compreensão, aprendizado e confiança a mim concedido ao longo desses anos.

Aos meus colegas do Laboratório de inteligência Artificial Aplicada ao Petróleo, Kazuo, Ivan, Márcio, Tiago, Rogério e Karina. Um agradecimento em especial, ao amigo Prof. José Ricardo pelas sugestões e ajudas nos momentos difíceis deste estudo.

Aos grandes amigos aqui Jansen Dantas, Carolina Teixeira, Fernando Fabris e Marcelo Lopes pela ajuda incondicional na realização deste trabalho.

À secretária Fátima e à bibliotecária Alice pela atenção e carinho que sempre me atenderam.

À Agência Nacional do Petróleo e ao CEPETRO pelo apoio financeiro.

Finalmente, aos alunos e professores do Departamento de Engenharia de Petróleo pela convivência amigável e sadia ao longo desses anos.

*Tudo o que é bom, dura o tempo suficiente
para se tornar inesquecível.....*
(Autor Desconhecido)

Resumo

OLIVEIRA, Victor Carlos Costa. *Análise da Segurança em Operações Marítimas de Exploração e Produção de Petróleo*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 122 p. Dissertação de Mestrado.

No presente estudo, 745 casos de acidentes operacionais foram coletados a partir do *Mineral Management Service* envolvendo operações marítimas de exploração e produção de petróleo na região do Golfo do México no período de 1995 a 2000. Inicialmente, os dados dos acidentes operacionais foram cuidadosamente analisados, sendo divididos de acordo com as operações no instante do acidente (perfuração, completção, produção e intervenção em poços). O resultado desta análise mostrou que 68,99% dos acidentes operacionais ocorrem em operações marítimas de produção de petróleo, 24,56% em operações de perfuração, 3,89% em operações de intervenção em poços e finalizando 2,55% em operações de completção de poços. A avaliação dos dados dos acidentes operacionais revelou o comportamento destes para cada operação ao longo dos anos. Nesta análise foi possível identificar os maiores agentes que colaboraram para o aumento do número de acidentes em operações marítimas de exploração e produção de petróleo no Golfo do México, bem como as respectivas conseqüências de cada acidente. Tal procedimento proporciona informações que podem auxiliar engenheiros no aprimoramento e eficácia de novos programas de segurança operacional.

Palavra Chave – Segurança Operacional, Análise de Acidentes, Programas de Segurança e Operações Petrolíferas.

Abstract

OLIVEIRA, Victor Carlos Costa. *Safety Analyse in Offshore Operations of Exploration and production Oil*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 122 p. Dissertação Mestrado.

In the present study, 745 operational accidents cases were collected from the Mineral Management Service and involved offshore operation of oil and gas exploration and production in the Gulf of Mexico region between 1995 and 2000. Initially, operational accident's data were carefully analyses and divided in according to the operations soon after their occurrence (drilling, completion, production and workover). This result has shown that 68.99% of the operational accidents occurred in offshore oil production operations, 24.56% in offshore drilling operations, 3.89% in offshore workover operations, and, finally, 2.55% in offshore completion operations. The evaluation of the operational accidents revealed the behavior of each operation along of those years. In this analyses, it was possible to identify the main agents that collaborate to increase the number of accidents in offshore operations of oil exploration and production, as well as, the respective consequence for each accident. Such procedure may provided information that can assist engineers to improve the efficacy for new operational safety program.

Key Words – Operational Safety, Accident Analyze, Safety Program and Petroleum Operational

Índice

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xvii
Nomenclatura.....	xviii
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica.....	5
3. Equipamentos e Sistemas Utilizados na Segurança e Controle de Poços de Petróleo Offshore	14
3.1 Cabeça de Poço.....	14
3.2 Preventor de Erupção (BOP).....	16
3.3 Fluido de Perfuração/Completação	20
3.4 Cimentação de Poços.....	23
3.5 Obturador.....	25
4. Fundamentos para a Análise dos Dados de Acidentes Operacionais	27
4.1 Conceitos, Definições e Procedimentos	27
5. Análise dos Resultados de Acidentes Operacionais em Plataformas Marítimas no Golfo do México.....	36
5.1 Acidentes Operacionais em Plataformas Marítimas.....	36
5.2 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Perfuração	39
5.3 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Completação	54
5.4 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Produção	60

5.5 Análise dos Acidentes Operacionais em Operações de Intervenção em Poço	66
5.6 Visão Geral dos Acidentes Operacionais na Região do Golfo do México.....	70
5.7 Segurança Operacional no Brasil	75
6. Conclusões e Recomendações	82
Referência Bibliográfica	85
Apêndice A	91
Apêndice B	98
Apêndice C	104
Apêndice D	111
Apêndice E	116

Lista de Figuras

Figura 2.1: Diagrama do Memorando de Entendimento. Fonte: Hill (2001).....	7
Figura 3.1: Esquema de uma cabeça de poço em plataforma fixa.	15
Figura 3.2: Imagem esquemática de um conjunto submarino de preventores.....	19
Figura 3.4: Esquema do resultado de uma operação de cimentação.	24
Figura 4.1: Demonstração das variáveis utilizadas na análise dos acidentes operacionais no GOM.....	33
Figura 5.1: Distribuição cronológica do número de acidentes operacionais ao longo do período em análise. Fonte: <i>Mineral Management Service</i>	38
Figura 5.2: Distribuição dos acidentes operacionais na região do Golfo do México, de acordo com as operações envolvidas.....	39
Figura 5.3: Gráfico comparativo entre o número médio de sondas de perfuração atuantes na região do Golfo do México e o número de acidentes operacionais nas operações de perfuração relatados ao <i>Outer Continental Shelf Database</i> no período de 1995 a 2000. Fonte: <i>Mineral Management Service</i> (2003) e <i>Baker Hugues</i> (2003).....	41
Figura 5.4: Distribuição percentual das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de perfuração no Golfo do México no período de 1995 a 2000.....	50
Figura 5.5: Distribuição anual do número de sondas de perfuração e do número de acidentes causados por erros humanos no Golfo do México entre 1995 e 2000. Fonte: <i>Mineral Management Service</i>	52
Figura 5.6: Gráfico da confiabilidade humana em operações de perfuração no Golfo do México no período de 1995 a 2000.	53
Figura 5.7: Distribuição das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de completação de poços de petróleo na região do Golfo do México.	60

Figura 5.8: Distribuição percentual das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de produção de poços de petróleo no Golfo do México.....	66
Figura 5.9: Distribuição percentual das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de intervenção em poços de petróleo no Golfo do México.....	69
Figura 5.10: Distribuição das conseqüências dos acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México no período de 1995 a 2000.....	74
Figura 5.11: Modelo básico de um formulário eletrônico utilizado para o repasse de informações sobre a ocorrência de acidentes operacionais aos órgãos responsáveis.....	78
Figura 5.12: Modelo básico de um formulário para divulgação de um Alerta de Segurança.....	80
Figura A.1: Principais causas de acidentes operacionais em operações de perfuração no Golfo do México, 183 acidentes.....	91
Figura A.2: Conseqüências de erros humanos em operações de perfuração, 66 casos.....	91
Figura A.3: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de perfuração, 54 casos...	92
Figura A.4: Conseqüências de escorregões/tropeços em operações de perfuração, 14 casos.....	92
Figura A.5: Conseqüências do péssimo trabalho de cimentação em operações de perfuração, 6 casos.....	92
Figura A.6: Conseqüências de perda de pressão hidrostática em operações de perfuração, 6 casos.....	93
Figura A.7: Conseqüências de condições ambientais adversas em operações de perfuração, 2 casos.....	93
Figura A.8: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de perfuração, 11 casos.....	93
Figura A.9: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de perfuração, 3 casos.....	94
Figura A.10: Conseqüências de erros humanos/condições ambientais adversas em operações de perfuração, 2 casos.....	94
Figura A.11: Conseqüências de falhas de equipamentos/condições ambientais adversas em operações de perfuração, 1 caso.....	94
Figura A.12: Principais conseqüências de acidentes em operações de perfuração na região do Golfo do México, 206 casos.....	95

Figura A.13: Causas de funcionários feridos em operações de perfuração, 78 casos.	95
Figura A.14: Causas de incêndios em operações de perfuração, 77 casos.	95
Figura A.15: Causas de perda de controle de poço em operações de perfuração, 18 casos.	96
Figura A.16: Causas de explosões em operações de perfuração, 7 casos.	96
Figura A.17: Causas de <i>blowout</i> em operações de perfuração, 3 casos.	96
Figura A.18: Causas de poluição em operações de perfuração, 3 casos.	97
Figura A.19: Causas de colisões em operações de perfuração, 3 casos.	97
Figura B.1: Principais causas de acidentes em operações de completção na região do Golfo do México, 19 acidentes.	98
Figura B.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de completção, 6 casos. .	98
Figura B.3: Conseqüências de erros humanos em operações de completção, 4 casos.	99
Figura B.4: Conseqüências de perda de pressão hidrostática em operações de completção, 2 casos.	99
Figura B.5: Conseqüências de perigo geológico raso em operações de completção, 1 caso.	99
Figura B.6: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de completção, 2 casos.	100
Figura B.7: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de completção, 1 caso.	100
Figura B.8: Conseqüências de condições ambientais adversas/escorregões/tropeços em operações de completção, 1 caso.	100
Figura B.9: Principais conseqüências de acidentes em operações de completção na região do Golfo do México, 33 casos.	101
Figura B.10: Causas de funcionários feridos em operações de completção, 17 casos.	101
Figura B.11: Causas de incêndios em operações de completção, 5 casos.	101
Figura B.12: Causas de perda de controle de poço em operações de completção, 4 casos.	102
Figura B.13: Causas de explosões em operações de completção, 3 casos.	102
Figura B.14: Causas de mortes de funcionários em operações de completção, 3 casos.	102
Figura B.15: Causas de <i>blowout</i> em operações de completção, 1 caso.	103
Figura C.1: Principais causas de acidentes em operações de produção na região do Golfo do México, 514 acidentes.	104
Figura C.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de produção, 228 casos.	104

Figura C.3: Conseqüências de erros humanos em operações de produção, 164 casos.....	105
Figura C.4: Conseqüências de escorregões/tropeços em operações de produção, 36 casos.	105
Figura C.5: Conseqüências de condições ambientais adversas em operações de produção, 17 casos.....	105
Figura C.6: Conseqüências de descontrole de embarcações em operações de produção, 3 casos.....	106
Figura C.7: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de produção, 23 casos.....	106
Figura C.8: Conseqüências de falhas de equipamentos/condições ambientais adversas em operações de produção, 6 casos.	106
Figura C.9: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de produção, 5 casos.....	107
Figura C.10: Conseqüências de erros humanos/condições ambientais adversas em operações de produção, 4 casos.....	107
Figura C.11: Conseqüências de condições ambientais adversas/escorregões/tropeços em operações de produção, 1 caso.....	107
Figura C.12: Principais conseqüências de acidentes em operações de produção na região do Golfo do México, 653 casos.....	108
Figura C.13: Causas de incêndios em operações de produção, 366 casos.	108
Figura C.14: Causas de explosões em operações de produção, 35 casos.....	108
Figura C.15: Causas de funcionários feridos em operações de produção, 199 casos.....	109
Figura C.16: Causas de colisões em operações de produção, 27 casos.....	109
Figura C.17: Causas de poluição ambiental em operações de produção, 10 casos.	109
Figura C.18: Causas de perda de controle de poço em operações de produção, 3 casos.	110
Figura D.1: Principais causas de acidentes operacionais em operações de intervenção em poço na região do Golfo do México, 29 acidentes.	111
Figura D.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de intervenção em poço,	111
Figura D.3: Conseqüências de erros humanos em operações de intervenção em poço, 10 casos.....	112
Figura D.4: Conseqüência de escorregões/tropeços em operações de intervenção em poço, 3 casos.....	112

Figura D.5: Conseqüência de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de intervenção em poço, 1 caso.....	112
Figura D.6: Principais conseqüências de acidentes operacionais em operações de intervenção em poços na região do Golfo d México, 39 casos.	113
Figura D.7: Causas de funcionários feridos em operações de intervenção em poço, 20 casos...	113
Figura D.8: Causas de incêndios em operações de intervenção em poço, 12 casos.....	113
Figura D.9: Causas de funcionários mortos em operações de intervenção em poço, 2 casos.....	114
Figura D.10: Causas de perda de controle de poço em operações de intervenção em poço, 2 casos.....	114
Figura D.11: Causas de explosões em operações de intervenção em poço, 1 caso.....	114
Figura D.12: Causa de poluição ambiental em operações de intervenção em poço, 1 caso.....	115
E.2	118
Figura E.1: Comportamento gráfico da Taxa de Falhas para variação dos valores do Fator de Forma, assumindo $\alpha = 1$. Fonte: Meyer (1983).	122
Figura E.2: Comportamento gráfico da Frequência de Falhas para variação do Fator de Forma ($\beta = 1, \beta = 2$ e $\beta = 3$), adotando α constante. Fonte: Meyer (1983).....	123

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Propriedades dos fluidos de perfuração.....	21
Tabela 3.2: Classificação dos tipos de cimentos utilizados na cimentação de poços de petróleo, conforme o API.	25
Tabela 3.3: Recomendações da Petrobrás para aplicação do obturador de produção. Fonte: Garcia (2002).	26
Tabela 5.1: Causas imediatas de acidentes operacionais identificadas no universo de 183 acidentes ocorridos nas sondas de perfuração no Golfo do México entre 1995 e 2000. Fonte: <i>Outer Continental Shelf</i>	42
Tabela 5.2: Distribuição dos acidentes operacionais na perfuração de poços de petróleo no Golfo do México que tiveram mais de uma causa direta no desencadear do acidente.	45
Tabela 5.3: Distribuição das causas dos acidentes operacionais durante as operações de completação de poços marítimos de petróleo, localizados no Golfo do México.	57
Tabela 5.4: Distribuição das causas dos acidentes operacionais na completação de poços de petróleo no Golfo do México que apresentaram mais de uma causa direta na ocorrência dos acidentes.	58
Tabela 5.6: Distribuição das principais causas dos acidentes operacionais durante as operações de intervenção em poços de petróleo <i>offshore</i> localizados no Golfo do México.	68
Tabela 5.7: Quadro Geral das causas de acidentes em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo no Golfo do México no período de 1995 e 2000.	70

Nomenclatura

α	Constante da Taxa de Falhas
β	Fator de Forma
e	Exponencial
$f_{(t)}$	Frequência de Falhas
μ	Duração até falhar esperada
n	Número total de equipamentos
NF	Número de equipamentos que apresentam falhas
$R_{(t)}$	Função Confiabilidade ou Confiabilidade
$Z_{(t)}$	Taxa de Falhas
ANP	Agência Nacional de Petróleo
API	American Petroleum Institute
CPP	Cimento para Poços Petrolíferos
GOM	Gulf of Mexico
HPHT	High Pressure and High Temperature
IADC	International Association of Drilling Contractor
IWCF	International Well Control Forum
MMS	Mineral Management Service
MOU	Memorandum of Understanding
MRM	Mineral Revenue Management
MTBF	Mean Time Between Failure
NPD	Norwegian Petroleum Directorate

OCS	Outer Continental Shelf
OCS Land Act	Outer Continental Shelf Land Act
OCS Database	Outer Continental Shelf Database
OGP	Oil and Gas Producers
OMM	Offshore Mineral Management
PINC List	Potential Incident Non-Compliance List
SINDIPETRO	Sindicato dos Petroleiros
USGC	United States Coast Guard
WellCAP	Well Control Accreditation Program

Capítulo 1

Introdução

O sucesso nas operações desempenhadas em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo está diretamente relacionado a um bom programa de segurança operacional aplicados nestas unidades. O propósito primário de um programa de segurança operacional é identificar previamente as causas dos acidentes para as perdas humanas, perdas econômicas e perdas ambientais, buscando minimizar o número de acidentes nas operações em plataformas marítimas. De acordo com Berger (2000), o bom controle e gerenciamento dos processos e sistemas atuantes nas plataformas marítimas são responsáveis pelo aumento da confiança, pelos funcionários, no êxito das operações.

Com o intuito de minimizar o número de acidentes nas unidades marítimas de petróleo, programas de segurança operacional vêm sendo desenvolvidos pelas grandes companhias atuantes no setor petrolífero ao longo dos anos. Atualmente o *Well Control Accreditation Program* (IADC) e o *International Well Control Forum* são os mais difundidos e aceitos programas de segurança operacional pelas companhias petrolíferas. Estes dois programas consistem no treinamento dos funcionários em procedimentos operacionais específicos para cada operação desenvolvida nas unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. Hoje em dia, as grandes companhias petrolíferas exigem a aprovação dos funcionários, sejam funcionários de firmas contratadas ou contratantes, em qualquer dos dois programas acima citados para validar o embarque dos mesmos em suas unidades marítimas de petróleo.

No presente estudo, foram adquiridos dados de 745 casos de acidentes operacionais ocorridos em unidades marítimas instaladas no Golfo do México no período de 1995 a 2000. Estes acidentes foram classificados e analisados conforme as operações envolvidas (perfuração, completção, produção e intervenção em poço). O objetivo deste trabalho é fornecer informações, baseadas em dados de acidentes operacionais, apontando os pontos críticos das operações de exploração e produção de petróleo na região do Golfo do México, auxiliando os engenheiros na busca pelo aprimoramento dos programas de segurança operacional. Desta forma, visando minimizar o número de acidentes operacionais em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo.

Os acidentes operacionais indicados no *Outer Continental Shelf Database* foram coletados, classificados e analisados, totalizando 745 acidentes, referentes ao período de 1995 a 2000, distribuídos da seguinte forma: operação de perfuração (183), operação de completção (19), operação de produção (514) e operação de intervenção em poço (29). Para cada operação foram identificadas as principais causas e suas respectivas conseqüências dos acidentes operacionais. Este tipo de procedimento serve de auxílio para o desenvolvimento de programas eficazes de segurança operacional por parte das companhias petrolíferas e agências reguladoras e fiscalizadoras.

Conforme dados da Agência Nacional de Petróleo, no Brasil estima-se a perfuração de aproximadamente 415 poços exploratórios nas 15 regiões portadoras de blocos leiloados a partir de 1998, sendo que 54 destes encontram-se localizados na Bacia de Campos/Rio de Janeiro (maior província produtora de petróleo do Brasil). Desta forma, revela-se a importância de análises de dados de acidentes operacionais ocorridos ao longo dos anos nas regiões produtoras de petróleo e/ou gás no Brasil. O resultado deste estudo será o mapeamento dos acidentes operacionais em cada região, procurando desta forma auxiliar no desenvolvimento de programas de segurança operacional específicos, para assim antecipar-se aos acidentes.

Atualmente no Brasil, não existe uma política de segurança operacional, definida e explícita, atuante sobre as companhias petrolíferas instaladas em solo nacional. Este problema deve-se pela inexistência de leis que determinem responsabilidades e jurisdições para os órgãos do governo (Marinha, Ministério do Trabalho, Ibama e Agência Nacional de Petróleo) envolvidos no âmbito da segurança e fiscalização de operações em unidades marítimas de petróleo. Desta forma, fica a critério das operadoras a criação de seus próprios programas de procedimentos operacionais.

Organização do Trabalho

A presente dissertação está estruturada de maneira que a ordem dos capítulos represente uma seqüência lógica das informações das atividades propostas como uma rotina para realizar uma avaliação de regiões com altos índices de acidentes operacionais.

No Capítulo 2 são apresentadas informações sobre o *Mineral Management Service* (MMS) e *United States Coast Guard* (USCG) referentes a responsabilidades e jurisdições de cada órgão na região do Golfo do México. O tema de coleta, criação e análise estatística de casos de acidentes operacionais servindo de base para o desenvolvimento de programas de combate e prevenção de acidentes, é abordado através de uma revisão bibliográfica, reunindo colaborações de especialistas na área. Esta revisão é essencialmente necessária para resgatar a larga experiência destes profissionais no âmbito da segurança e validação do nosso estudo.

No Capítulo 3 são descritos de forma breve alguns conceitos de equipamentos e sistemas utilizados na segurança e controle de poços de exploração e produção de petróleo *offshore*¹. De acordo com a literatura o sistema de segurança de um poço de petróleo é constituído por um equipamento de cabeça de poço e equipamentos que possibilitem o fechamento e controle do poço. Dentre os mecanismos utilizados no fechamento e controle de poço tem-se o preventor de erupções (*blowout preventer*² - BOP), fluidos de perfuração/completação, cimentação dos poços e os obturadores (*packers*³).

¹*Offshore* – Operações Petrolíferas realizadas no Mar.

²*Blowout Preventer* – Denominação internacional do preventor de erupções, mais comumente denominado de BOP.

³*Packer* – Termo utilizado internacionalmente para definir obturadores.

No Capítulo 4 descrevem-se os conceitos, definições e procedimentos utilizados no desenvolvimento e criação de um banco de dados de acidentes operacionais ocorridos no Golfo do México. Os parâmetros envolvidos na classificação dos acidentes foram as causas (erros humanos, falhas de equipamentos, escorregões/tropeços e etc) e suas respectivas conseqüências (incêndios, explosões, colisões, perda de controle do poço e etc).

No Capítulo 5 são descritos os resultados e comentários referentes à análise dos acidentes operacionais em plataformas marítimas de exploração e produção de óleo e gás localizados no Golfo do México, referente ao período de 1995 a 2000. Os acidentes relatados pelo MMS e a Guarda Costeira dos Estados Unidos são ordenados de acordo com as operações (perfuração, completação, produção e intervenção em poços) decorridas no momento do acontecimento. Neste capítulo são discutidas as principais causas e conseqüências que desencadearam estes acidentes. Desta forma, apresenta-se os principais fatores responsáveis pelo desencadeamento dos acidentes, auxiliando assim na prevenção à recorrência de acidentes similares.

No Capítulo 6 apresenta-se uma introdução aos conceitos de Taxa de Falhas e confiabilidade humana. A teoria disponibiliza mecanismos capazes de quantificar a validade de determinados componentes estruturais no funcionamento de uma operação. O conceito aplicado visa avaliar a confiabilidade humana em operações de perfuração no Golfo do México, sendo capaz de auxiliar especialistas na elaboração de regras para prevenção de futuros acidentes.

No Capítulo 7 o trabalho é finalizado apresentando-se conclusões e recomendações acerca do tema e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O presente estudo tem como base a coleta de informações de acidentes operacionais no Golfo do México disponibilizados pela agência reguladora dos Estados Unidos. Desta forma, surge a necessidade de compreender a estruturação da agência americana referente aos programas de segurança e fiscalização implementados na região do Golfo.

O *Mineral Management Service* (MMS) é a agência reguladora do governo dos Estados Unidos, com mais de 50 anos de atividades. O MMS é responsável pela administração da extração das reservas minerais (*onshore*¹ e *offshore*) de óleo e gás nos EUA. A agência encontra-se vinculada ao Departamento do Interior Norte-Americano, possuindo uma renda anual em torno de 5 bilhões de dólares, provenientes da extração e produção de petróleo e gás. O MMS é composto por dois sub-órgãos:

- *Offshore Mineral Management* (OMM) – responsável pela fiscalização da exploração e produção de óleo e gás em regiões marítimas, tais como: Golfo do México, Alaska e Pacífico;
- *Mineral Revenue Management* (MRM) – responsável pela fiscalização das operações de extração de petróleo e gás localizados em terra.

¹*Onshore* - Operações petrolíferas realizadas em terra.

Anualmente técnicos do MMS realizam inspeções nos equipamentos de segurança obrigatórios em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo e gás, localizados na plataforma continental americana. Eles visitam as unidades *offshore* fazendo perguntas existentes no relatório denominado de *Potencial Incident Non-Compliance List (PINC List²)*, fruto da compilação de normas ambientais e de segurança vigentes no continente americano.

A fiscalização é requerida e autorizada pela *Outer Continental Shelf (OCS) Land Act³*, o objetivo deste processo anual é a prevenção de acidentes operacionais e ambientais causados por falhas de equipamentos. Uma vez detectado falhas ou problemas em equipamentos vistoriados, os técnicos autuam as companhias, ordenando a troca ou reparo do equipamento, estipulando prazos para a correção. O não cumprimento destas exigências capacita os técnicos a aplicarem multas de até 25.000 dólares, dependendo da gravidade da situação.

Desde 1953, o MMS vem compartilhando responsabilidades com a Guarda Costeira Americana (*United States Coast Guard⁴* - USCG) em atividades realizadas na plataforma continental americana. De acordo com Hill (2001), ao longo destes anos, situações de sobreposições de obrigações e responsabilidades foram comuns entre os dois órgãos. O Departamento do Interior dos Estados Unidos visando resolver este problema instituiu em 1978 um Memorando de Entendimento (Memorandum of Understanding - MOU). O MOU foi idealizado e desenvolvido por especialistas vindos do MMS e da Guarda Costeira Americana. De uma forma geral o documento propõem-se a:

- estabelecer alterações na legislação, definindo assim, a jurisdição das agências;
- verificar os programas de inspeção das agências para evitar duplicidade das atividades de fiscalização;
- estabelecer, em caso de acidentes, a agência responsável pela condução das investigações;
- revisar os métodos investigativos das agências, buscando adquirir eficiência no processo;
- analisar os processos de certificação das agências, visando padronizá-los.

²*PINC List* - Documento utilizado pelo MMS para verificar o funcionamento dos equipamentos em unidades marítimas.

³*Outer Continental Shelf Land Act* - Lei vigente nos Estados Unidos, regulamentadora de operações marítimas.

⁴*United States Coast Guard* - Guarda Costeira Americana, podendo ser representada pela sigla USCG.

A criação do memorando de entendimento teve como objetivo principal determinar as responsabilidades e jurisdições entre o MMS e a USCG. Ele passou por uma reformulação em 1990, tendo sua última atualização em 1998. A ilustração a seguir revela a hierarquia existente entre o MOU e as regulamentações das agências.

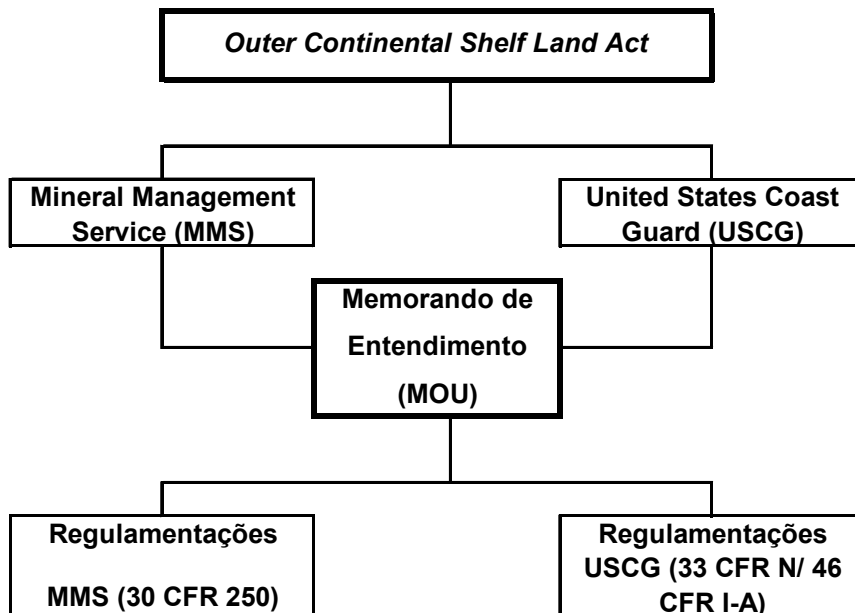


Figura 2.1: Diagrama do Memorando de Entendimento. Fonte: Hill (2001).

De acordo com o Memorando de Entendimento, o MMS é responsável pela padronização e fiscalização das regulamentações referentes aos procedimentos operacionais utilizados nas unidades marítimas de exploração e produção de petróleo na região do Golfo do México. Entretanto, a USCG responsabiliza-se pelas regulamentações cabíveis à qualificação dos mecanismos estruturais empregados nas unidades marítimas. O *Outer Continental Shelf Land Act* é considerado o órgão supremo para as atividades de extração mineral na plataforma continental dos Estados Unidos, funciona no gerenciamento do memorando de entendimento analisando, validando ou revogando quaisquer regulamentações vigentes ou propostas pelos dois órgãos, a finalidade é prevenir a duplicidade de atividades.

O MMS e a USCG desenvolvem um programa de segurança em plataformas marítimas localizadas no Golfo do México, Alaska e Pacífico visando reduzir o número de acidentes operacionais. O envolvimento das companhias petrolíferas faz-se obrigatório, pois desempenham papel fundamental na validação do programa, são responsáveis pela notificação aos órgãos cabíveis de todos os acidentes ocorridos em suas instalações. Caso contrário estão sujeitas a punições, previstas em contrato assinado anteriormente. A comunicação do acidente é realizada através de relatórios descritivos enviados para os órgãos competentes, via *correio eletrônico* ou correios.

Os acidentes relatados pelas companhias ao MMS são organizados e catalogados no *Outer Continental Shelf Database*. Anualmente o MMS emite relatórios com todos os acidentes ocorridos ao longo do ano, disponibilizando-os para consulta pública. No decorrer do ano, quando identificada uma tendência de acidentes, ou seja, repetição comum do fator causador de acidentes, institui-se um Alerta de Segurança (*Safety Alert*). A Figura 2.2 revela o processo percorrido pela informação, da origem do acidente até a comunicação pública.

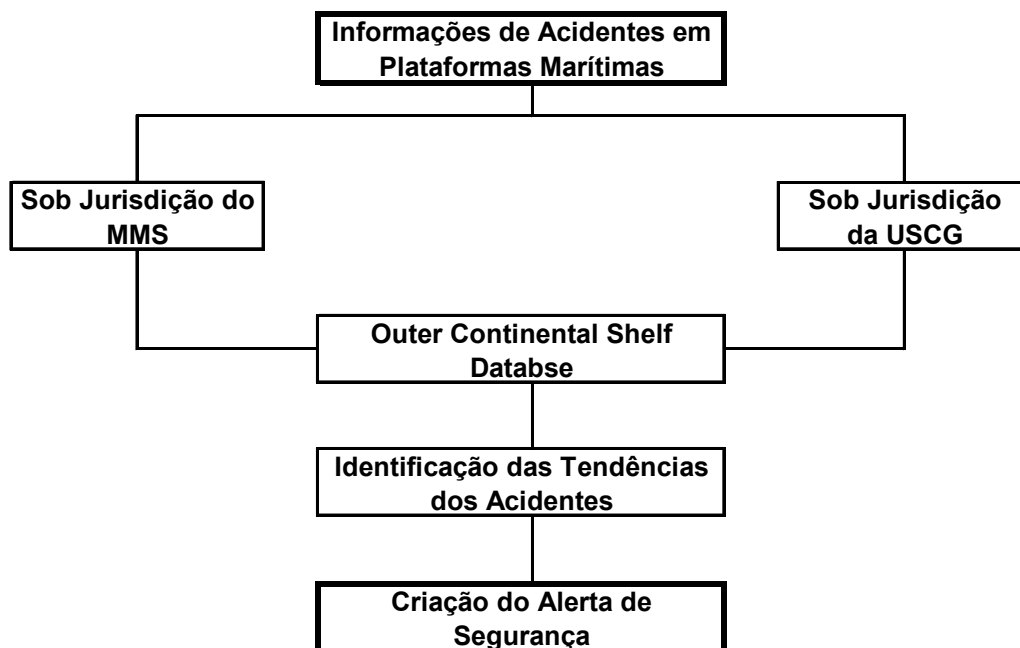


Figura 2.2: Fluxograma do caminho percorrido informação do acidente operacional até sua comunicação pública.

Com relação ao Alerta de Segurança, ele mostra a tendência de ocorrência de certos acidentes numa dada região durante um determinado intervalo de tempo. Ele tem como finalidade informar as companhias operadoras atuantes na região, sobre os acidentes que mais ocorrem em tal região. Com isso, as companhias podem adotar procedimentos para evitar a recorrência desses acidentes. O Alerta de Segurança é um relatório sucinto e informativo disponibilizado pelo MMS às companhias do setor petrolífero. De forma geral, o relatório é estruturado da seguinte maneira:

- **Resumo:** deve conter uma breve descrição do acidente e especificar o local ou unidade de perfuração/produção que se deu esse acidente;
- **Acontecimento:** deve descrever detalhadamente o acidente e buscar possíveis indicativos que levem a sua ocorrência;
- **Recomendações:** deve conter informações preventivas para que acidentes semelhantes possam ser evitados.

Em meados dos anos 50 com o avanço tecnológico na indústria do petróleo no Golfo do México, problemas referentes à segurança operacional em unidades marítimas de petróleo tornaram-se um grande desafio para as companhias petrolíferas operadoras. Desde então, seguindo as normas vigentes nas respectivas regiões, as operadoras procuraram aprimorar ou desenvolver seus próprios programas de segurança, visando à redução nos índices de acidentes.

Devido à escassez de trabalhos sobre segurança em plataformas marítimas, Dawson (1966) realizou um estudo sobre segurança em operações de perfuração em plataformas localizadas na região do Golfo do México. Este estudo baseou-se na análise de requisitos encontrados nas leis e regulamentações da Guarda Costeira Americana referente a procedimentos de segurança em operações marítimas de perfuração. Foram abordados, de forma rápida, os equipamentos obrigatórios de segurança tais como colete salva vidas, sistema contra incêndio, sons e luzes de alertas de segurança, itens indispensáveis para proteção dos funcionários em unidades marítimas. O autor concluiu que o constante treinamento de pessoal e a checagem e manutenção dos equipamentos de segurança, aumentam a confiança dos funcionários nas plataformas durante a realização das operações, minimizando o número de acidentes.

Anos mais tarde, um estudo abordando a segurança em operações de perfuração e produção em unidades marítimas foi realizada por Wirsching (1972). O avanço da tecnologia nos equipamentos de segurança de poço (*blowout preventer*, válvulas e etc), a eficácia no treinamento de pessoal e a melhor precisão na determinação das pressões de formação foram fundamentais para o melhoramento da segurança nas operações *offshore*. De acordo com o autor, a redução do número de acidentes no Golfo do México é consequência do avanço tecnológico nesta área.

Thorman (1989) realizou um estudo verificando a validade das legislações na segurança de operações *offshore*. Buscando analisar a importância da legislação no âmbito da segurança marítima. O autor ressalta que as legislações são usadas na validação de equipamentos ou sistemas, não sendo dada importância às atividades desenvolvidas por seres humanos, sendo que, o fator erro humano é tido como maior responsável por acidentes em operações marítimas. Falta de experiência, falta de conhecimento, falta de atenção, elevada pressão no trabalho e péssima comunicação entre os funcionários são fatores preponderantes para o agravamento do número de acidentes causados por pessoas nas plataformas marítimas de exploração e produção de petróleo. Ele concluiu que a estabilidade e o incentivo a funcionários de empresas terceirizadas são fundamentais na minimização do número de acidentes.

A utilização de dados estatísticos de acidentes como fator preponderante nos programas de segurança foi estudado por King (1990) em seu trabalho. O autor estabeleceu que a clareza e a precisão nos relatos dos acidentes são tidas como indispensáveis na busca pela identificação dos grupos ou operações que necessitam de urgente intervenção. Seguindo o raciocínio, concluiu que este tipo de mecanismo serve como base para a criação e desenvolvimento de políticas preventivas de segurança, elevando o nível de sucesso dos programas de segurança implementados nas plataformas marítimas.

A importância da estatística na prevenção de acidentes foi enfatizada por Galliker (1993) em seu trabalho. O autor analisou o resultado de uma pesquisa publicada pela *International Social Security Association* em 30 países referente a estatísticas de acidentes em ambientes de trabalho.

A hipótese de haver uma multiplicidade na compilação das informações nos dados dos acidentes, como também a diversidade de definições nos métodos de avaliação, não contribui para a aplicação do resultado de um programa estatístico em diferentes regiões ou países. Neste contexto, o autor concluiu que a não conformidade de conceitos na identificação das causas e conseqüências dos acidentes operacionais torna infundadas e impróprias as medidas preventivas de segurança adotadas pelas companhias com base em dados estatísticos.

De acordo com a *British Standard Institution* (1994) a dor e o sofrimento que os funcionários e os membros de suas famílias são expostos após os acidentes não são contabilizados em levantamentos estatísticos. Com esse estudo concluiu-se que a não ocorrência de acidentes é descrição de um bom trabalho no âmbito da segurança. E ainda, que as empresas devem dar importância à segurança no mesmo nível das outras atividades que as compõe (desenvolvimento, produção e etc), adotando medidas de identificação, combate e controle dos acidentes operacionais, com o intuito de reduzir o número de acidentes em seus recintos.

A hipótese levantada por Galliker (1993) sobre a eficácia de programas de segurança baseados em dados estatísticos de acidentes oriundos de outras regiões ou países foi contestada por Bedricow (1996). Este último avaliou a importância da contagem e distribuição estatística dos acidentes, tendo como características as ocorrências e vítimas.

Segundo Bedricow (1996), os relatos dos acidentes constituem uma base de dados valiosa no âmbito da indicação, aplicação e controle de medidas preventivas. Esta base de dados pode ser formada a partir de informações de acidentes operacionais, coletadas de uma única empresa ou grupo, estado ou país devendo ser organizada em registros.

Bedricow (1996) considera que para se compor uma banco de dados sobre acidentes é de extrema relevância uma completa coleta desses dados, especificando suas causas diretas (afastamento do trabalho e paralisação da operação) e indiretas (incidentes) sendo utilizado como mecanismo de orientação para desenvolvimento de programas de combate e prevenção de acidentes.

Recentemente, visando aprofundar o entendimento na área de segurança *offshore* abordada anteriormente por Dawson (1966) e Wirsching (1972) em seus estudos, foi que Ramesh *et al* (2000) realizou um estudo enfatizando o envolvimento de empresas terceirizadas no âmbito da segurança *offshore* em operações de exploração e produção de petróleo. Segundo o estudo, deve ser instituída uma parceria entre as companhias contratantes e as contratadas, a fim de estabelecer um ambiente de trabalho seguro e livre de acidentes. Instalações adequadas a cada serviço, determinação dos níveis de perigo para equipamentos e pessoal, procedimentos de evacuação e salvamento são requisitos básicos para uma boa segurança, devendo ser estabelecidos previamente. Conforme a abordagem realizada, o autor concluiu que o ambiente marinho e o isolamento são as principais causas de acidentes apontados pelos funcionários. De acordo com ele, um programa de segurança deve obedecer a altos padrões de qualidade e prevenir acidentes em um primeiro estágio e não após o acidente ocorrido.

Os programas de segurança adotados pelas companhias contratantes que fazem uso de unidades marítimas de exploração e produção de petróleo foram avaliados por Berger (2000) em seu estudo. Segundo o autor os programas de segurança são muitas vezes desenvolvidos em terra e por profissionais que não possuem experiência prática em atividades marítimas. Tópicos como o compromisso de liderança com os funcionários, visão e regras de segurança, estabelecimento de metas e análise de acidentes são itens fundamentais para um correto e eficiente programa de segurança. O autor concluiu que a participação dos funcionários no desenvolvimento de um programa de segurança é válido. Visitas de campo realizadas por gerentes e supervisores são importantes para validação e análise do programa. Seguindo o raciocínio, ele ressalta a importância da limpeza e organização das áreas de trabalho, na redução brusca do número de acidentes.

O sistema de coleta de informações de acidentes utilizados pelas companhias foi o tema do trabalho desenvolvido por Gordon *et al* (2000). O autor verificou que a grande complexidade e extensão dos relatórios tornam difícil a compreensão e análise dos acidentes. Evidenciou que os sistemas adotados para coleta de informações sobre os acidentes são falhos. Com isso o autor desenvolveu modelos de relatórios de acidentes levando em consideração razões de ordem

psicológica. O autor concluiu que o emprego do fator psicológico em um relatório gera respostas próximas da realidade, não sendo válido para identificação dos culpados.

No Brasil, os acidentes em plataformas de petróleo na Bacia de Campos – Rio de Janeiro – foram abordados por Freitas *et al* (2001) em um estudo realizado para o Sindicato dos Petroleiros (SINDIPETRO). Fatores como o trabalho rotineiro, a insatisfação da estadia em plataformas marítimas, as viagens dos funcionários durante períodos críticos de tempo, a falta de segurança no trabalho e a exposição a altos níveis de ruídos são tidas como os principais causadores de acidentes operacionais nas plataformas marítimas de petróleo localizadas na Bacia de Campos. Segundo o autor, os índices de acidentes atribuídos aos funcionários de firmas terceirizadas giram em torno de 2/3 do total de acidentes ocorridos no período de análise. Fatores como exposição ao perigo, baixa remuneração e pouco treinamento são considerados como os principais colaboradores para os elevados índices de acidentes. O autor concluiu que se faz necessária uma modificação na forma de análise dos acidentes, de modo a utilizá-las para avaliar e aprimorar políticas de segurança. Ainda enfatiza a importância destes programas na área gerencial e organizacional das companhias.

Na grande maioria dos trabalhos revisados, observou-se de fato uma grande preocupação com a segurança operacional em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. A utilização de uma abordagem estatística junto à análise e classificação dos acidentes nestas unidades são preponderantes para o desenvolvimento e aprimoramento de programas de segurança. Este tipo de abordagem é capaz de identificar e apontar os pontos críticos nas operações petrolíferas. Desta forma direcionando os especialistas a tomarem decisões acertadas visando minimizar o número de acidentes operacionais.

O estudo disponibilizou conceitos organizacionais entre o *Mineral Management Service* e a Guarda Costeira Americana no âmbito da segurança operacional, caracterizando os tipos de acidentes como também suas conseqüências. Desta forma, parâmetros práticos foram obtidos com a revisão bibliográfica.

Capítulo 3

Equipamentos e Sistemas Utilizados na Segurança e Controle de Poços de Petróleo *Offshore*

Neste capítulo são apresentados de forma breve alguns conceitos de equipamentos ou métodos utilizados na segurança e controle de poços de exploração e produção de óleo e gás *offshore*. De forma mais específica, este capítulo abordará alguns dos principais elementos empregados na segurança de operações marítimas, dentre elas: cabeça de poço, preventor de erupções (BOP), fluidos de perfuração/completação, cimentação de poços e obturador.

3.1 Cabeça de Poço

A fase de completção do poço de petróleo inicia-se com a instalação dos equipamentos de segurança obrigatórios, dentre eles existe a cabeça de poço. De acordo com Foster *et al* (1987) o modelo de cabeça de poço é determinado após a escolha do tipo de sonda de perfuração ou produção a ser utilizada. No mar a cabeça de poço é instalada na superfície da sonda quando utilizadas plataformas fixas, sendo denominada completção seca. Entretanto, em plataformas flutuantes, a cabeça de poço localiza-se instalada no leito submarino, recebendo o nome de completção molhada.

A cabeça de poço tem como finalidade proporcionar a ancoragem e a vedação da coluna de revestimento. É composta por: cabeça de produção, cabeça de revestimento, suspensor de revestimento, carretel de perfuração e produção. A Figura 3.1 demonstra o esquema de uma cabeça de poço utilizada em plataformas fixas.

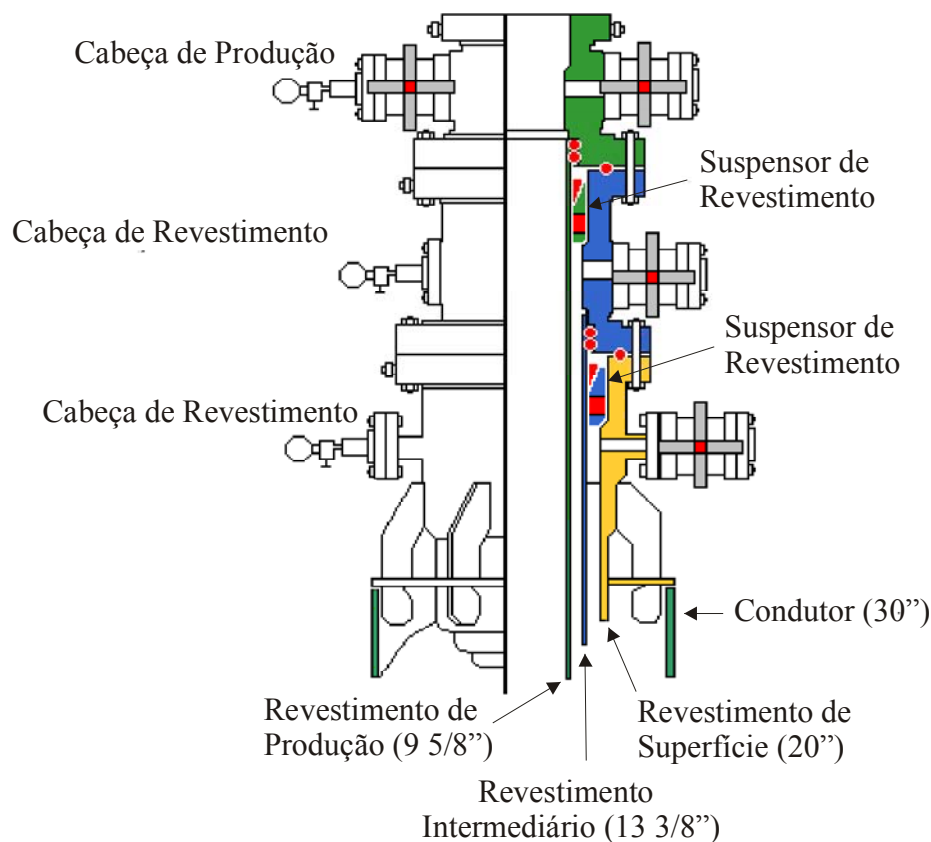


Figura 3.1: Esquema de uma cabeça de poço em plataforma fixa.

De acordo com Foster *et al* (1987) e Garcia (2002) a cabeça de revestimento é o primeiro equipamento a ser adaptado no topo do revestimento. Possui a finalidade de sustentar os revestimentos de produção e intermediários através dos suspensores, propiciar vedação do anular do revestimento intermediário ou de produção com a própria cabeça e de servir de auxílio para instalação dos demais elementos da cabeça de poço.

A cabeça de produção é conectada à cabeça de revestimento e ao BOP através de parafusos, o objetivo de sua utilização é servir de apoio para a coluna de produção que será descida posteriormente, por meio dos suspensores. Sua estrutura é composta de saídas laterais que permitem o acesso ao espaço anular entre o revestimento e a coluna de produção, caso necessário.

O elemento constituinte da cabeça de poço responsável pela ancoragem e vedação do revestimento com o corpo da cabeça denomina-se suspensor de revestimento. A vedação é realizada automaticamente, aplicando-se o peso do revestimento diretamente sobre a borracha, esta por sua vez sofre uma extrusão ou dilatação vedando o espaço entre os revestimentos.

O carretel de revestimento é semelhante a cabeça de revestimento, a diferença está na existência de mais um flange em sua parte inferior. Ele possui anéis de borracha na parte inferior interna do seu corpo para vedação secundária no topo do revestimento, sua estrutura é delineada com duas saídas laterais que permitem acesso ao espaço anular. O carretel de perfuração também possui saídas laterais flangeadas com o intuito de receber as linhas de controle do poço *Kill Line* (linha de matar) e *Choke Line* (linha do estrangulador).

3.2 Preventor de Erupção (BOP)

Antigamente as operações de perfuração e produção em campos de petróleo não dispunham de qualquer sistema para o controle de influxos de altas pressões vindas das formações, para o interior do poço. O procedimento básico utilizado era esperar que a zona perfurada reduzisse espontaneamente sua depleção, apenas desta forma era possível realizar o fechamento do poço. De acordo com Nilo (2000), uma gama de pesquisadores e companhias buscaram o desenvolvimento de um mecanismo capaz de controlar as altas pressões oriundas das formações.

Em 1922, as companhias *Abercrombie* e *Cameron* conseguiram elaborar e testar um sistema constituído de duas placas metálicas instaladas transversalmente ao poço que fechavam o espaço anular quando solicitadas. Este sistema recebeu o nome de preventor de erupções (BOP) e o primeiro modelo, o nome de preventor de gaveta (*Ram-Type*). Esse projeto inicial era capaz de suportar pressões em torno de 3.000psi. Em 1960 a empresa *Hydril* lançou o primeiro preventor de erupções submarino com acionamento elétrico, pois antes o único sistema utilizado era o hidráulico.

Segundo Adams (1980) o preventor de erupções é caracterizado como a segunda linha de defesa utilizada no controle de um *kick*¹ e na prevenção de um *blowout*², ambos ocorridos durante a perfuração. É composto por um conjunto de válvulas de segurança de alta pressão e equipamentos associados utilizados para o fechamento do poço em caso de influxo para o poço de óleo, gás ou água da formação, desta forma impede-se um descontrolo destas substâncias para o poço. O primeiro procedimento após a instalação do preventor de erupção é o teste de pressões, desta forma, assegurando a integridade e funcionalidade do sistema. Ainda conforme Adams (1980), os preventores de erupções possuem a finalidade de fechamento do poço em situações adversas, impedindo que substâncias com altas pressões oriundas da formação cheguem à superfície, podendo ser de dois tipos: preventor anular e preventor de gaveta. O primeiro consiste em fechar ao redor da coluna de perfuração através de uma borracha, sendo constituído por um pistão que ao deslocar-se no interior de um corpo cilíndrico comprime o elemento de borracha que se ajusta ao espaço formado entre a coluna de perfuração/revestimento e o corpo do preventor. Atualmente é utilizado para qualquer diâmetro de tubulação. O preventor de gaveta é acionado hidráulicamente oferecendo energia a dois pistões que se deslocam um de encontro ao outro transversalmente ao poço, este mecanismo fecha o espaço anular isolando as pressões. Conforme Adams (1980), os preventores de gaveta classificam-se em: gaveta vazada (*Pipe Ram*) e gaveta cisalhante (*Blind Ram*). O primeiro fecha o espaço anular, enquanto que o segundo causa a total ruptura da coluna de perfuração/produção do poço. A Figura 3.3 demonstra a diferença entre os preventores de gaveta e os preventores anulares.

¹*Kick* - Fluxo indesejável de água, óleo ou gás no interior do poço, podendo ser controlável.

²*Blowout* - Trata-se de uma repentina, incontrolável, acidental e contínua expulsão de óleo, gás, água e fluido de perfuração de um poço devido ao choque de pressões subterrâneas, quando a pressão de formação excede a pressão inversa aplicada pela coluna de fluidos de perfuração.

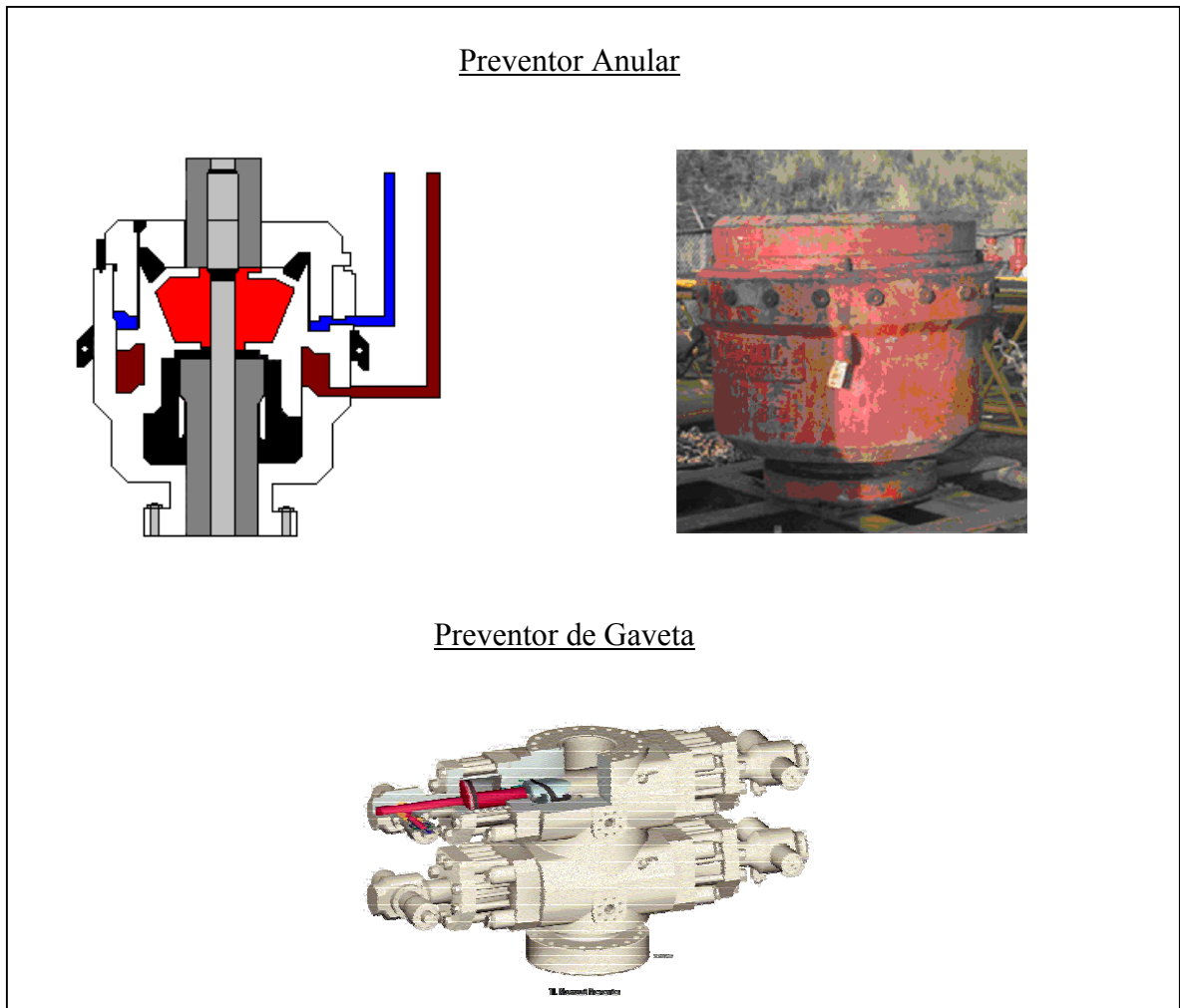


Figura 3.3: Fotos e esquemas de preventores utilizados na indústria atualmente. Fonte: *Cameron Company* e *Hydril Company*.

O preventor de erupções submarino é utilizado por sondas de perfuração flutuantes como semi-submersíveis e navios sonda sendo instalado no leito marinho, mais especificamente no topo do poço, tendo como uma das principais funções isolar o poço do meio ambiente marinho em situações extremas. Após a instalação do preventor de erupção as atividades de perfuração ou completação subseqüentes continuam normalmente através do interior do preventor. O sistema de preventores de erupções sofre alterações em sua configuração de acordo com a região em que se opera (mar ou terra).

De acordo com Jahn *et al* (1998), existem diferenças na composição do conjunto de preventores de erupções para utilização em plataformas fixas e plataformas flutuantes. Em plataformas fixas ou apoiadas no fundo do mar o sistema encontra-se instalado na superfície da plataforma, Neste caso, usa-se um preventor anular e três ou quatro preventores de gaveta. Nas unidades flutuantes o sistema de preventores é instalado no leito submarino, desta forma, um sistema composto por dois preventores anulares e três ou quatro preventores de gaveta são utilizados. Um sistema submarino de preventores é uma estrutura bastante pesada, o número de preventores, válvulas, linhas de pressão, conectores e partes do sistema de controle podem ser visualizados na Figura 3.2.

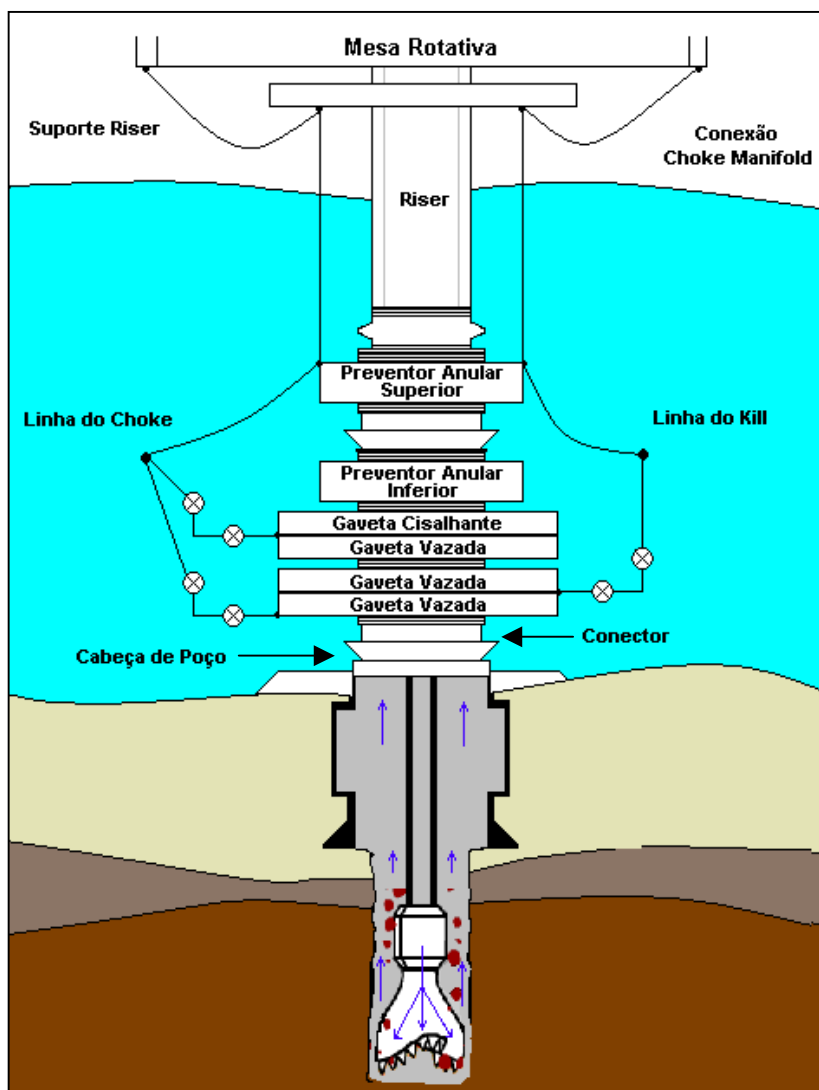


Figura 3.2: Imagem esquemática de um conjunto submarino de preventores.

3.3 Fluido de Perfuração/Completação

Os fluidos começaram a ser utilizados na perfuração de poços de petróleo por volta do ano de 1900. Segundo Brantly (1971), foi o francês Flauvilli que observando a perfuração de um poço para captação de água, verificou que a água exercia um excelente trabalho no corte da terra, a partir deste momento, Flauvilli estabeleceu o uso da circulação de fluidos na perfuração de poços de petróleo. A lama, como é chamada na indústria de óleo e gás, era composta inicialmente por água e argila que eram bombeados ao interior do poço.

Atualmente, os fluidos de perfuração/completação não são mais constituídos simplesmente de água e argila. Os engenheiros produzem compostos e misturas que atendem as necessidades específicas de cada operação ou situação, auxiliando na prevenção de problemas no interior do poço. Conforme Bourgoyne *et al* (1986), a principal função dos fluidos de perfuração/completação é exercer pressão hidrostática sobre as substâncias contidas na formação, a fim de evitar que fluidos indesejáveis migrem para o interior do poço de forma descontrolada. A lama também exerce papel fundamental durante a perfuração dos poços, dentre eles: o resfriamento da broca evitando o desgaste prematuro dos dentes da peça, a limpeza dos detritos ou cascalhos oriundos do corte realizado pela broca na rocha, como também, evita o desmoronamento das paredes do poço.

De acordo com Bourgoyne *et al* (1986) os fluidos de perfuração possuem propriedades físicas e químicas. As propriedades físicas são mais genéricas podendo ser medidas em todos os tipos de fluidos (base água, base óleo e base ar). No entanto, as propriedades químicas são características específicas de cada tipo de fluido podendo ser identificadas e medidas só em alguns fluidos. A Tabela 3.1 esclarece a importância dos fluidos de perfuração conforme as suas propriedades.

Tabela 3.1: Propriedades dos fluidos de perfuração.

Características	Propriedades	Descrição
Alcalinidade	**	Indica o grau de alcalinidade parcial e total do filtrado, como também, o grau de alcalinidade da lama.
Concentração Hidrogeniônica	**	Controla o ph entre 7 e 10, evitando a dispersão de formações argilosas e reduzindo a taxa de corrosão dos equipamentos.
Densidade	*	É definida pela pressão de poro e de fratura da formação. Seu peso pode ser elevado com adição de baritina e reduzido com incremento de fluidos a base água.
Forças Géis	*	Indica o grau de geificação na interação elétrica entre as partículas dispersas. A força inicial mede a resistência para colocar a lama em movimento, enquanto que a força final determina a resistência do líquido ao reiniciar o fluxo passado algum tempo em repouso.
Parâmetro de Filtração	*	Determina a fluidez da lama na criação do reboco.
Parâmetro Reológico	*	Determina o comportamento no fluxo do fluido, auxiliando no cálculo das perdas de carga e velocidade de transporte dos detritos.
Teor de Betonita	**	Identifica a quantidade de sólidos ativos na lama, determina também a capacidade de troca de cátions entre as argilas.
Teor de Cloretos	**	Quantifica o teor salino da água no fluido de perfuração, indicando a perfuração em um domo de sal.
Teor de Sólidos	*	Controla com rigor o excesso de detritos no fluido de perfuração, em caso extremo usa-se o extrator de sólidos

* - Propriedade Física

** - Propriedade Química

A classificação de um fluido de perfuração é feita em função de sua composição. O principal critério baseia-se no constituinte principal da fase contínua ou dispersante. Neste contexto, os fluidos são classificados como: base água, base óleo e base ar ou gás.

De acordo com Oliveira *et al* (1988), o fluido a base água leva em consideração a natureza da água e dos aditivos químicos empregados na sua composição. A principal função deste tipo de fluido é prover um meio de dispersão para os materiais coloidais, principalmente argilas e polímeros. Estes últimos são responsáveis pelo controle da viscosidade, limite de escoamento, forças géis e filtrado, que em valores adequados conferem ao fluido a base água uma boa taxa de remoção dos sólidos oriundos da perfuração e a capacidade de estabilização das paredes do poço. Um dos problemas encontrados na utilização deste tipo de fluido é a qualidade da água, sendo necessário observar: a disponibilidade, o custo de transporte, o custo de tratamento, o tipo de formação geológica a ser perfurada, os produtos químicos utilizados e as técnicas empregadas na avaliação das formações para definir a viabilidade do seu uso.

Os fluidos a base óleo possuem sua fase contínua ou dispersante constituída por óleo, geralmente composta de hidrocarbonetos líquidos. A fase descontínua apresenta pequenas gotículas de água ou de solução aquosa. Os fluidos a base óleo podem ser uma emulsão (água/óleo) propriamente dita (teor de água <10%) ou emulsão inversa (teor de água de 10% a 45%). A utilização do fluidos a base óleo acarreta em altos custos iniciais e alto grau de poluição, desta forma são utilizados com menor frequência. As principais características dos fluidos a base óleo são: elevado grau de inibição as rochas ativas, baixíssima taxa de corrosão, elevado grau de lubricidade, amplo intervalo de variação de densidade e baixa solubilidade de sais orgânicos. Sucessos e problemas são atribuídos ao uso de fluidos a base óleo, dentre as vantagens existentes tem-se: uso em poços de alta pressão e alta temperatura (HPHT), formações de folheios argilosos, formações de arenitos produtores danificáveis por fluido a base água, poços direcionais (delgados ou de longo alcance) e formações com baixa pressão de poros e baixo coeficiente de fratura.

Os fluidos a base ar são indicados para zonas que apresentam severas perdas de circulação e formações produtoras com baixíssima pressão ou grande susceptibilidade a danos. Este tipo de perfuração utiliza apenas ar comprimido ou nitrogênio como fluido, sua aplicação é limitada a regiões que não possuem concentração de hidrocarbonetos e apresentem baixa quantidade de água, podendo ser utilizada em zonas duras, estáveis ou fissuradas.

3.4 Cimentação de Poços

A cimentação dos poços de petróleo são atividades realizadas após a descida da coluna de revestimento. Tem como objetivo compor a vedação entre as zonas permeáveis ou até mesmo em um único intervalo permeável, impedindo a intercomunicação de fluidos da formação por detrás do revestimento, bem como propiciar suporte a coluna de revestimento.

Desde 1903 o maior objetivo da cimentação primária é isolar zonas desfavoráveis ao poço, conforme definiu Smith (1984). A cimentação primária é a mais importante das cimentações, sendo avaliado pela descida de perfis acústicos (CBL-perfil sônico e VDL-perfil ultra-sônico) que medem a aderência do cimento-revestimento e cimento-formação. Caso seja comprovada a existência de falhas na vedação hidráulica, realiza-se a cimentação secundária, processo este que consiste em corrigir problemas oriundos da cimentação primária.

A vedação hidráulica é de fundamental importância na construção dos poços de petróleo, é responsável em garantir um perfeito controle dos fluidos externos em direção ao interior do poço. Problemas relativos ao péssimo trabalho de cimentação e falhas na verificação da qualidade desta cimentação oriunda de testes de avaliação das formações incorreto podem causar prejuízo no controle dos reservatórios, produção de fluidos indesejáveis e ainda possibilidade de perda do poço. A Figura 3.4 demonstra o resultado da cimentação de um poço de petróleo.

O cimento utilizado em poços de petróleo constitui um tipo de cimento *Portland* de aplicação bastante específica. O consumo desse tipo de cimento é pouco expressivo quando comparado aos outros tipos de cimentos normalizados no Brasil. O cimento para poços petrolíferos (CPP) é regulamentado pela NBR 9831 e na sua composição não se observam outros componentes além do *clínquer*³ e do gesso para retardar o tempo de pega. No processo de fabricação do cimento para poços petrolíferos são tomadas precauções para garantir que o produto conserve as propriedades reológicas (plasticidade) necessárias nas condições de elevadas pressões e temperaturas presentes a grandes profundidades, durante sua aplicação nos poços petrolíferos.

³*C clínquer* - Composto químico utilizado na fabricação do cimento, as substâncias em maior quantidade na mistura são: silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico e ferro-aluminato tetra-cálcico.

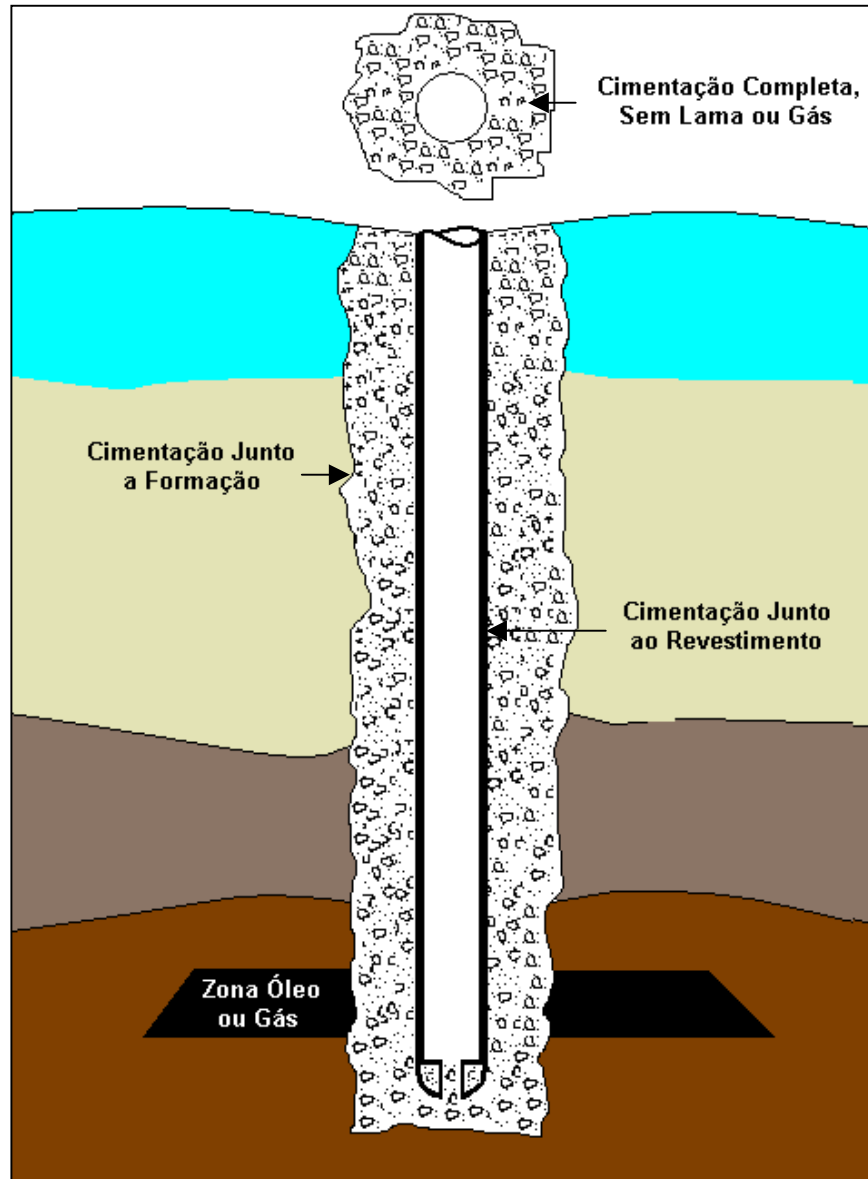


Figura 3.4: Esquema do resultado de uma operação de cimentação.

O *American Petroleum Institute* (API) classificou os cimentos *Portland* em função de sua composição química, designadas pelas letras de A a J, são levadas em consideração as condições do uso, profundidade e temperatura a que a pasta será requerida. A Tabela 3.2 determina o uso do cimento para cada situação.

Tabela 3.2: Classificação dos tipos de cimentos utilizados na cimentação de poços de petróleo, conforme o API.

Classes	Profundidade (m)	Recomendações
A	até 1830	Quando não se requer propriedades especiais.
B	até 1830	Utilizado em situações de moderada a alta resistência aos sulfatos.
C	até 1830	Quando se requer alta resistência inicial. Alta resistência aos sulfatos.
D	de 1830 até 3050	Utilizado em situação de alta pressão e temperatura moderadamente elevada. Resistência aos sulfatos
E	de 1830 até 4270	Utilizado para alta pressão e temperatura. Alta resistência aos sulfatos.
F	de 3050 até 4900	Empregado em condições de pressão e temperatura extremamente altas. Alta resistência aos sulfatos.
G e H	sem aditivo até 2450	Utilizado em todas as condições previstas para os cimentos da classe A até E. São os mais utilizados no Brasil e no Mundo.
J	de 3670 até 4900	Empregados em condições de pressão e temperatura altamente elevadas.

3.5 Obturador

O obturador é um equipamento composto por cunhas, borracha de vedação e pinos de cisalhamento para a utilização em operações de assentamento ou retirada do equipamento no interior dos poços de petróleo. Segundo Patton (1987) a finalidade básica do obturador é promover a vedação do espaço anular entre o revestimento e a coluna de produção, compondo assim a primeira barreira de segurança. Desta forma, protegendo o revestimento contra pressões da formação e fluidos corrosivos.

O assentamento do obturador realiza-se por diferencial de pressão entre o interior e o exterior da coluna de produção, em alguns casos os obturadores possuem um mecanismo de cunhas que impossibilitam que pressões abaixo da área fixada desloquem-no para cima. Os obturadores são classificados em recuperáveis ou permanentes.

Segundo Patton (1987) e Van Dyke (1997) o obturador recuperável permite ser instalado ou desinstalado diversas vezes. Ele possui dois mecanismos de assentamento, são eles: método mecânico e o método hidrostático ou hidráulico. O primeiro método consiste em assentar o obturador através da rotação da coluna, em seguida, aplica-se peso e tração sobre o equipamento. No método hidrostático ou hidráulico, o obturador é instalado após a inserção de pressão no espaço anular do poço, sendo retirado apenas com a rotação da coluna de produção.

O obturador permanente não permite reutilização, podendo ser instalado uma única vez. Sua instalação realiza-se por sistemas elétricos responsáveis em detonar um explosivo na parte superior do equipamento, desta forma, permite-se à expansão da borracha de vedação e das cunhas, comprimindo assim o obturador ao revestimento. A retirada do obturador permanente consiste em cortar a cabeça do obturador e posteriormente seu direcionamento ao interior do poço. Tabela 3.3 apresenta as recomendações para utilização dos obturadores de produção utilizados pela Petrobrás, conforme histórico de desempenho observado ao longo dos anos e em diferentes situações.

Tabela 3.3: Recomendações da Petrobrás para aplicação do obturador de produção. Fonte: Garcia (2002).

	FH/FHL	RH/RHL	HH/HHL	SC-1/SC-1L/SC-2
Gravel Pack	não	não	não	sim
Canhoneio TCP	não	pode ser usado (*)	mais adequado	pode ser usado
Abandono Temporário	mais adequado	pode ser usado	pode ser usado	pode ser usado
Packer de Produção	bom	muito bom	muito bom	não
TSR pré-balanceado	não	pode ser usado (*)	mais adequado	não
Histórico de Desempenho	bom	muito bom	muito bom	muito bom

(*) Consultar Recomendações.

Capítulo 4

Fundamentos para a Análise dos Dados de Acidentes Operacionais

Neste capítulo descrevem-se os conceitos, definições e procedimentos utilizados no desenvolvimento e análise dos acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México. Os parâmetros envolvidos na classificação dos acidentes são as causas e conseqüências de maior incidência na região do Golfo do México no período de 1995 a 2000. Este tipo de análise faz-se necessária na busca da identificação dos pontos causais entre os acidentes que resultem em falhas de sistemas, desta forma auxiliando os técnicos e engenheiros no desenvolvimento de modelos de segurança que visam à redução do impacto destes acidentes sobre as operações.

4.1 Conceitos, Definições e Procedimentos

Nos últimos anos tem se evidenciada com maior freqüência a ineficiência na segurança operacional em plataformas marítimas de exploração e produção de petróleo. A indústria petrolífera possui uma vulnerabilidade nas informações dos acidentes operacionais. Na maioria das vezes, os bancos de dados destes acidentes, encontram-se incompletos e são oriundos de extensos e complexos relatórios. Grande parte dos relatórios sobre os acidentes operacionais são documentos recheados de termos técnicos usados para indicar as causas e conseqüências dos acidentes, em contrapartida, apresentam poucas explicações, dificultando o entendimento do problema.

Este tipo de abordagem não propicia um quadro completo do acidente, incapacitando especialistas a identificarem o problema com precisão e assim absorver conceitos corretos para prevenção de futuros acidentes. Para caráter de conceito adota-se neste estudo acidente como sendo “eventos que tiveram como conseqüências óbitos, lesões, efeitos adversos a saúde ou danos ao meio ambiente e aos equipamentos. Foram considerados incidentes os casos que não resultaram conseqüências diretas sobre a saúde, maio ambiente e os equipamentos”, conforme definiu Freitas *et al* (2001) em seu estudo.

A investigação dos dados dos acidentes operacionais ocorridos durante um intervalo de tempo, serve para identificar as fragilidades presentes nas operações envolvidas na exploração e produção de petróleo. Em termos metodológicos, esta estratégia permite aos engenheiros responsáveis analisarem os acidentes se aproximando cada vez mais do trabalho realizado no dia-a-dia nas unidades marítimas de petróleo, com o intuito de apontar falhas no sistema organizacional e estrutural destas operações. De acordo com Ramesh (2000), a segurança operacional visa à minimização dos acidentes operacionais devendo ser planejado com altos padrões de qualidade. Além do mais, um nível aceitável de segurança é caracterizado por programas que previnam os acidentes em um estágio inicial e não depois de gerado o acidente.

Contudo, dado o aspecto controverso que envolve o tema da presente pesquisa e em particular a ausência de dados de acidentes operacionais ocorridos na plataforma continental brasileira disponível para as consultas públicas, decorrentes do grande poder político imposto pelas grandes companhias petrolíferas atuantes no país, buscou-se fontes alternativas de informações. Frente a este nova meta foram estudados os comportamentos estruturais, referentes aos programas de segurança operacional, de dois órgãos internacionais de imenso respeito e prestígio mundial, são eles: *Mineral Management Service* e o *Norwegian Petroleum Directorate*.

O *Mineral Management Service* possui mais de 50 anos de atividades no território americano, as forças no âmbito da prevenção de acidentes operacionais no Golfo do México são divididas em três áreas: *Outer Continental Shelf Database*, Alerta de Segurança e o *Potencial Incident Non-Compliance*. O *Outer Continental Shelf Database* é o mais novo dos métodos utilizados no controle dos acidentes operacionais utilizados pelo MMS, disponível ao público a partir de 1995, é responsável por monitorar o número dos acidentes operacionais na região do Golfo do México. O Alerta de Segurança é o sistema utilizado a mais tempo pelo MMS. Teve início em 1972 e é realizado através da análise das causas dos acidentes operacionais, sugerindo recomendações sobre como prevenir ou corrigir futuros acidentes. Para finalizar, o MMS utiliza uma lista de diretrizes usadas na inspeção dos equipamentos nas unidades marítimas de exploração e produção de petróleo denominado de *Potencial Incident Non-Compliance*, sendo composto de 322 documentos referentes ao ciclo de vida de um poço de petróleo.

O Norwegian Petroleum Directorate é o órgão regulador e fiscalizador do governo norueguês responsável pela exploração e produção das reservas petrolíferas no Mar do Norte. Desde 2002, este órgão implementou cinco regulamentos para as atividades de petróleo no continente norueguês, são elas:

- Regulamento Estrutural – esta norma estabelece as obrigatoriedades a serem cumpridas relativas às saúdes, meio ambientes e segurança envolvida nas operações petrolíferas na região do Mar do Norte;
- Regulamento Administrativo – este regulamento é responsável pelas exigências no âmbito da legalidade na administração das reservas e campos petrolíferos no Mar do Norte;
- Regulamento de Instalações – trata do design e método de montagem das instalações envolvidas nas operações petrolíferas de extração e produção de petróleo no Mar do Norte;
- Regulamento de Atividades – orienta e expõe os procedimentos operacionais necessários a serem implementadas para cada operação na extração de petróleo no Mar do Norte;
- Regulamento de Dever de Informação – estabelece os meios materiais que devem ser utilizados no repasse de informações obrigatórias das companhias atuantes na região do Mar do Norte à agência responsável.

A principal diferença entre o Golfo do México e o Mar do Norte é a metodologia utilizada pelas agências reguladoras de cada região. No Mar do Norte o trabalho da agência é voltado à prevenção dos acidentes operacionais nesta região, onde a agência exige das companhias petrolíferas atuantes na região a proposta de soluções para acidentes ocorridos nas instalações delas, desta forma fica a companhia incumbida de propor soluções cabíveis para evitar futuros acidentes em suas instalações.

No Golfo do México a agência responsável pela regulamentação e fiscalização das atividades de extração de petróleo na região, impõe uma política de prevenção de acidentes e fiscalização de equipamentos. Na prevenção dos acidentes são utilizados a base de dados do *Outer Continental Shelf* e o programa de Alerta de Segurança, visando difundir a informação dos acidentes operacionais ocorridos na região para as companhias petrolíferas, para que se previnam de acidentes similares. No âmbito da fiscalização de equipamentos, os técnicos e engenheiros do *Mineral Management Service* visitam as unidades marítimas de exploração e produção de petróleo anualmente, vistoriando as condições dos equipamentos utilizados na extração de petróleo através de formulários denominados de *Potencial Incident Non-Compliance List*.

O presente estudo trata de uma análise macro dos acidentes operacionais ocorridos em campos de petróleo localizados na região do Golfo do México sob jurisdição americana no período de 1995 a 2000. Uma análise macro dos acidentes operacionais consiste em compilar as informações destes acidentes. Desta forma, é possível delimitar e indicar operações, atividades, equipamentos entre outros fatores que apresentam ou apresentaram maior fragilidade durante o processo de exploração e produção de petróleo na região.

Os relatos dos acidentes operacionais utilizados no estudo são provenientes do *Outer Continental Shelf Database*. Os dados dos acidentes foram retirados do *Mineral Management Service* por apresentarem confiabilidade, coerência e respeito em suas informações perante o contexto de informações referentes às atividades de petróleo. Em uma primeira etapa do estudo, os dados dos acidentes operacionais adquiridos foram divididos por tipo de operação desempenhada na hora do acidente, esta atitude permitiu identificar o conjunto de informações e acidentes que constituía o universo de análise.

As operações petrolíferas abordadas neste estudo estiveram limitadas às operações de perfuração, completação, produção e intervenção em poços. Esta limitação foi decorrente da grande gama de informações coletadas e o pouco tempo disponível para o processamento de todas as informações encontradas, cerca de 745 acidentes dentre um total de aproximadamente 1050.

Na segunda etapa do estudo, analisou-se os acidentes ocorridos em cada operação anteriormente estabelecida onde os acidentes operacionais encontravam classificados. Obedecendo a ordem natural das atividades petrolíferas a serem avaliadas, os relatos dos acidentes operacionais dividiram-se em 183 acidentes para a operação de perfuração, 19 para a operação de completação, 514 para a operação de produção e por fim 29 acidentes durante a operação de intervenção em poço.

Para a análise dos acidentes operacionais foram estabelecidas algumas variáveis a serem identificadas nos relatos dos acidentes, dentre elas: tipo de operação, tipo de atividade, profundidade d'água, ano do acidente, causas dos acidentes e conseqüências destes acidentes. Nesta análise, apenas dois grandes grupos de informações foram avaliados profundamente. O primeiro grupo consiste na obtenção de informações necessárias para determinar as principais causas dos acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México, sendo dividido em três partes: causas humanas, causas estruturais/equipamentos e causas ambientais. As causas humanas englobam os erros humanos de um modo geral, como a falta de experiência, falta de conhecimento, falta de preparo, procedimentos errôneos, falta de responsabilidade, dentre outros identificados pelo estudo fazem parte deste grupo.

Nas causas estruturais/equipamentos foram definidas variáveis específicas como falhas de equipamentos, problemas no interior do poço, quedas de funcionários na área de trabalho, problemas no sistema de *diverter*, dentre outros que foram surgindo ao longo da análise dos acidentes. As falhas de equipamentos constituem um subgrupo formado por problemas em compressores, tubulações, componentes elétricos, válvulas e instrumentos e componentes de instrumentação.

Os problemas no interior do poço são problemas ocorridos simplesmente na parte de dentro do poço, como perda de pressão hidrostática, péssimo trabalho de cimentação dos poços, e as quedas sofridas pelos funcionários em áreas de trabalho, decorrentes de materiais e/ou equipamentos alocados em lugares impróprios.

Para finalizar, obtiveram-se as causas ambientais que foram subdivididas em condições ambientais adversas (tufões, furacões, maremotos e etc) e perigo geológico raso (*Shallow Hazard*). É importante salientar que alguns acidentes são causados pela união destes problemas abordados anteriormente, onde um acidente ao dar-se início rapidamente se propaga por outra causa, este fenômeno recebe o nome de efeito dominó e está apresentado no estudo como “acidentes com diversas causas”. Vale ressaltar que todas as variáveis básicas utilizadas nesta parte do estudo foram frutos da compilação de informações adquiridas nos estudos de Dawson (1966), Berger *et al* (2000), Freitas *et al* (2001), Galliker (1992), Gordon (2000) e dos relatórios do próprio *Mineral Management Service*.

O segundo grupo construído para analisar os acidentes operacionais no Golfo do México, consistiu em obter informações referente às conseqüências destes acidentes nas plataformas marítimas de exploração e produção de petróleo. Para este caso foram utilizadas três subdivisões das conseqüências, são elas: perdas humanas, perdas econômicas e perdas ambientais. As perdas humanas consistem em funcionários mortos e funcionários feridos. As perdas econômicas englobam conseqüências de acidentes operacionais que de forma direta acarretaram perdas financeiras às companhias envolvidas, são elas: incêndio, colisão, *blowout*, perda de controle de poço e explosão. Ainda há perdas ambientais relacionadas às conseqüências desses acidentes, que se resumem a poluição ao meio ambiente.

Após longas consultas a programas de segurança operacional em estudos especializados e órgãos reguladores de outras regiões, optou-se por utilizar, como referência para cada subgrupo, as variáveis usadas pelo *Mineral Management Service*. A estruturação descrita anteriormente, para as variáveis a serem utilizadas na análise dos acidentes operacionais em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo na região do Golfo do México, pode ser melhor visualizada na Figura 4.1.

Relatório do Acidente Operacional

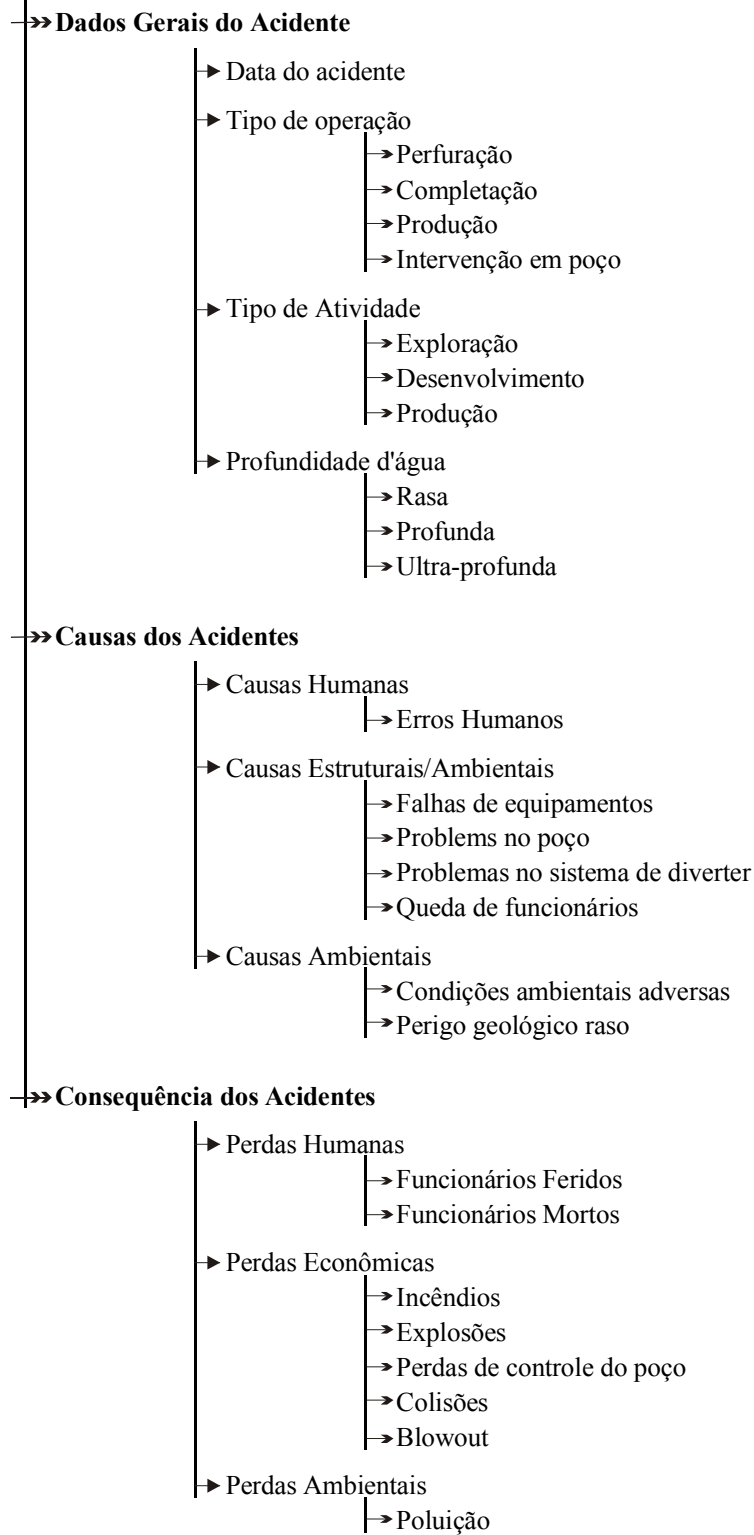


Figura 4.1: Demonstração das variáveis utilizadas na análise dos acidentes operacionais no GOM.

O tipo de análise demonstrada anteriormente estabelece fontes importantes de informações, capazes de direcionar técnicos e especialistas no desenvolvimento de verdadeiros programas de segurança operacional, potencializando os resultados em termos de redução do número de acidentes operacionais. Com isso, há o aprimoramento nas ações preventivas e conseqüentemente a minimização dos indicadores de acidentes em operações petrolíferas de exploração e produção.

Na busca por uma caracterização geral dos acidentes operacionais e um melhor entendimento do leitor, foi realizada uma abordagem geral dos acidentes operacionais ocorridos no Golfo do México durante o período de estudo. Nesta abordagem foram reunidos todos os índices de causas e conseqüências encontrados para cada operação analisada anteriormente (perfuração, completação, produção e intervenção em poço). Desta forma, foi possível demonstrar graficamente a real situação dos acidentes operacionais nessa região, abrangendo todo o contexto da exploração e produção de petróleo.

Com base nos resultados apresentados na análise dos acidentes, o estudo buscou, de forma simplória, determinar a confiabilidade humana em operações de perfuração. Este tipo de análise depara-se comumente com a péssima qualidade das informações dos acidentes operacionais coletados pelos órgãos ou empresas responsáveis. Desta forma, foi realizada uma pesquisa bibliográfica buscando identificar o melhor método de distribuição de falhas a ser adotado na determinação da confiabilidade humana.

Métodos como a distribuição de falhas Normal, distribuição de falhas de Weibul e distribuição de falhas Exponencial foram apontadas pelo estudo bibliográfico como os mais importantes a serem utilizados e cujos conceitos, definições e formulações encontram-se apresentados no Apêndice E. Para o nosso caso em especial, o estudo revelou que a distribuição exponencial seria a mais recomendada, pois este tipo de distribuição de falhas não leva em consideração o tempo médio entre cada acidente operacional (*mean time between failure*), em nosso caso este dado não estava disponível. O estudo bibliográfico para adquirir conhecimentos relativos aos métodos de falhas a ser utilizado neste estudo baseou-se em conceitos de livros como Meyer (1983), Park (1987), Frankel (1988) e Lee *et al* (1988).

A distribuição de falhas Exponencial é um caso particular da distribuição de Weibul, isto acontece quando o Fator de Forma (β) é considerado constante. Este fator indica falhas aleatórias não sendo considerado o desgaste físico causado às pessoas ao longo dos anos. Na busca pela determinação da confiabilidade humana foi necessário estabelecer o número total de funcionários trabalhando nas operações de perfuração na região no Golfo do México. Neste caso, coletou-se no *Mineral Management Service* o número médio de sondas de perfuração na região do Golfo do México durante o período avaliado, posteriormente baseado em conversas com especialistas adotou-se uma população média de 70 funcionários por sonda de perfuração, desta forma, pode-se estabelecer a população média atuante na região para validação dos cálculos de confiabilidade humana.

Para finalizar, o estudo abordou rapidamente a importância do acompanhamento estatístico dos acidentes operacionais por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores das atividades de exploração e produção de petróleo no território nacional. Neste caso, foi realizada uma abordagem das agências e órgãos envolvidos nas atividades petrolíferas no Brasil, demonstrando a responsabilidade que cada um desempenha no cenário nacional de extração e produção de petróleo. Esta análise baseou-se em consulta aos próprios órgãos envolvidos, como também a relatórios anuais do *Oil and Gas Producers* relativos à acidentes operacionais em atividades petrolíferas ocorridos ao redor do mundo.

Capítulo 5

Análise dos Resultados de Acidentes Operacionais em Plataformas Marítimas no Golfo do México

Neste capítulo descrevem-se os resultados da análise dos acidentes operacionais em plataformas marítimas de exploração e produção de óleo e gás localizados na região do Golfo do México, referente ao período de 1995 a 2000. O estudo buscou identificar os principais aspectos contribuintes e desencadeadores de acidentes dentre as operações de perfuração, completação, produção e intervenção em poço. Os dados gerados foram catalogados e analisados conforme cada operação, servindo desta forma, como fonte de informação na busca da minimização dos acidentes operacionais. Estes dados poderão vir a auxiliar os técnicos e engenheiros no desenvolvimento de políticas de segurança eficazes e diferenciadas para cada operação.

5.1 Acidentes Operacionais em Plataformas Marítimas

A história da exploração de petróleo ao longo dos anos em unidades marítimas é marcada por acidentes de grandes dimensões. Um dos mais recentes acidentes ocorridos na indústria do petróleo foi o naufrágio de um navio petroleiro na costa da Espanha, após enfrentar uma forte tempestade o navio apresentou danos em sua estrutura permitindo o vazamento de 20.000 toneladas de óleo bruto os quais foram lançados diretamente ao mar. Dias depois do acidente, a embarcação veio a naufragar levando consigo para o fundo do oceano cerca de 40.000 toneladas deste óleo que ainda se encontravam armazenados em seus tanques.

No Brasil, os acidentes ocorridos no campo de Enchova (1984) e o da plataforma P-36 (2001) – ambas unidades de produção localizadas na Bacia de Campos no estado do Rio de Janeiro – levantaram a questão da segurança em unidades marítimas de exploração ou produção de petróleo instaladas no país. Estes dois acidentes resultaram na morte de 47 trabalhadores. Todos os funcionários mortos nestas unidades marítimas envolvidas nos acidentes pertenciam à companhia estatal brasileira de petróleo.

Um dos maiores acidentes já registrados em unidades marítimas no mundo foi o acidente ocorrido em 1988 com a plataforma de perfuração *Piper Alpha* - localizada no Mar do Norte – aonde o influxo indesejado e incontrolado de gás no interior do poço veio ocasionar um Blowout de grandes proporções, resultando na morte de parte da tripulação existente na plataforma, cerca de 165 trabalhadores.

Em relação aos acidentes estudados e observando o gráfico da Figura 2, verificou-se que o grande número de acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México sofreu alterações com o passar dos anos. Entre os anos de 1995 e 1997 os acidentes operacionais em unidades marítimas de petróleo tiveram um crescimento de 211,86%, triplicando o valor inicial de 59 acidentes. Após 1997, este índice sofreu um decréscimo de 35,32%, finalizando o ano de 1999 com 199 acidentes operacionais nas unidades marítimas de petróleo. Esta queda nos índices dos acidentes operacionais nas plataformas marítimas não se manteve no ano seguinte. Um crescimento de 31,09% foi registrado elevando o número de ocorrência de acidentes nas unidades marítimas de petróleo para 156 casos, segundo maior índice dentre o período estudado.

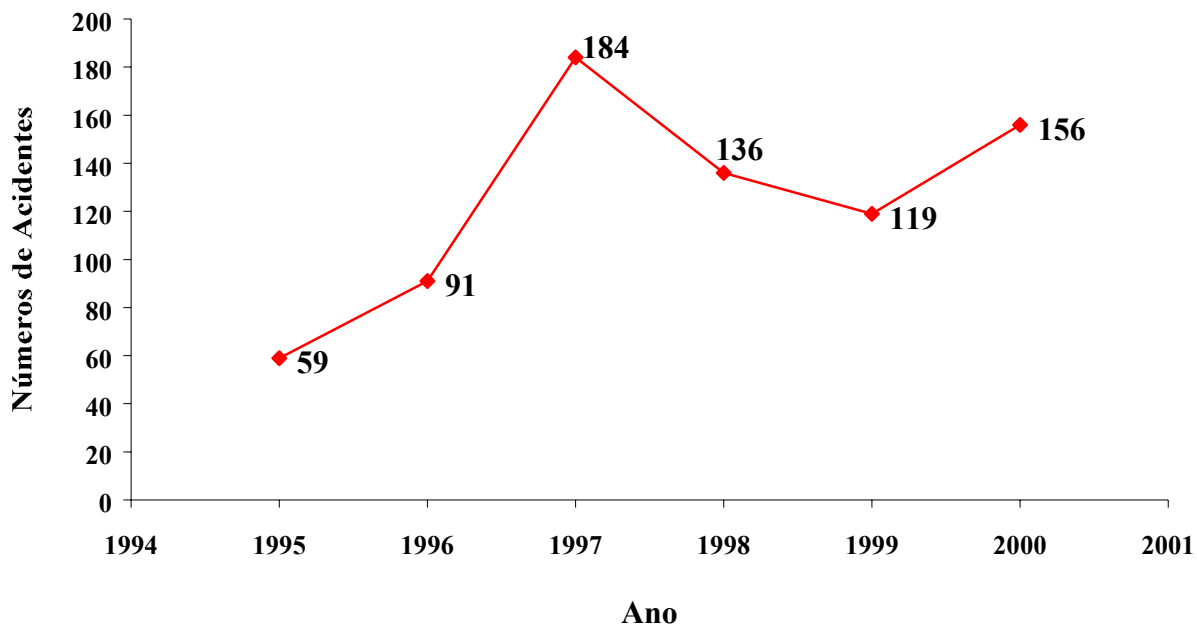


Figura 5.1: Distribuição cronológica do número de acidentes operacionais ao longo do período em análise. Fonte: *Mineral Management Service*.

Posteriormente, os acidentes operacionais foram classificados de acordo com as operações petrolíferas (perfuração de poços de petróleo, completação de poços de petróleo, produção de poços de petróleo e intervenção em poços de petróleo) desempenhadas no momento dos acidentes nas unidades marítimas.

A classificação dos acidentes em relação às atividades desempenhadas no momento dos acidentes, revelou que 68,99% dos acidentes operacionais ocorreram nas unidades marítimas de produção, 24,56% em unidades marítimas de perfuração, 3,89% em unidades marítimas de intervenção em poços de petróleo e, por fim 2,55% em unidades marítimas de completação. Esta discrepância no índice de acidentes operacionais atribuídos a plataformas marítimas de produção de petróleo podem ser compreendida considerando o grande número de plataformas de produção de petróleo alocadas na região do Golfo, o que torna estes tipos de unidades marítimas propícias a apresentarem maiores índices de acidentes operacionais.

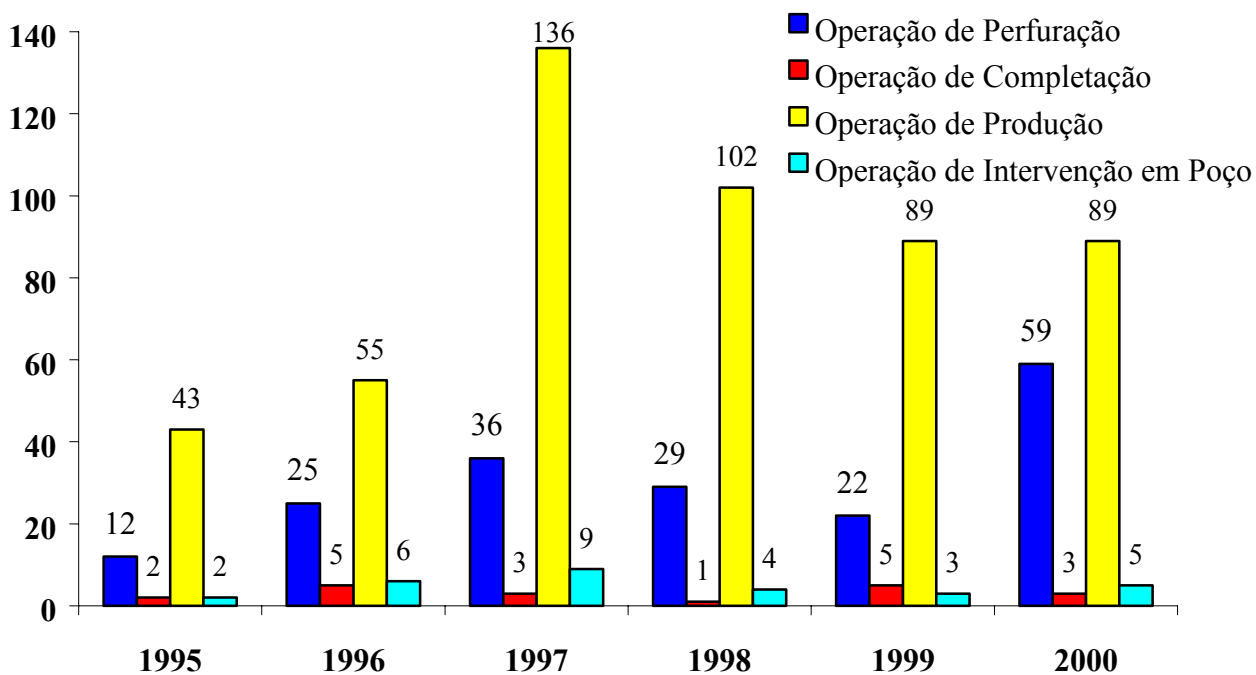


Figura 5.2: Distribuição dos acidentes operacionais na região do Golfo do México, de acordo com as operações envolvidas.

5.2 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Perfuração

Em termos Históricos, as primeiras atividades de perfuração datam de centenas de anos A.C., realizadas no oriente para a prospecção de gás, água e sal. Porém foi nos Estados Unidos, em meados do século XIX, que se deu início as primeiras perfurações à procura de petróleo. O marco histórico da perfuração comercial americana foi realizado pelo coronel Edwin L. Drake, em 1859, em Titusville (Pensilvânia) na perfuração do primeiro poço comercial de petróleo. Um dos principais cenários que forçaram a evolução das técnicas da perfuração de poços foi a prospecção no mar, principalmente em águas profundas e ultraprofundas, tornando a evolução tecnológica nesta área bastante intensa. Outros desafios tecnológicos foram gerados na perfuração, em regiões que demandaram a utilização de poços direcionais e horizontais, bem como em áreas com formações geológicas subterrâneas com alta pressão e/ou alta temperatura.

O primeiro poço exploratório perfurado em um campo é denominado de poço pioneiro e tem a finalidade de averiguar se as previsões realizadas pelos geólogos e geofísicos quanto ao tipo de formação e a existência de hidrocarbonetos estavam corretas. O poço pioneiro contribui para a criação de um acervo técnico sobre o campo, obtidos a partir de dados de perfilagem elétricos, cascalhos, coleta de fluídos da formação ou tipos de rochas perfuradas ao longo do trajeto do poço, este acervo servirá de base para o estabelecimento de futuras propostas de perfuração. A classificação demonstrada no gráfico da Figura 5.2 sobre a distribuição dos acidentes conforme suas respectivas operações revelou que 24,56% dos acidentes compreendidos entre os seis anos de análise localizavam-se nas operações de perfuração; este índice corresponde a 183 casos de acidentes operacionais dentre um total de 745 acidentes ocorridos nas unidades marítimas instaladas na região do Golfo do México.

Foi realizada uma comparação entre o avanço da perfuração na região – dados obtidos da Baker Hugues (2003) – e o número de acidentes ocorridos durante o período analisado, podendo ser melhor visualizada no gráfico da Figura 5.3. Analisando a Figura 5.3 verificou-se que entre 1995 e 1997 o número de sondas de perfuração atuantes na região do Golfo do México cresceu 21,64%, enquanto o número de acidentes operacionais durante o mesmo período teve um acréscimo de 200%.

Nos anos seguintes em 1998 e 1999, mais especificamente, os índices dos acidentes operacionais contabilizaram uma pequena redução, havendo uma queda de 13,22% nas atividades de perfuração, contra 24,13% no número de acidentes operacionais em sondas marítimas. Em 2000 os índices voltaram a crescer, enquanto o número de sondas de perfuração subia 29,52% os de acidentes atingiam a marca de 168,18%. O ano de 2000 apresentou os maiores valores, dentre o período estudado, com 136 sondas atuantes na região do Golfo do México contra 59 casos de acidentes operacionais ocorridos nestas sondas.

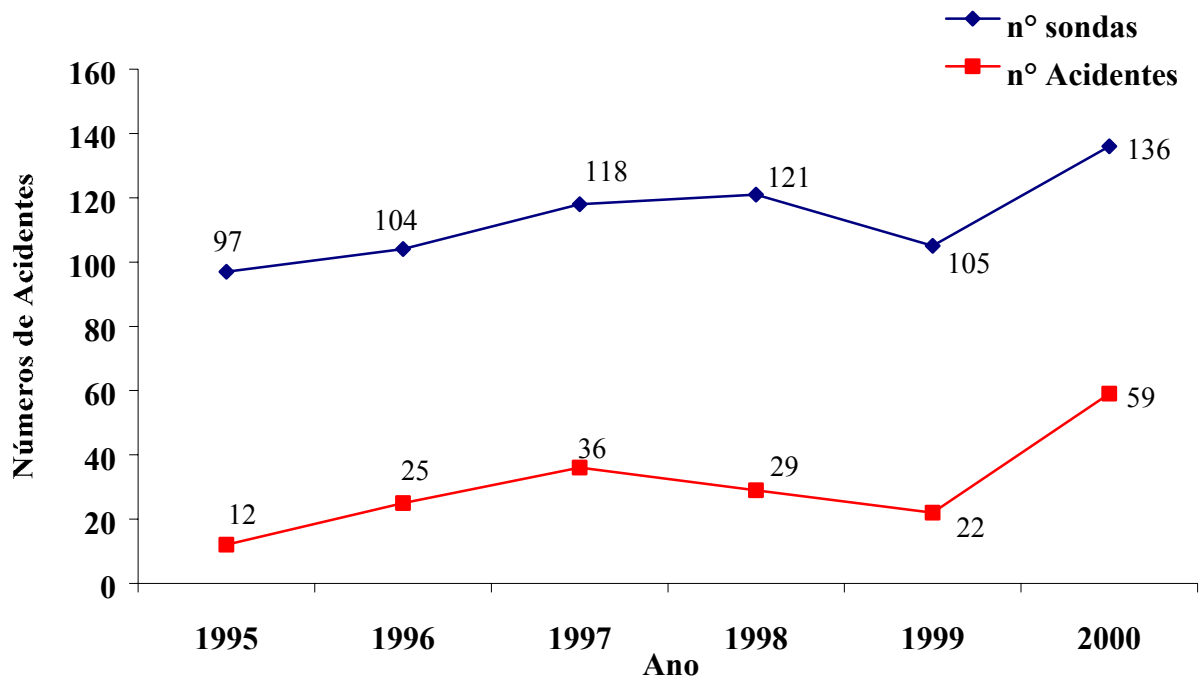


Figura 5.3: Gráfico comparativo entre o número médio de sondas de perfuração atuantes na região do Golfo do México e o número de acidentes operacionais nas operações de perfuração relatados ao *Outer Continental Shelf Database* no período de 1995 a 2000. Fonte: *Mineral Management Service* (2003) e *Baker Hugues* (2003).

Com a distribuição dos acidentes operacionais conforme o período de ocorrência, partiu-se então para a classificação dos acidentes operacionais de acordo com suas respectivas causas. O intuito desta classificação é a obtenção dos pontos falhos causadores ou colaboradores diretos para o desencadeamento de um acidente, possibilitando um ataque direto de novas políticas de segurança visando à minimização destes acidentes. Após uma detalhada análise, os acidentes operacionais foram classificados e mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Causas imediatas de acidentes operacionais identificadas no universo de 183 acidentes ocorridos nas sondas de perfuração no Golfo do México entre 1995 e 2000. Fonte: *Outer Continental Shelf*.

Principais Causas	Número de Causas	
	n	%
Erros Humanos	66	36,07%
Falhas de Equipamentos	54	29,51%
Escorregões/Tropeços	14	7,65%
Péssimo Trabalho de Cimentação do Poço	6	3,28%
Perda de Pressão Hidrostática no Poço	6	3,28%
Falha no Sistema de Diverter	2	1,09%
Condições Ambientais Adversas	2	1,09%
Perigo Geológico Raso (<i>Shallow Hazard</i>)	1	0,55%
Outros	9	4,92%
Ausência de Dados	6	3,28%
Acidentes com Diversas Causas	17	9,29%
Total	183	100%

n - número de acidentes

Os erros humanos aparecem como os maiores causadores de acidentes operacionais durante a etapa de perfuração de poços de petróleo com 36,07% dos casos, totalizando 66 acidentes. Dentre estes acidentes ocorridos na perfuração de poços marítimos, 68,18% resultaram em funcionários feridos (sejam eles de companhias operadoras ou contratadas), 31,81% resultaram em incêndios nas sondas de perfuração, sem esquecer também que 4,54% deste valor, dizem respeito à funcionários mortos.

As causas dos erros humanos no desempenho de atividades que oferecem altíssimos riscos aos funcionários envolvidos são reflexos de procedimentos errôneos, falta de capacidade, falta de conhecimento no desempenho da função e muitas vezes, falta de treinamento e conscientização dos funcionários. Além dos fatores dispostos anteriormente, Freitas *et al* (2001) aponta o cansaço e isolamento como fatores preponderantes no agravamento dos acidentes em plataformas petrolíferas.

Em segundo lugar, como grande colaborador no agravamento dos índices de acidentes, vêm as falhas de equipamentos, que na perfuração foram responsáveis por 29,51% dos acidentes operacionais. O resultado destes acidentes foi a ocorrência de 45 incêndios, o ferimento de 13 funcionários e a morte de outro, como também 4 explosões, 3 perdas de controle de poço e, por fim, 1 caso de poluição ambiental, mas com baixo impacto ambiental. Este tipo de causa é comum em equipamentos como válvulas, compressores, tubulações, instrumentos e componentes de instrumentação e componentes elétricos, sendo o resultado de programas errôneos de manutenção dos equipamentos. Os pontos falhos apontados acima reforçam o estudo realizado por Dawson (1966) sobre a segurança nas unidades marítimas no Golfo do México. O autor deixou claro que os acidentes ocasionados por falhas de equipamentos podem ser minimizados com um forte programa de manutenção dos equipamentos.

Na verdade, os acidentes ocasionados por falhas de equipamentos refletem o direcionamento da visão empresarial voltada unicamente para a maximização da produção de petróleo e conseqüentemente dos lucros. Em muitos casos as manutenções preventivas são descartadas, pois as operações nas unidades marítimas não podem ser interrompidas, forçando as instalações das unidades marítimas de petróleo a trabalharem no limite máximo de suas capacidades.

Um fator merecedor de cuidados especiais são os acidentes causados por escorregões/tropeços sofridos pelos empregados nas áreas comuns das sondas de perfuração. Os escorregões/tropeços aparecem em 7,65% dos acidentes como causa principal dos acidentes operacionais nas unidades marítimas atuantes na região do Golfo do México. Este índice contribuiu para o ferimento de 9 funcionários e a morte de mais 5, totalizando 14 danos pessoais, o que recai para a empresa em forma de indenizações e pensões.

De acordo com Berger (2000), o ambiente de trabalho em unidades marítimas deve sempre se apresentar limpo e livre de materiais alocados em lugares impróprios. Esta simples medida é responsável por uma brusca redução no número de acidentes operacionais nas plataformas marítimas.

O Golfo do México é uma região que apresenta condições ambientais bastante severas. Esta região é constantemente castigada por fortes ventos, tufões e furacões, os quais em conjunto acarretaram em 1,09% dos acidentes operacionais catalogados no período de 1995 a 2000, resultando em dois funcionários mortos e dois funcionários feridos. Os danos estruturais causados pelas péssimas condições ambientais não foram contabilizados neste estudo, podendo facilmente alcançar cifras em torno de milhões de dólares.

A Tabela 5.1 demonstra a distribuição das principais causas, de forma independente, dos acidentes operacionais em sondas de perfuração localizadas na região do Golfo do México no período estudado. Na prática existem casos em que as causas dos acidentes encontram-se diretamente interconectadas, de modo que um acidente ao iniciar-se pode rapidamente se propagar por outra causa. Este fenômeno é denominado de efeito dominó, podendo resultar em múltiplos danos as plataformas marítimas. Com base neste raciocínio montou-se a Tabela 5.2, onde os acidentes operacionais que possuem mais de uma causa diretamente ligada a ocorrência do acidente estão apontados; este tipo de causa foi responsável por 9,29% dos acidentes operacionais nas sondas de perfuração durante o período avaliado.

Os erros humanos/falhas de equipamentos são os maiores colaboradores para o agravamento do número de acidentes operacionais, resultando em 5 empregados feridos, 1 empregado morto, 4 incêndios e 3 explosões e por fim 1 perda de controle de poço. Em seguida surgem os erros humanos/escorregões/tropeços dos empregados nas áreas de trabalho das sondas de perfuração. Este último tipo de causa de acidente provocou a morte de 2 trabalhadores e deixou outro ferido.

Outros fatores que contribuíram para o descontrole das operações na perfuração foram os acidentes causados por erros humanos/condições ambientais adversas. Esta causa foi identificada em 11,76% acidentes, tendo como resultado 1 colisão, 1 poluição e 1 funcionário ferido. Por fim, apresentam-se as falhas de equipamentos/condições ambientais adversas, os quais causaram 5,88% dos acidentes operacionais, tendo como consequência 1 incêndio e 1 caso de poluição ambiental.

Tabela 5.2: Distribuição dos acidentes operacionais na perfuração de poços de petróleo e gás no Golfo do México que tiveram mais de uma causa direta no desencadear do acidente.

Acidentes com Diversas Causas	Número de Causas	
	n	%
Erros Humanos / Falhas de Equipamentos	11	64,71%
Erros Humanos / Escorregões/Tropeços	3	17,65%
Erros Humanos / Condições Ambientais	2	11,76%
Falhas de Equipamentos / Condições Ambientais Adversas	1	5,88%
Total	17	100%

n - número de acidentes

Um dos grandes problemas encontrados neste estudo foi a falta de clareza nas informações e preenchimentos incompletos dos relatórios de acidentes operacionais por parte das companhias. Este fator foi responsável pela não identificação de 3,28% das causas dos acidentes operacionais e tiveram como consequência 2 funcionários mortos, 2 incêndios e 2 perdas de controle de poço.

5.2.1 Análise de Acidentes Operacionais na Perfuração de Poço Marítimos de Petróleo

O estudo abordará os problemas ocorridos na perfuração de poços de petróleo na região do Golfo do México, referentes ao interior do poço ou locais adjacentes. Seguindo a classificação da Tabela 5.1, os piores trabalhos de cimentação realizados nos poços de petróleo na região foram responsáveis por 3,28% acidentes ocorridos nas sondas marítimas entre 1995 e 2000. Problemas relacionados à migração de gás pelo cimento, tempo de pega do cimento insuficiente e ainda problemas nos equipamentos de cimentação, contribuíram para que este tipo de problema causasse 6 perdas de controle de poço, sendo que destas, 3 resultaram em *blowout*.

As perdas de pressão hidrostática no fundo dos poços de petróleo aparecem nos poços marítimos com 3,28% dos acidentes nas sondas de perfuração. Problemas como pistoneio e perda de circulação no fundo do poço foram os grandes vilões, ocasionando 6 perdas de controle de poço, ambas com 3 ocorrências cada.

De acordo com Bourgoyne *et al* (1986) o pistoneio é uma ação mecânica que pode ocorrer durante a retirada da coluna de perfuração no fundo do poço, que ao ser retirada de sua posição de trabalho, gera uma pressão negativa, desta forma succionando as substâncias contidas na formação para o interior do poço. Combate-se este tipo de problema com a injeção de fluido de perfuração em quantidade suficiente capaz de suprir o volume de aço retirado (broca+coluna de perfuração) do poço, desta forma, impossibilitando que as substâncias da formação penetrem no interior do poço.

Ainda seguindo os conceitos do autor acima citado, a perda de circulação no interior do poço é o resultado do excessivo peso que o fluido de perfuração exerce sobre a formação. Este fenômeno é decorrente da determinação incorreta da pressão de fratura da formação por parte dos técnicos e engenheiros envolvidos na perfuração do poço, gerando fissuras na formação perfurada e conseqüentemente a perda total ou parcial do fluido de perfuração para a formação.

¹*Shallow Hazard* – Termo internacional utilizado para descrever a presença de gás ou água pressurizada em baixas profundidades.

Um outro fator que causou acidentes nas sondas de perfuração instaladas no Golfo do México, foram os sistemas de *Diverter*, ocasionados por problemas referentes à dimensão de suas linhas de alívio de pressão, que por apresentarem diâmetros menores que o necessário não suportaram a expansão do gás quando este se aproximava da superfície. Outro problema encontrado no sistema de *diverter* foi um erro de projeto o qual atribuía diversas curvas ao sistema. Estas curvas geraram o acúmulo de pressões em pontos específicos, não sendo aconselhável para o conjunto do sistema. Este tipo de problema apresentou-se com 1,09% dos acidentes, causando 2 perdas de controle de poço.

As zonas de perigo geológico raso (*shallow Hazard*¹) são problemas bastante comuns enfrentados nesta região. Refletem em sua grande maioria a presença de gás ou água pressurizada localizadas a baixas profundidades, variando entre 250 e 1700 metros abaixo do leito submarino. Fenômenos deste tipo apresentam altos riscos para as sondas de perfuração, principalmente pelos equipamentos de segurança encontrarem-se desinstalados. Este tipo de causa de acidente operacional apresentou apenas uma ocorrência, tendo como consequência um princípio de incêndio na sonda de perfuração.

Medidas de prevenção podem ser adotadas para evitar as áreas de perigo geológico raso, principalmente no campo da geofísica, a qual dispõe de sísmicas 3D por apresentarem melhor definição nas sísmicas rasas. Quanto ao tipo de sonda de perfuração a ser utilizada em zonas portadoras deste tipo de problema, aconselha-se usar plataformas semi-submersíveis ou navios-sonda ambos com posicionamento dinâmico já que podem ser retirados rapidamente do local em casos extremos. Outro fator importante que deve ser considerado é o uso de poços direcionais e horizontais para a não perfuração destas zonas. Este tipo de raciocínio foi defendido por Adam *et al* (1991), Grinrod *et al* (1988) e Adam *et al* (1990) em seus estudos.

5.2.2 Análise das Conseqüências dos Acidentes Operacionais na Etapa de Perfuração

No decorrer do estudo verificou-se a necessidade de avaliar e identificar as conseqüências dos acidentes operacionais ocorridos nas sondas de perfuração, com o intuito de entender/prevenir as causas das ocorrências destes acidentes. Este tipo de abordagem faz-se necessário quando um determinado acidente ocorre em uma região e tem-se a necessidade de combater a causa inicial do problema. Esta classificação busca, a partir da conseqüência, prevenir futuras causas desencadeadoras dos acidentes operacionais na perfuração de poços marítimos.

O item que aparece em primeiro lugar nas conseqüências dos acidentes e com grande número de ocorrências são as lesões em funcionários com 37,86%, totalizando 78 feridos. Dentre as principais causas deste tipo de conseqüência encontra-se o próprio erro humano que foi responsável pelo ferimento de 47 funcionários, falhas de equipamentos com 13 feridos, escorregões/tropeços ocasionaram o ferimento de 9 funcionários e erros humanos/falhas de equipamentos fecharam este índice com 5 funcionários feridos. Demais causas resultaram no ferimento de mais 4 funcionários, não servindo de base para o estudo, podendo ser melhor identificadas no anexo A.

Os incêndios nas sondas de perfuração no Golfo do México apresentaram altos níveis de ocorrência. Este indicador apresentou 37,38% das conseqüências dos acidentes num total de 77 ocorrências. Dentre eles, falhas de equipamentos causaram 55,84% dos incêndios, erros humanos 27,27% , erros humanos/falhas de equipamentos 5,19%, e demais causas resultaram em 9 incêndios. Neste indicador vale ressaltar que 2 acidentes que originaram incêndios nas sondas de perfuração não apresentaram informações suficientes para a classificação.

As perdas de controle de poço surgem como o terceiro maior índice de consequência dos acidentes operacionais, sendo que este fator requer cuidados especiais, principalmente por tratar de operações realizadas no interior do poço. Do total de 18 perdas de controle de poço na etapa de perfuração, 30% foram atribuídas à perda de pressão hidrostática no fundo do poço, 15% as falhas de equipamentos e 30% ao péssimo trabalho de cimentação. Erros humanos/falhas de equipamentos apresentaram 5% dos indicadores, restando informar que 10% dos acidentes não foram catalogados, oriundos da não clareza dos dados coletados dos acidentes.

O estudo caracterizou ainda um grande número de funcionários mortos em acidentes nas sondas de perfuração, 17 no total. Deste número 29,41% foram causados por escorregões/tropeços nas áreas de trabalho, 17,64% oriundos da falta de atenção dos próprios funcionários nas áreas comuns de trabalho, por fim os erros humanos/escorregões/tropeços e condições ambientais adversas respondem por 11,76% das consequências dos acidentes cada, ambas com 2 ocorrências. A falta de clareza nas informações dos acidentes operacionais, respondem com 3,28% dos indicadores.

Uma consequência que apresentou um certo número de indicadores foram as explosões, sendo responsável por 3,40% das consequências dos acidentes operacionais na etapa de perfuração de poços. Neste item, a única causa de todas as explosões identificada pelo estudo durante o período de análise foram as falhas de equipamentos.

O *blowout* é caracterizado por um influxo descontrolado de gás, água ou óleo no interior do poço. Dentre estes, o mais grave é o influxo de gás que ao atingir a superfície das sondas de perfuração pode provocar explosões. Este fenômeno apareceu com 1,46% das consequências dos acidentes, todos oriundos de um péssimo trabalho de cimentação do poço. A poluição do meio ambiente foi identificada em 1,46% das consequências dos acidentes, muitas vezes provenientes do contato do fluido de perfuração com o ambiente marinho, totalizando 3 ocorrências.

O fluido de perfuração deve passar por processos químicos ou físicos na busca da retirada de substâncias que agredem o meio ambiente, antes de ser descartado no mar. Os principais colaboradores para este tipo de consequência foram: falhas de equipamentos, erros humanos/condições ambientais adversas e falhas de equipamentos/condições ambientais adversas, ambos com 1 ocorrência cada.

Finalizando a análise das consequências dos acidentes operacionais na etapa de perfuração de poços petrolíferos surge a colisão com 1,46% dos acidentes. Este tipo de consequência caracteriza-se por embarcações que ao se aproximarem das sondas de perfuração colidem com as mesmas. Os principais fatores causadores deste tipo de consequência foram: falta de preparo dos comandantes das embarcações e as péssimas condições marítimas no momento da aproximação. O gráfico da Figura 5.4 foi organizado com a finalidade de proporcionar uma melhor visualização das consequências dos acidentes operacionais nas sondas de perfuração.

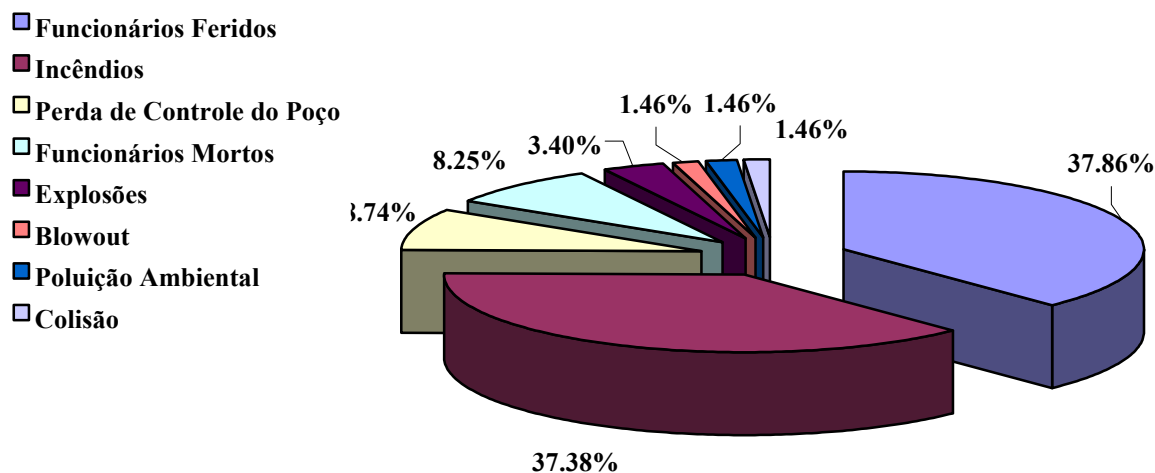


Figura 5.4: Distribuição percentual das principais consequências dos acidentes operacionais nas operações de perfuração no Golfo do México no período de 1995 a 2000.

5.2.3 Avaliação da Confiabilidade Humana na Operação de Perfuração

Os erros humanos são responsáveis por um grande número de acidentes operacionais na indústria como um todo. Segundo Lee *et al* (1988), o percentual de acidentes na indústria, causados por falhas humanas, gira em torno de 60%, podendo alcançar 90% em alguns casos. Diversos fatores são atribuídos a este tipo de acidente, dentre eles: falta de conhecimento, falta de motivação e falta de atenção.

Com base nas informações anteriores de acidentes operacionais causados por erros humanos, o estudo buscou de forma simplória, determinar matematicamente o valor da confiabilidade dos funcionários no desempenho de suas atividades nas sondas marítimas de perfuração localizadas na região do Golfo do México. A análise da confiabilidade humana em operações petrolíferas consiste em determinar a capacidade dos funcionários em não cometerem erros durante um intervalo de tempo previamente determinado.

Inicialmente, para determinar a confiabilidade humana nas operações em sondas de perfuração, é necessário definir a quantidade populacional envolvida nas operações de perfuração durante o período de tempo avaliado. Neste caso, considerou-se uma capacidade média de 70 funcionários por sonda de perfuração, este dado foi multiplicado pelo valor médio de sondas de perfuração atuantes na região entre 1995 e 2000. Em 1995 encontrava-se trabalhando no Golfo do México cerca de 6790 funcionários em 97 sondas de perfuração, número este, que saltou para 9520 funcionários dentre 136 sondas no ano de 2000.

A Figura 5.5 é um comparativo entre o número de sondas de perfuração e o número de acidentes operacionais causados por erros humanos. Esta comparação revelou um crescimento nas atividades de perfuração na região em torno de 24,74% entre 1995 e 1998, entretanto o número de acidentes, cuja causa principal foi atribuída aos erros humanos, cresceu 83,33% no mesmo período. O valor acumulado do crescimento de acidentes operacionais causados por erros humanos e o crescimento das atividades de perfuração na região citada foram de 316,66% e 40,20% respectivamente, durante o mesmo período de tempo.

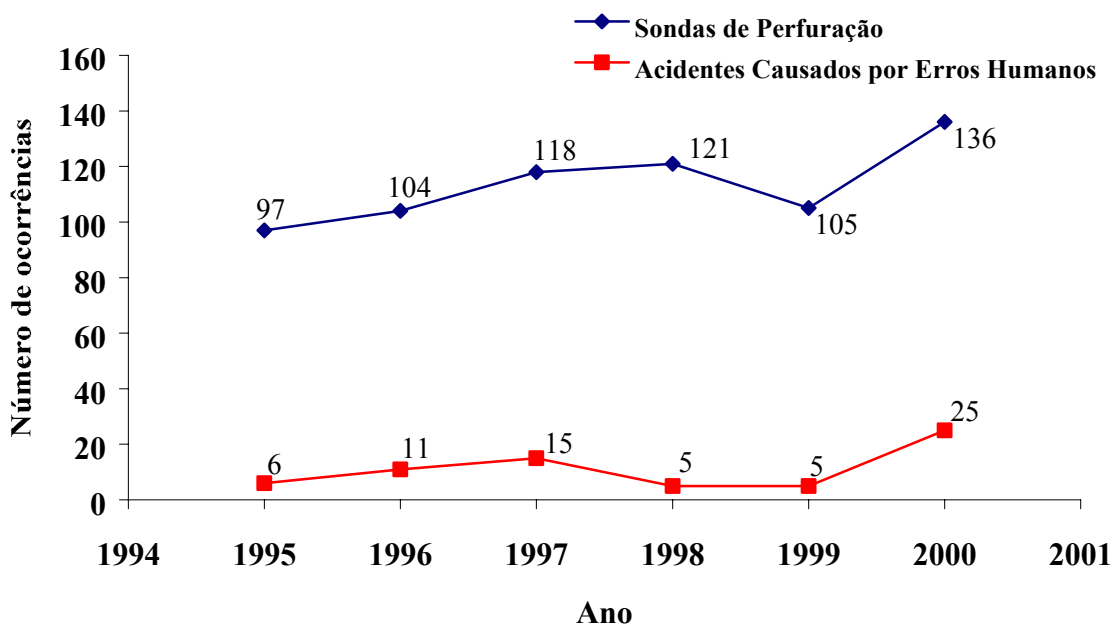


Figura 5.5: Distribuição anual do número de sondas de perfuração e do número de acidentes causados por erros humanos no Golfo do México entre 1995 e 2000. Fonte: *Mineral Management Service*.

A avaliação da confiabilidade humana em operações de perfuração na região consistiu na abordagem acumulativa dos dados, refletindo o resultado da análise de 6 anos, demonstrando o comportamento da curva de confiabilidade de 1995 a 2000. Os valores de acidentes operacionais, número de sondas de perfuração e população estimada foram acumulados com o passar dos anos sendo determinado a confiabilidade para cada período.

O resultado desta análise acumulativa dos acidentes operacionais atribuídos a erros humanos, revelou que no início do estudo a confiabilidade humana em operações de perfuração no Golfo do México era de 99,91% (1995) sofrendo um ligeiro decréscimo ao fim do ano de 2000, atingindo a marca de 99,86%. O gráfico da Figura 5.6 demonstra o comportamento da confiabilidade humana dentre as operações de perfuração de poços de petróleo e gás no Golfo do México no período de 1995 a 2000.

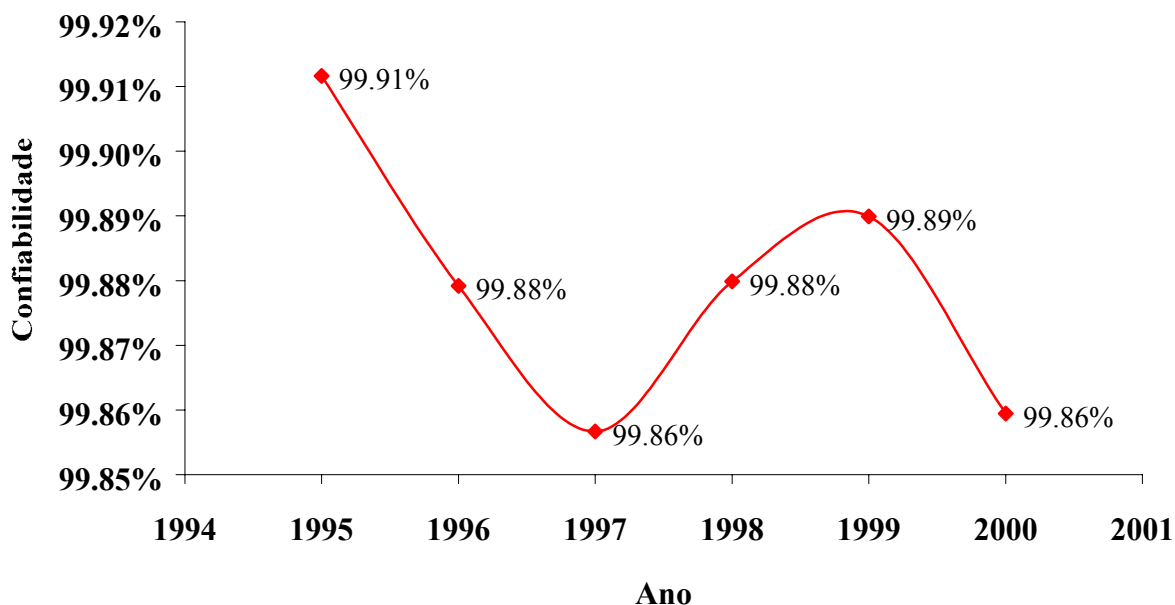


Figura 5.6: Gráfico da confiabilidade humana em operações de perfuração no Golfo do México no período de 1995 a 2000.

Os valores encontrados para a confiabilidade humana nas operações de perfuração apresentaram-se próximos de 100%, revelando a eficiência dos funcionários no desempenho de suas atividades. Um índice que comprova este resultado é a grande quantidade de funcionários atuando na região durante o período analisado, de cerca de 47670. Entretanto, o número de acidentes atribuídos a erros humanos no mesmo período foi de 67 casos, percentual muito baixo dentre o universo de funcionários trabalhando.

A avaliação da confiabilidade humana está comumente presente no dia-a-dia das grandes companhias, sendo utilizado para avaliar de forma simplória o comportamento e desempenho de seus funcionários ao longo do tempo. No Brasil existe a necessidade de implementar programas de acompanhamento e prevenção de acidentes operacionais. Desta forma, a avaliação da confiabilidade humana surge como um mecanismo no auxílio à técnicos e engenheiros dos órgãos reguladores e fiscalizadores atuantes no país, a adotarem este tipo de procedimento como fonte fornecedora de informações a respeito da segurança humana nas unidades marítimas localizadas na costa brasileira.

5.3 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Completação

Ao término da etapa de perfuração de um poço de petróleo, é necessário deixá-lo em condições de operação e produção, de forma segura e econômica. De acordo com Van Dyke (1997) o conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produção de óleo, gás ou injeção de fluidos no interior dos reservatórios denomina-se de completção. Considerando que a completção tem reflexos em toda a vida produtiva do poço e envolve altos custos de operação, faz-se necessário um planejamento criterioso, onde aspectos como a localização do poço (terra ou mar), tipo de poço (pioneiro, extensão ou desenvolvimento), finalidade (produção ou injeção), volume e vazão de produção esperada, necessidade de estimulação (aumento de produtividade), controle ou exclusão da produção de areia e os tipos de fluidos produzidos (gás seco, óleo, óleo e água, etc) devem ser abordados de forma categórica para o projeto final.

Os parâmetros de segurança, técnico/operacional e econômico são tidos como essenciais na completção de um poço. Esta filosofia é observada em grande parte da literatura de engenharia de petróleo. De acordo com Garcia (2002), a maximização da produção de óleo sem a depletação do reservatório e a minimização do número de intervenções no poço, tornando-o mais permanente durante sua vida, são relatados como aspectos fundamentais do ponto de vista técnico/operacional. A operação de completção de um poço petrolífero deve ser o mais simples possível e reduzindo o tempo de intervenção no poço quando necessário.

Sob o aspecto da segurança nos poços de petróleo necessita-se de pelo menos duas barreiras de segurança durante a sua existência (perfuração, completção, produção e abandono). A Portaria Nº 025 da Agência Nacional de Petróleo descreve barreira de segurança como: *separação física apta a conter ou isolar os fluidos dos diferentes intervalos permeáveis, podendo ser:*

a) Líquida: coluna de líquido à frente de um determinado intervalo permeável, provendo pressão hidrostática suficiente para impedir o fluxo de fluido do intervalo em questão para o poço;

b) *Sólida consolidada: é aquela que não se deteriora com o tempo e pode ser constituída de:*

- *tampões de cimento ou outros materiais de características físicas similares;*
- *revestimentos cimentados;*
- *anulares cimentados entre revestimentos;ou*

c) *Sólida mecânica: é aquela considerada como temporária e é constituída de um dos seguintes elementos:*

- *tampão mecânico permanente (“bridge plug” permanente);*
- *tampão mecânico recuperável (“bridge plug” recuperável);*
- *retentor de cimento (cement retainer);*
- *obturadores (“packers”), de qualquer natureza;*
- *válvulas de segurança do interior da coluna de produção;*
- *tampões mecânicos do interior da coluna de produção;*
- *equipamentos de cabeça de poço.*

De acordo com Garcia (2002), o sistema de barreira de segurança de um poço de petróleo deve ser independente, isto é, a falha de qualquer componente pertencente a uma barreira não pode comprometer a outra, salvaguardando o poço contra o descontrole (*blowout*). Na Petrobrás, qualquer falha observada em um componente da barreira de segurança leva à imediata intervenção do poço para o seu reparo.

As operações de completção nos poços de petróleo *offshore* localizados no Golfo do México apresentaram índice de 2,55% dos acidentes operacionais, totalizando 19 casos. As causas dos acidentes operacionais dividiram-se em falhas de equipamentos, erros humanos, perda de pressão hidrostática, perigo geológico raso e acidentes com diversas causas.

As falhas de equipamentos foram responsáveis por 31,58% dos acidentes durante a completção dos poços de petróleo localizados na região, tendo como principais conseqüências 5 funcionários feridos, 1 funcionário morto, 2 incêndios que por fim ocasionou 1 explosão e 1 perda de controle de poço. As falhas de equipamentos são frutos de políticas de manutenção de equipamentos falhas, devendo ser tomadas medidas cabíveis a fim de evitar tais conseqüências.

Em seguida, surgem os erros humanos com 21,05% das causas de acidentes na completção, provocando 1 perda de controle de poço, 1 incêndio e o ferimento de 4 quatro funcionários. Este tipo de causa de acidente é desencadeado principalmente pela realização de procedimentos errôneos durante a equipagem do poço por parte dos funcionários, como também pela falta de atenção durante a realização das operações.

Outra causa que aparece em 10,53% dos acidentes na completção de poços de petróleo é a perda de pressão hidrostática do poço, totalizando 6 ocorrências. Tiveram como principal conseqüência 1 *blowout* e 1 perda de controle de poço, não devendo ser esquecido o ferimento de 3 funcionários.

Os perigos geológicos rasos e a coleta ineficiente dos dados dos acidentes operacionais responderam cada por 5,26% dos problemas nas operações de completção. Ambas as ocorrências resultaram na morte de 1 funcionário e na provocação de 1 incêndio. Deve-se abordar aqui a importância de uma boa coleta de informações sobre os acidentes, pois devido a falta de clareza nas informações contidas nos relatórios dos acidentes tornou-se impossível identificar a verdadeira causa da morte de 1 funcionário. A Tabela 5.3 demonstra a distribuição das causas dos acidentes operacionais durante as operações de completção dos poços marítimos na região do Golfo do México.

Tabela 5.3: Distribuição das causas dos acidentes operacionais durante as operações de completção de poços marítimos de petróleo, localizados no Golfo do México.

Principais Causas	Número de Causas	
	n	%
Falhas de Equipamentos	6	31,58%
Erros Humanos	4	21,05%
Perda de Pressão Hidrostática	2	10,53%
Perigo Geológico Raso (<i>Shallow Hazard</i>)	1	5,26%
Outros	1	5,26%
Ausência de Dados	1	5,26%
Acidentes com Diversas Causas	4	21,05%
Total	19	100%

n - número de acidentes

Nos acidentes ocorridos em operações de completção de poços marítimos de petróleo existem casos de acidentes com diversas causas que, juntas, colaboraram para o agravamento do fato. Este tipo de fato, denominado neste estudo, de acidentes com diversas causas, foi responsável por 21,05% dos acidentes. As causas dividem-se em erros humanos/falhas de equipamentos, erros humanos/escorregões/tropeços e condições ambientais adversas/escorregões/tropeços.

Os erros humanos/falhas de equipamentos surgiram em 50% dos acidentes ocorridos durante a completção dos poços. O resultado deste tipo de causa de acidente foi a ocorrência de 2 explosões, 1 perda de controle de poço, 1 incêndio e o ferimento de 1 funcionário.

Outros fatores colaboraram para o agravamento dos números de acidentes operacionais na etapa de conclusão dos poços petrolíferos, dentre eles: condições ambientais adversas/escorregões/tropeços e erros humanos/escorregões/tropeços com 25% das causas dos acidentes operacionais cada. O reflexo destes acidentes foi o ferimento de 2 funcionários. A Tabela 5.4 demonstra a classificação dos acidentes operacionais que apresentaram mais de uma causa direta em sua ocorrência. Uma melhor visualização desta situação pode ser observada no anexo B.

Tabela 5.4: Distribuição das causas dos acidentes operacionais na conclusão de poços de petróleo no Golfo do México que apresentaram mais de uma causa direta na ocorrência dos acidentes.

Acidentes com Diversas Causas	Número de Causas	
	n	%
Erros Humanos / Falhas de Equipamentos	2	50,00%
Erros Humanos / Escorregões / Tropeços	1	25,00%
Condições Ambientais Adversas / Escorregões/Tropeços	1	25,00%
Total	4	100%

n - número de acidentes

5.3.1 Análise das Conseqüências dos Acidentes Operacionais na Etapa de Conclusão

Abordaremos agora as conseqüências dos acidentes operacionais nas plataformas marítimas instaladas na região do Golfo do México entre 1995 e 2000. Esta avaliação busca identificar os principais fatores causadores de cada conseqüência, a idéia é que a partir de um acidente consumado possa se identificar e conhecer as verdadeiras causas do acidente. Os acidentes operacionais na conclusão de poços dividiram-se em funcionários feridos, incêndios, perda de controle do poço, explosões, funcionários mortos e *blowouts*.

Com a análise dos dados dos acidentes operacionais ocorridos durante a etapa de completção de poços marítimos na região analisada, identificou-se a ocorrência de 33 conseqüências, dentre um total de 19 causas de acidentes atribuídas para esta operação. O principal resultado destes acidentes foi o ferimento de funcionários, 51,52% das conseqüências dos acidentes, totalizando 17 casos. Dentre este tipo de conseqüência pode-se destacar como principais causadores, as falhas de equipamentos responsáveis por 5 ocorrências, os erros humanos com 4 casos, a perda de pressão hidrostática no poço com 3 casos e por fim os erros humanos/falhas de equipamentos com 3 ocorrências.

Um resultado das conseqüências dos acidentes operacionais que se apresentou comum nas operações de completção, foram os incêndios nas plataformas marítimas, com 15,15% do total. As principais causas responsáveis pelo desencadear deste tipo de conseqüência foram as falhas de equipamentos com 2 ocorrências. A perda de controle de poço responde por 12,12% das conseqüências dos acidentes em operações de completção, totalizando 4 casos. Seus principais colaboradores foram os erros humanos/falhas de equipamentos, perda de pressão hidrostática, erros humanos e falhas de equipamentos, sendo cada um responsável por uma ocorrência.

As conseqüências que merecem atenção são as explosões e mortes de funcionários, estas objetivam a marca de 9,09% das conseqüências, cada uma. Os principais causadores das explosões durante as operações de completção foram os erros humanos/falhas de equipamentos com 2 casos. Entretanto para as conseqüências de funcionários mortos, a principal causa foi a falha de equipamentos. A falta de dados tornou impossível identificar a causa da morte de um funcionário durante este tipo de operação.

Finalizando este estudo das conseqüências dos acidentes nas operações de completção, foi identificado 1 caso de *blowout*, respondendo por 3,03% do total. Este fenômeno foi desencadeado pela perda de pressão hidrostática no poço, o qual não foi identificado e controlado a tempo, resultando na perda de controle da operação. Felizmente não houveram funcionários feridos ou mortos, apenas danos materiais.

O gráfico da Figura 5.7 demonstra a distribuição das principais conseqüências dos acidentes operacionais encontradas em 19 acidentes, durante a completação de poços de petróleo marítimos na região do Golfo do México no Período de 1995 a 2000.

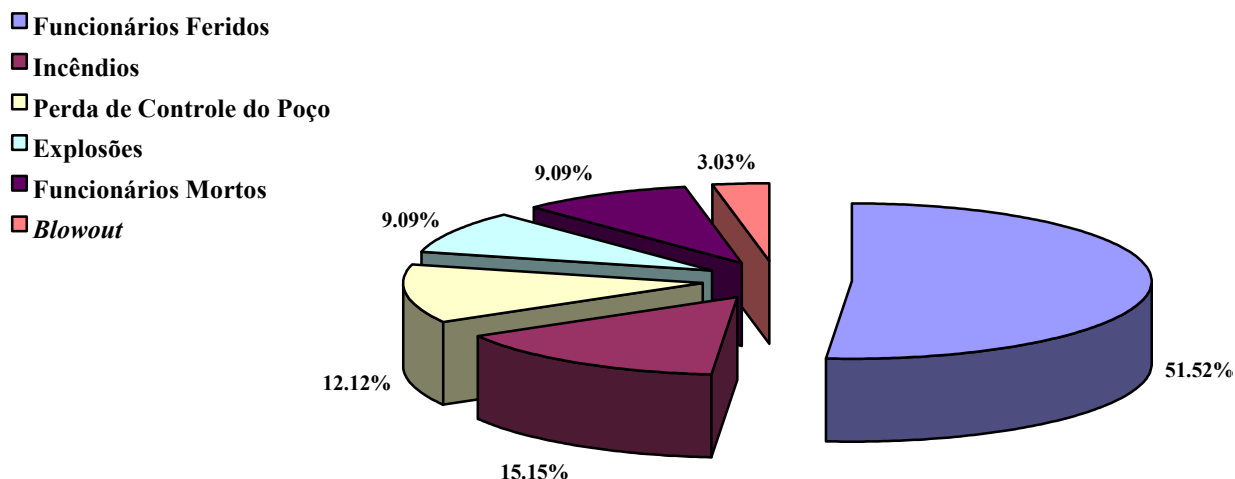


Figura 5.7: Distribuição das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de completação de poços de petróleo na região do Golfo do México.

5.4 Análise dos Acidentes Operacionais na Operação de Produção

A produção de um campo de petróleo pode implicar em investimentos de bilhões de dólares voltados para a montagem de uma infra-estrutura complexa que permita a produção de óleo ou gás naturais e seu escoamento até as refinarias, sendo necessários enormes investimentos para construção de plataformas marítimas (produção de petróleo *offshore*), oleodutos, gasodutos, estações coletoras de petróleo, estações de tratamento e terminais petrolíferos.

Uma vez confirmada a existência de hidrocarbonetos em uma determinada região, aprovado o cálculo de viabilidade técnico e econômica do campo e finalizada as etapas anteriores necessárias à produção de óleo e/ou gás natural (exploração, perfuração e completação), dar-se-á início a operação de produção deste campo. Na fase de produção, o óleo pode chegar à superfície de forma surgente (reservatório com pressão suficiente) ou através de processos mecânicos (cavalo de pau, bombeio por cavidade progressiva, bombeio centrífugo submerso, gás *lift* e etc).

A produção de hidrocarbonetos pode ocorrer tanto em mar quanto em terra, sendo caracterizada pela existência de algumas particularidades entre os métodos e equipamentos empregados para cada caso. Além das alterações tecnológicas para produção nestes locais distintos, existe o problema de armazenagem da produção de petróleo. No mar, é comum o petróleo ser armazenado no próprio navio de processo, sendo repassado para navios petroleiros aliviadores que conduzirão a produção para terminais em terra firme. Entretanto em terra, o escoamento da produção é facilitado, já que tanques de superfície são construídos para estocagem do material que posteriormente será canalizado para as refinarias através dos oleodutos.

De acordo com o gráfico da Figura 5.2 - localizado no item de acidentes operacionais em plataformas marítimas – visualiza-se uma enorme discrepância entre os valores referentes à acidentes operacionais na etapa de produção em relação às demais operações analisadas (perfuração, completação e intervenção em poço), respondendo a primeira por 68,99% dos acidentes. A diferença existente no valor dos acidentes durante as operações de produção de petróleo pode ser explicada através da grande quantidade de plataformas produtoras instaladas, tornando esta operação mais susceptível a acidentes.

A principal causa dos acidentes nas operações de produção de poços marítimos na região do Golfo do México foram as falhas de equipamentos responsáveis por 44,36% dos acidentes, dentre um total de 514 causas. As falhas de equipamentos são responsáveis pela ocorrência de 204 incêndios, 14 explosões, 23 casos de poluição ao meio ambiente e ainda o ferimento de 35 funcionários e a morte de outro. A etapa de produção é uma operação contínua e ininterrupta, onde um bom manuseio e uma boa manutenção dos equipamentos fazem-se necessários para elevação da confiança da operação. Os vazamentos em válvulas surgiram como os maiores fatores das falhas de equipamentos.

Os acidentes oriundos de erros humanos são frutos de trabalhos realizados de maneira incorreta por parte dos funcionários, como também pela falta de capacidade e atenção dos mesmos em realizar uma determinada atividade com êxito, contribuindo assim com os elevados índices de acidentes operacionais.

Este fator responde por 31,91% das causas de acidentes operacionais, totalizando 164 casos. Sua principal consequência recai sobre os próprios funcionários, apresentando um quadro de 106 feridos e 7 mortes. Revelam-se ainda consequências como 96 incêndios, 16 colisões e 12 explosões.

Outro índice que afeta diretamente os funcionários nas plataformas marítimas de produção de petróleo são os escorregões/tropeços ocorridos nas áreas comuns de trabalho, resultando no período de 1995 a 2000, o ferimento de 35 funcionários e a morte de outros 4, dentre um total de 36 ocorrências, respondendo por 7% das causas de acidentes durante a etapa de produção dos campos. De acordo com Berger (2000), acidentes deste gabarito são frutos de áreas de trabalho repletas de sujeiras e objetos armazenados em locais impróprios, uma simples organização e limpeza da zona de trabalho são responsáveis por uma brusca redução nos indicadores deste tipo de acidente operacional.

O Golfo do México e o Mar do Norte são regiões caracterizadas pelas péssimas condições ambientais, apesar de existirem dias em que os mares encontram-se calmos e aptos à operações seguras nas plataformas de produção. Em contrapartida, momentos críticos são registrados com a passagem de tufões ou furacões por estas regiões, sendo necessário adotar medidas eficazes de segurança para evitar ou limitar a perda de pessoal e a poluição do meio ambiente. Fenômenos climáticos adversos foram apontados como causadores de 3,31% dos acidentes no Golfo do México em plataformas marítimas de produção de petróleo. Dentre este percentual de acidentes, 11 resultaram em incêndios, 5 em colisões, 2 em poluição ambiental e 3 no ferimento de funcionários. Deve-se destacar que os três casos de poluição não resultaram em sérios danos ao meio ambiente.

Dentre os casos de acidentes operacionais nas plataformas marítimas de produção localizadas na região do Golfo do México, existem casos onde as embarcações perderam o controle e se chocaram com as pernas de sustentação das plataformas. Este tipo de acidente normalmente foi causado pela falta de perícia dos comandantes dos navios ou rebocadores ao aproximarem-se das unidades marítimas. Além de contabilizar 3 colisões como consequência da imperícia dos comandantes, incêndios, poluição ao meio ambiente e explosões foram causados.

As operações de produção em poços *offshore* deparam-se com um problema bastante comum nos relatos de acidentes operacionais observados na literatura, a falta de informações nos relatórios capazes de caracterizar as causas dos acidentes operacionais. Os relatórios investigativos geralmente são frutos de um complexo uso de abreviações técnicas e a falta de clareza no relato dos acontecimentos, impossibilitando, desta forma, uma correta identificação da causa geradora do acidente. Este tipo de problema causou 1,17% dos acidentes na etapa de produção, tendo como consequência 4 casos de incêndios, 1 explosão, 1 poluição ambiental, 1 funcionário morto e 1 funcionário ferido. A Tabela 5.5 revela a distribuição das principais causas desencadeadoras de acidentes operacionais no Golfo do México durante o período de avaliação.

Tabela 5.5: Distribuição das principais causas dos acidentes operacionais durante a etapa de produção dos campos de petróleo *offshore* localizados na região do Golfo do México.

Principais Causas	Número de Causas	
	n	%
Falhas de Equipamentos	228	44,36%
Erros Humanos	164	31,91%
Escorregões - Tropeços	36	7,00%
Condições Ambientais Adversas	17	3,31%
Descontrole das Embarcações	3	0,58%
Outros	21	4,09%
Ausência de Dados	6	1,17%
Acidentes com Diversas Causas	39	7,59%
Total	514	100%

n - número de acidentes

5.4.1 Análise das Conseqüências dos Acidentes Operacionais na Etapa de Produção

Na busca do desenvolvimento de políticas amplas de combate aos acidentes operacionais, deve-se levar em consideração o grande número de conseqüências oriundas destes acidentes. Durante a operação de produção dos campos de petróleo analisados foram contabilizados 514 acidentes que produziram 653 conseqüências de diversos níveis tais como incêndios, explosões, colisões, poluições ambientais, perda de controle de poço, funcionários mortos e funcionários feridos.

No total destes 653 acidentes operacionais, os incêndios surgem como a principal conseqüência dos acidentes ocorridos na etapa de produção, respondendo por 366 casos. Os incêndios aparecem com 56,05% das conseqüências dos acidentes tendo como maiores causadores as falhas de equipamentos com 208 casos, os erros humanos com 99 casos e os erros humanos/falhas de equipamentos com 20 casos. Estes três fatores foram responsáveis por cerca de 90% das causas que resultaram em incêndios nas plataformas de produção. Este fenômeno é bastante compreensível, visto que, a operação de produção lida constantemente com a presença de óleo e gás (substâncias altamente inflamáveis) em sua superfície podendo vir a entrar em combustão com extrema facilidade.

Um indicador que chamou a atenção nesta parte do estudo foi o alto número de funcionários feridos, respondendo por 30,47% dos acidentes operacionais ou 199 casos. Os erros humanos com 106 casos, falhas em equipamentos com 35 casos e escorregões/tropeços com 35 casos, surgem como os principais colaboradores para o agravamento deste tipo de conseqüência. Este tipo de acidente particularmente incorre em altos custos para as empresas, já que ocasionam o afastamento de funcionários e o pagamento de indenizações. Um fato importante que deve ser observado neste tipo de indicador é a presença dos erros humanos como principal causador destes acidentes, resultado da falta de conhecimento e despreparo dos funcionários durante a realização de suas obrigações. Deve-se ressaltar ainda, a morte de 13 funcionários durante as operações de produção de petróleo, resultado de erros humanos e escorregões/tropeços nas áreas de trabalho.

As plataformas de produção lidam constantemente com produtos químicos altamente voláteis e inflamáveis, facilitando desta forma a ocorrência de explosões geralmente ocasionadas pela falha de equipamentos, erros humanos e erros humanos/falhas de equipamentos ordenados de forma decrescente de suas ocorrências. Este tipo de causa aparece com 5,36% das situações, totalizando 35 acidentes durante os anos estudados.

Os acidentes operacionais que tiveram como resultado colisões, sendo estas de navios com as plataformas ou cargas no convés da plataforma, surgem com 4,13% dos acidentes. Este modelo apresentou os erros humanos com 16 casos e as péssimas condições ambientais com 5 casos como os principais vilões no desencadeamento deste tipo de situação.

Durante a etapa de produção de petróleo, aconteceram 10 casos de poluição ambiental, correspondendo a 1,53% das conseqüências dos acidentes. Motivos como falhas de equipamentos com 3 casos e condições ambientais adversas com 2 casos contribuíram com 50% dos indicadores, sendo o restante distribuído entre os erros humanos, erros humanos/falhas de equipamentos e descontrole de embarcações, todos com uma ocorrência cada.

Quanto aos problemas relacionados diretamente com os poços de óleo e gás natural, a etapa de produção apresenta dados satisfatórios já que durante o período de análise apenas 0,46% dos casos apresentaram perda de controle de poço, tendo como principais causas as falhas de equipamentos e erros humanos/falhas de equipamentos. O gráfico da Figura 5.8 retrata a distribuição das conseqüências dos acidentes operacionais nas plataformas marítimas de produção de petróleo, no universo de 653 acidentes.

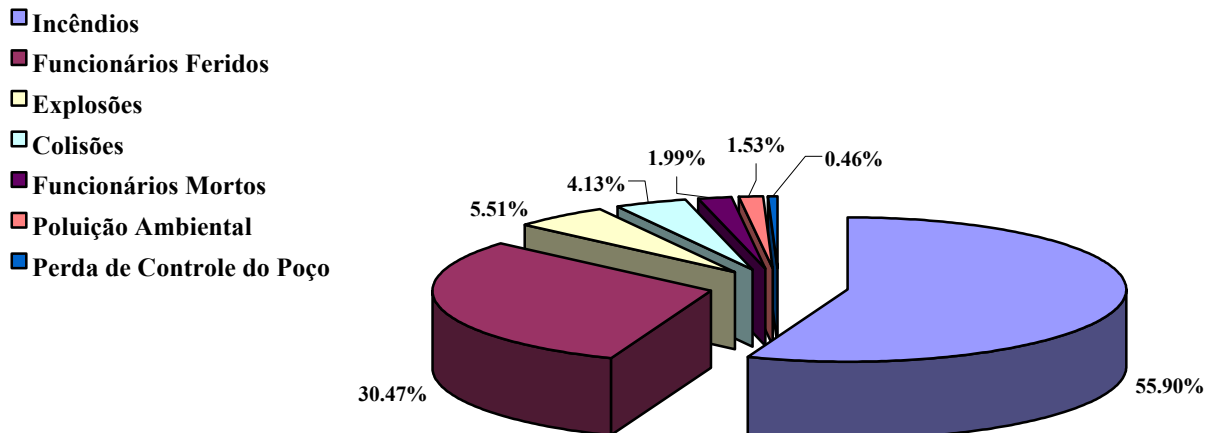


Figura 5.8: Distribuição percentual das principais consequências dos acidentes operacionais nas operações de produção de poços de petróleo no Golfo do México.

5.5 Análise dos Acidentes Operacionais em Operações de Intervenção em Poço

A fase de intervenção em poços de petróleo é caracterizada pela intervenção, restauração ou manutenção dos poços produtores, sendo o intuito deste procedimento o retorno à produção dos poços a níveis aceitáveis. A manutenção do poço acontece para uma substituição ou reparo de algum componente que compõe o sistema. Conforme Van Dyke (1997), existem seis problemas no poço que geram uma operação de intervenção, são eles: produção excessiva de gás, produção excessiva de água, baixa produtividade, produção de areia, falhas de equipamentos e depletação do reservatório.

De acordo com Whalen (1980), uma operação de manutenção de um poço deve iniciar-se com a revisão do histórico de problemas ocorridos com o próprio poço ao passar dos anos. Esta análise é capaz de estimar a previsão de tempo necessário para realizar a operação de intervenção, poupando assim tempo e dinheiro na compra e manobra de equipamentos, como também no aluguel de sondas de intervenção especiais.

Ainda segundo Whalen (1980), um plano de manutenção de um poço produtor de petróleo deve ser muito bem estudado e avaliado. Buscando-se neste ponto a caracterização do problema, como também, o desenvolvimento passo a passo da realização da manobra para solução do problema apresentado. A determinação específica e detalhada do procedimento de reparo de um poço caracteriza-se em otimizar o serviço, gerando economia ao fim dos trabalhos.

A operação de intervenção em poço é realizada normalmente por uma sonda de perfuração, já que trata de manobras diretamente ligadas ao poço. Esta operação responde por 3,89% dos acidentes ocorridos nas unidades marítimas de exploração e produção instaladas na região do Golfo do México no período de 1995 a 2000, totalizando 29 acidentes operacionais.

As falhas de equipamentos surgem como a maior causadora de acidentes nas operações de intervenção em poços de petróleo sendo responsável por 37,93% dos acidentes. Em seguida, o erro humano apresentou 34,48% das causas. As falhas de equipamentos tiveram como consequência 6 incêndios, 2 perdas de controle de poço, 1 poluição ambiental e deixou 6 funcionários feridos. Enquanto que os erros humanos obtiveram como consequência 4 incêndios, 1 explosão e 1 colisão, como também acarretou o ferimento de 8 funcionários e a morte de outro.

Os escorregões/tropeços ocorridos pelos funcionários nas sondas de intervenção resultam de áreas comuns de trabalho sujas de óleos, graxas e da estocagem de material em locais impróprios. Este tipo de causa refletiu no ferimento de 3 funcionários durante o período de análise dos acidentes, correspondendo a 10,34% das causas de acidentes operacionais. Os erros humanos/falhas de equipamentos, resultaram no ferimento de um empregado. A classificação das causas dos acidentes e suas respectivas percentagens de influência dentre os 29 casos de acidentes podem ser observadas na Tabela 5.6 abaixo.

Tabela 5.6: Distribuição das principais causas dos acidentes operacionais durante as operações de intervenção em poços de petróleo *offshore* localizados no Golfo do México.

Principais Causas	Número de Causas	
	n	%
Falhas de Equipamentos	11	37,93%
Erros Humanos	10	34,48%
Escorregões/Tropeços	3	10,34%
Outros	4	13,79%
Acidentes com Diversas Causas	1	3,45%
Total	29	100%

n - número de acidentes

5.5.1 Análise das Conseqüências dos Acidentes Operacionais na Etapa de Intervenção em Poços

O passo seguinte é analisar o resultado final da compilação de todas as conseqüências oriundas das causas acima citadas, buscando desta forma estabelecer pontos comuns entre os acidentes operacionais. Os 29 acidentes referentes às operações de intervenção em poços de petróleo tiveram como resultado 39 conseqüências. Os acidentes operacionais resultaram no ferimento de 20 funcionários ao longo do período estudado. Este valor corresponde a 51,28% das conseqüências dos acidentes nas sondas de perfuração atuantes na região do Golfo do México. Este índice teve como principais colaboradores os erros humanos com 8 casos, as falhas de equipamentos com 6 casos, os escorregões/tropeços com 3 casos e os erros humanos/falhas de equipamentos com 1 caso. Neste item não se pode esquecer as mortes de 2 funcionários oriundas de erros humanos, o que correspondem a 5,13% das conseqüências.

Os incêndios nas sondas de intervenção em poços aparecem com 30,77% dos acidentes operacionais. Este valor é decorrente de 6 falhas de equipamentos e 4 erros humanos. As somas destes dois fatores correspondem a 83,33% dos incêndios ocorridos nas sondas de perfuração instaladas durante operações de manutenção de poços marítimos.

Na operação de manutenção dos poços produtores de petróleo surgiram problemas referentes à perda de controle do poço. Nesta fase da análise foram identificados 2 acidentes operacionais referentes ao item em estudo, sendo um decorrente de falhas de equipamentos e outro da corrosão sofrida pelo revestimento ao longo do tempo de produção do poço. Estas perdas de controle de poço não resultaram em graves danos estruturais, pessoais ou ambientais, sendo controladas com precisão e rapidez.

Existiram ainda conseqüências de acidentes como explosão, colisão e poluição ambiental que aparecem com 2,56% dos casos. Este índice é resultado de 2 erros humanos e uma falha de equipamentos. O gráfico da Figura 5.9 retrata a distribuição percentual das conseqüências dos acidentes operacionais durante as operações de intervenção em poços.

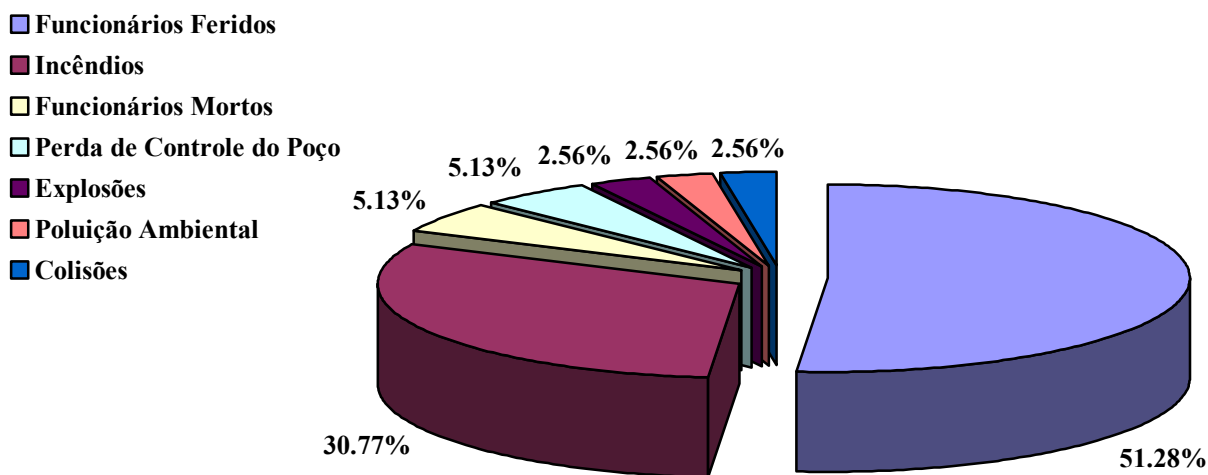


Figura 5.9: Distribuição percentual das principais conseqüências dos acidentes operacionais nas operações de intervenção em poços de petróleo no Golfo do México.

5.6 Visão Geral dos Acidentes Operacionais na Região do Golfo do México

A análise detalhada dos 745 acidentes operacionais ocorridos no período de 1995 a 2000, revelou a existência de uma grande diversidade de fatores que colaboraram no agravamento do número de acidentes operacionais nestas unidades. Dentre as causas mais comuns de acidentes operacionais em unidades marítimas de petróleo na região do Golfo do México estão: falhas de equipamentos, erros humanos, escorregões/tropeços, condições ambientais adversas, perda de pressão hidrostática no interior do poço, péssimo trabalho de cimentação do poço, perda de controle de embarcações, falha no sistema de diverter e perigo geológico raso. A Tabela 5.7 demonstra as principais causas de acidentes operacionais nas unidades marítimas de petróleo na região.

Tabela 5.7: Quadro Geral das causas de acidentes em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo no Golfo do México no período de 1995 e 2000.

Causas dos Acidentes	Número de Causas	
	n	%
Falhas de Equipamentos	299	40,13%
Erros Humanos	244	32,75%
Escorregões/Tropeços	53	7,11%
Condições Ambientais Adversas	19	2,55%
Perda de Pressão Hidrostática	8	1,07%
Péssimo Trabalho de Cimentação	6	0,81%
Descontrole das Embarcações	3	0,40%
Falha no Sistema de Diverter	2	0,27%
Perigo Geológico Raso	2	0,27%
Outros	35	4,70%
Ausência de Dados	13	1,74%
Acidentes com Diversas Causas	61	8,19%
Total	745	100%

n - número de acidentes

A principal causa de acidentes operacionais em unidades marítimas de exploração e produção, localizadas na região do Golfo do México são as falhas de equipamentos. Este fator está presente em 40,13% dos acidentes, totalizando 299 ocorrências. Dentre este valor, 76,25% das falhas de equipamentos aconteceram em unidades marítimas de produção. As válvulas, compressores, tubulações, instrumentos e componentes elétricos foram os equipamentos que apresentaram o maior número de falhas nas unidades. Dawson (1966) realizou um estudo sobre a segurança operacional em operações marítimas de perfuração onde a constante manutenção dos equipamentos é tida como condição primordial para minimização do número de acidentes operacionais causador por falhas de equipamentos.

Na verdade, os acidentes ocasionados por falhas de equipamentos em unidades de produção refletem o direcionamento da pressão na busca pela maximização da produção de petróleo e conseqüentemente dos lucros dos empresários. Em muitos casos as manutenções preventivas são descartadas, pois as operações nas unidades marítimas não podem ser interrompidas, forçando as instalações das unidades marítimas de petróleo a trabalharem no limite máximo de suas capacidades.

Os erros humanos são apontados como o segundo maior causador de acidentes nas unidades marítimas, com 244 acidentes. Este índice corresponde a 52,75% do total de acidentes operacional ocorridos durante o período estudado. Os principais tipos de erros humanos encontrados na análise dos acidentes operacionais são: procedimentos errôneos dos funcionários, falta de capacidade e conhecimento no desempenho da função e falta de responsabilidade. Segundo Freitas *et al* (2001), o cansaço do trabalho em turnos de 12hs e o isolamento imposto colaboram para o agravamento dos acidentes nas plataformas petrolíferas.

Os acidentes operacionais frutos de escorregões/tropeços dos funcionários em áreas comuns das unidades alocadas, apresentou 7,11% dos acidentes operacionais, totalizando 53 casos. Segundo Berger (2000), o ambiente de trabalho em unidades marítimas de petróleo deve estar sempre limpo e livre de materiais alocados em lugares impróprios, pois esta simples medida ocasiona uma grande minimização no número de acidentes nestas unidades.

A região do Golfo do México é conhecida por apresentar condições ambientais bastante severas. Esta região é constantemente castigada por fortes correntes de vento, tufões e furacões, o que ocasionaram 19 acidentes operacionais, de 1995 a 2000. O estudo não contabilizou os danos estruturais causados pelas péssimas condições do tempo, mas o custo destes acidentes pode facilmente alcançar cifras em torno de milhões de dólares.

A perda de pressão hidrostática e o péssimo trabalho de cimentação realizado por unidades marítimas de perfuração de poços de petróleo apresentaram baixos índices no contexto geral dos acidentes operacionais em unidades marítimas localizadas no Golfo do México, com menos de 2% dos acidentes. Estes fatores mostraram-se constantes nas operações em unidades marítimas de perfuração de poços, onde juntos representaram aproximadamente 7% dos acidentes.

A perda de controle das embarcações, falhas no sistema de diverter e presença de gás em baixas profundidades surge com menos de 1% dos acidentes em unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. O descontrole das embarcações causou a colisão destas embarcações com as unidades marítimas, acarretando perdas econômicas e ambientais. A falha no sistema de diverter foi fruto de linhas com dimensões elevadas e repletas de curvas, ocasionando o acúmulo de pressão em pontos desfavoráveis. Por fim a presença de gás em baixas profundidades é um fenômeno que necessita de um bom trabalho geofísico, com o intuito de prevenir os engenheiros da presença destas áreas.

Um caso particular de acidente operacional nas unidades marítimas é aquele que apresenta mais de uma causa, podendo resultar em múltiplos danos às instalações das plataformas marítimas. Na prática existem casos em que as causas encontram-se diretamente interconectadas, de modo que um acidente ao iniciar-se pode rapidamente se propagar por outra causa (efeito dominó), respondendo por 8,19% dos acidentes operacionais com 61 casos.

Para finalizar, deve-se abordar a importância de uma boa coleta de informações sobre os acidentes, pois a falta de clareza e de informações contidas nos relatórios tornou impossível identificar a verdadeira causa de 13 acidentes ocorridos nas unidades marítimas de exploração e produção na região do Golfo durante o período estudado.

5.6.1 Conseqüências dos Acidentes Operacionais na Região do Golfo do México

A análise das conseqüências dos acidentes operacionais em unidades marítimas fez-se necessária para uma completa caracterização dos acidentes nestas unidades, indicando a propagação dos acidentes pelas atividades envolvidas nessas unidades marítimas. Esta avaliação busca identificar os principais itens causadores de cada conseqüência. A idéia é que a partir de um fato consumado se identifique os percussores dos acidentes operacionais nas unidades marítimas de petróleo no período de 1995 a 2000.

Os 745 acidentes operacionais ocorridos na região geraram 931 conseqüências, são elas: funcionários feridos, funcionários mortos, explosões, colisões, poluições ambientais, blowout's, incêndios e perda de controle de poço. Os funcionários feridos e mortos juntos correspondem a 37,49% das conseqüências dos acidentes operacionais ocorridos, totalizando 349 acidentes. Os funcionários feridos apresentaram 89,97% do total de perdas humanas com 314 feridos, enquanto que os funcionários mortos surgem com 35 ocorrências, respondendo por 10,03% das conseqüências dos acidentes referentes a perdas humanas.

Os incêndios, explosões, colisões, perda de controle de poço e *blowout*, tiveram como conseqüência direta perdas materiais. As perdas materiais responderam por 61,01% das conseqüências dos acidentes. Dentre as perdas materiais, os incêndios apresentam 80,81% das conseqüências dos acidentes operacionais, totalizando 459 casos dentre um total de 568. As explosões em unidades marítimas apresentam 8,27% das conseqüências dois acidentes, totalizando 47 casos.

Um tipo bastante comum de consequência dos acidentes foi a colisão entre unidades marítimas, com 5,46% das consequências dos acidentes operacionais que apresentam perdas econômicas. Em seguida, surgem as perdas de controle de poço com 4,75% das consequências com perdas econômicas, sendo responsável por 27 acidentes operacionais.

As poluições ambientais surgem com 1,50% das consequências dos acidentes. Este item apresentou 14 ocorrências durante o período estudado, não sendo computado o volume derramado ao mar destas substâncias. O gráfico da Figura 5.10 demonstra a distribuição geral das consequências dos acidentes operacionais na região do Golfo do México entre 1995 e 2000.

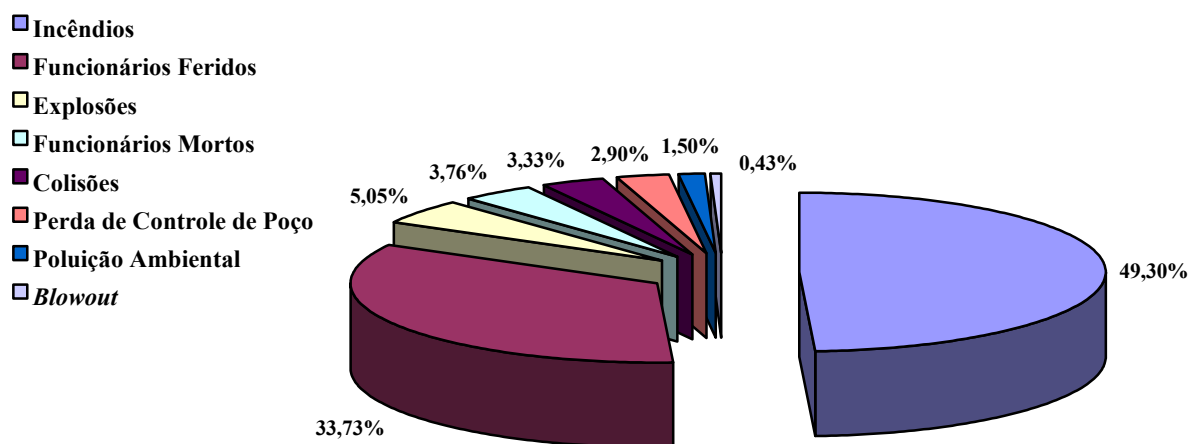


Figura 5.10: Distribuição das consequências dos acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México no período de 1995 a 2000.

5.7 Segurança Operacional no Brasil

Atualmente no Brasil, está ocorrendo uma grande expansão do mercado petrolífero nacional. Esta expansão é fruto de descobertas de reservas gigantes de petróleo e gás, localizadas na bacia do Espírito Santo e bacia de Santos respectivamente. Estas descobertas impulsionaram as atividades de exploração e produção de petróleo no Brasil, tornando o sonho da alta suficiência cada vez mais próximo. O desenvolvimento repentino de uma região pode trazer consigo o agravamento do número de acidentes operacionais, fazendo-se necessária a implementação de programas de segurança (por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores nacionais), capazes de avaliar rapidamente o nível de segurança existente nestas regiões. No modelo brasileiro, vários órgãos atuam de forma direta ou indireta na fiscalização e regulamentação das atividades petrolíferas, abaixo se encontram alguns destes órgãos e suas respectivas funções no cenário nacional.

- Agência Nacional do Petróleo – ANP: regulação, contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes a indústria petrolífera;
- Diretoria de Portos e Costas – DPC: vistoria, inspeção e perícia em instalações marítimas e portos;
- Ibama: fauna, flora, solo, água, ar, vazamentos de óleo;
- ABNT, Ministério do Trabalho: normalização de procedimentos e segurança;
- INMETRO: Certificação de equipamentos.

A Agência Nacional do Petróleo (ANP) é uma autarquia integrante da Administração Pública Federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Esta agência tem por finalidade promover a regulação, contratação e fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, de acordo com o estabelecido na Lei nº 9.478, de 06/08/97, regulamentada pelo Decreto nº 2.455, de 14/01/98, nas diretrizes emanadas do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Atualmente a única portaria referente ao controle da segurança operacional em unidades marítimas de petróleo vigente no país é a ANP003/2003 que trata dos procedimentos operacionais a serem adotados pelas companhias petrolíferas para a comunicação aos órgãos responsáveis da ocorrência de um acidente em suas instalações.

No Brasil, atualmente não se identifica um levantamento ou acompanhamento estatístico (por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores das atividades de extração de petróleo no país) dos acidentes operacionais ocorridos em operações de exploração e produção de petróleo e/ou gás em regiões *onshore* ou *offshore*. Um dos fatores primordiais para a implementação de um programa de análise e controle dos acidentes operacionais em uma região ou país é a padronização da informação. Neste ponto, os órgãos envolvidos no processo de controle da segurança operacional no país poderão desenvolver um formulário eletrônico contendo informações necessárias para identificar os pontos falhos nas operações petrolíferas merecedoras de atenção especial.

A Figura 5.11 é o modelo básico de um formulário eletrônico, podendo ser utilizado pelos órgãos responsáveis no país, para receberem das companhias petrolíferas, as informações dos acidentes operacionais ocorridos em suas instalações. Os campos de informações contidos no modelo básico do formulário estão comentados abaixo.

- **Data:** deve ser preenchido com o dia, mês e ano do acidente, esta informação revela o período de maior ocorrência dos acidentes ao longo dos tempos;
- **Onshore/Offshore:** a região de localização do acidente é fundamental para o desenvolvimento de um programa específico de segurança operacional, já que técnicas e equipamentos utilizados na exploração e produção de petróleo se diferenciam quanto à localização da jazida (terra ou mar);
- **Nome da Companhia Operadora:** a obtenção deste dado é importante para observar o envolvimento das companhias em outros acidentes operacionais, e ainda verificar as medidas adotadas por estas para prevenir futuros acidentes em suas instalações;
- **Nome do Campo/Número do Bloco:** com estes dados é possível direcionar medidas específicas de segurança operacional, gerando procedimentos específicos para cada região;

- Tipo de Operação: visa verificar a segurança operacional nas operações envolvidas (perfuração, completação, produção, intervenção em poço e etc) na exploração e produção de petróleo;
- Tipo de Atividade: visa uma melhor caracterização dos acidentes operacionais em cada operação envolvida, estabelecendo as atividades (exploração, desenvolvimento e etc) em cada operação que apresenta maiores índices de acidentes;
- Tipo de Unidade Marítima/Nome da Unidade Marítima: estes dados identificam os tipos e nomes de unidades marítimas (SS, FPSO, Jack up e etc) que apresentam maiores acidentes, desenvolvendo medidas específicas de segurança para cada tipo de unidade marítimas de exploração ou produção de petróleo;
- Profundidade d'água: visa identificar a profundidade d'água de maior ocorrência de acidentes, assim, os órgãos responsáveis podem direcionar suas políticas de segurança para cada caso em particular;
- Causa(s) do Acidente: um dos itens mais importantes tem o intuito de informar o fator que desencadeou o acidente, determinando os pontos de maior risco envolvido nas operações de exploração e produção de petróleo ao longo dos anos;
- Conseqüência(s) do Acidente: com este item é possível determinar as principais áreas prejudicadas com os acidentes operacionais;
- Número de Funcionários Mortos/Feridos/Volume de Óleo Derramado: o intuito é determinar de forma quantitativa os danos causados ao meio ambiente e a vida humana;
- Comentário: consiste em um breve resumo do acidente, de forma simples e objetiva, a finalidade deste item é uma visualização ampla do acidente.

Comunicação de Acidentes Operacionais		
Dados da Empresa		
Nome da Companhia Operadora:	<input type="text"/>	
Endereço:	<input type="text"/>	
Telefone:	<input type="text"/>	
e-mail:	<input type="text"/>	
Dados Gerais do Acidente		
Data:	<input type="text"/>	Onshore <input type="text"/>
		Offshore <input type="text"/>
Nome do Campo:	<input type="text"/>	Número do Bloco: <input type="text"/>
Tipo de Operação:	<input type="text"/>	Tipo de Atividade: <input type="text"/>
Tipo de Unidade Marítima:	Nome da Unidade Marítima: <input type="text"/>	Profundidade (m): <input type="text"/>
Dados Específicos do Acidente		
Causa(s) do Acidente:		
<input type="text"/>		
Conseqüência(s) do Acidente:		
<input type="text"/>		
Nº de Funcionários Feridos:	<input type="text"/>	Volume de Óleo Derramado (bbl): <input type="text"/>
Nº de Funcionários Mortos:	<input type="text"/>	
Comentário:		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		

Figura 5.11: Modelo básico de um formulário eletrônico utilizado para o repasse de informações sobre a ocorrência de acidentes operacionais aos órgãos responsáveis.

A análise dos acidentes operacionais não é o único ou mais eficiente método de controle da segurança operacional. Este tipo de estudo pode ser considerado o ponto de partida para a implementação de um programa eficaz de segurança operacional pelos órgãos responsáveis em um país ou região. A análise dos dados dos acidentes operacionais fornecerá aos órgãos responsáveis uma visão total do comportamento adotado pelos acidentes operacionais ao longo dos anos. Desta forma, é possível indicar as operações e situações dentre cada operação que apresentam constantes problemas com o passar dos anos, apontando suas principais causas e conseqüência. Análises deste tipo visam o aprimoramento cada vez maior dos programas de segurança operacional, vislumbrando a minimização do número de acidentes para níveis cada vez menores.

Em parceria com o acompanhamento estatístico dos acidentes operacionais, é possível implementar um programa de Alerta de Segurança. Este mecanismo pode ser implementado com baixos custos e suas informações podem ser repassadas as companhias atuantes no cenário nacional em forma eletrônica, o que reduz ainda mais os custos de disseminação do conhecimento. O Alerta de Segurança poderá ser dividido em três campos básicos, são eles: idéia geral, resumo do acontecimento e quais as recomendações para a prevenção de futuros acidentes.

No campo inicial, o Alerta de Segurança abrange uma descrição do tipo de sonda e/ou plataforma onde se passou o acidente, profundidade d'água, região de localização, operação e atividade realizada no momento do acidente. Posteriormente no campo seguinte, é descrito um sucinto relato do acidente evitando as abreviações técnicas e expondo as verdadeiras causas e conseqüências dos acidentes permitindo às empresas adotarem medidas preventivas para evitar novas ocorrências. Para finalizar o Alerta de Segurança, são geradas recomendações a serem adotadas ou verificadas pelas companhias no âmbito da segurança operacional com o intuito de prevenir acidentes similares. Estas recomendações são baseadas em normas e legislações de segurança operacional vigentes no país ou região analisada. A Figura 5.12 é um modelo básico de formulário de Alerta de Segurança.

Alerta de Segurança	
Número do Alerta:	<input type="text"/>
Idéia Geral:	
Resumo do Acontecimento:	
Recomendações:	

Figura 5.12: Modelo básico de um formulário para divulgação de um Alerta de Segurança.

Para a realização de um estudo da segurança operacional no Brasil, por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores, é possível utilizar alguns tipos de causas de acidentes operacionais apresentados pelo estudo referentes à região do Golfo do México, levando em consideração as devidas proporções entre cada região. Um exemplo básico deste cuidado a ser adotado são as condições ambientais adversas presenciadas pelo estudo no Golfo do México, este tipo de causa engloba situações como tufões e furacões cujas ocorrências são remotas em nosso país. O uso dos tipos de causas de acidentes operacionais encontrados no Golfo do México podem ser utilizados de forma macro em um estudo de segurança no Brasil, mas uma análise aprofundada de cada acidente irá revelar diferenças entre as regiões.

As diferenças existentes entre as regiões estão presentes a partir do tipo de região ou lâmina d'água que se está perfurando ou produzindo. No Brasil, por exemplo, a tecnologia em águas profundas e ultraprofundas está em amplo desenvolvimento com a Petrobrás o que revela uma maior probabilidade de sucesso em operações neste cenário, entretanto no Golfo do México este tipo de tecnologia encontra-se ainda em amadurecimento.

No Brasil, a Agência Nacional de Petróleo procurando alavancar a discussão em torno da segurança, disponibilizou para consulta pública uma regulamentação tratando “Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural” (Regulamento técnico ANP-2004). Através desta iniciativa, pretende-se discutir com a comunidade do setor petrolífero no Brasil, para posteriormente estabelecer os requisitos técnicos, econômicos e jurídicos a serem atendidos pelos concessionários nas suas instalações marítimas de exploração e produção.

O estudo realizado anteriormente tem a finalidade de ressaltar a importância da criação de um programa de segurança operacional abrangente para todo o território nacional, pelas agências reguladoras e fiscalizadoras atuantes na exploração e produção de petróleo no país. As análises dos dados dos acidentes operacionais surgem como ponto inicial para implementação de um programa de segurança, pois este tipo de análise dá as agências responsáveis a noção ideal do comportamento dos acidentes operacionais ao longo dos anos numa região. O programa de Alerta de Segurança vem complementar o estudo acima, informando e recomendando as companhias sobre a ocorrência dos acidentes como também precauções para evitar acidentes similares. No Brasil faz-se necessário estes tipos de análises principalmente pelo brusco desenvolvimento ao qual o setor petrolífero está passando e irá passar pelos próximos anos.

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações

O estudo realizado neste trabalho representa uma iniciativa de absorver informações relativas a segurança operacional em operações de exploração e produção de petróleo, baseado em acidentes operacionais ocorridos em plataformas marítimas na região do Golfo do México. Contudo, para o bom uso das informações geradas a partir da análise de dados de acidentes operacionais é importante o envolvimento de um conhecimento especialista na análise, classificação e conceituação dos acidentes.

A análise dos dados de acidentes operacionais ocorridos em uma região não é o único ou mais eficiente método de segurança operacional, mas pode ser considerado o ponto de partida para a implementação de um programa de segurança, sendo capaz de auxiliar engenheiros no desenvolvimento e aprimoramento dos programas de segurança operacional.

Os resultados obtidos na análise dos acidentes operacionais ocorridos na região do Golfo do México servem de base apenas para programas de segurança a serem desenvolvidos ou aprimorados nesta região. O modelo empregado no estudo pode ser utilizado em outras regiões, mas os dados conclusivos são específicos do Golfo do México.

A avaliação da confiabilidade humana está presente no dia-a-dia das grandes companhias petrolíferas como forma de verificar o desempenho de seus funcionários. Desta forma, enfatiza-se a utilização deste tipo de análise como mais um fator preponderante no acompanhamento dos acidentes operacionais.

No Brasil, faz-se necessário por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores das atividades petrolíferas, um programa de análise e controle estatístico dos acidentes operacionais em operações de exploração e produção de petróleo. Este tipo de análise fornecerá aos órgãos responsáveis uma noção geral do comportamento dos acidentes ao longo dos anos, indicando as operações e situações dentre cada operação que apresentaram constantes problemas no decorrer das atividades.

Comumente presente nos órgãos reguladores internacionais sugere-se para o Brasil a implementação de um programa de Alerta de Segurança como complemento do acompanhamento estatístico realizado anteriormente. O intuito deste programa é o aprendizado com os próprios erros, desta forma, repassando as companhias procedimentos errôneos ocorridos em operações petrolíferas e medidas necessárias para prevenir futuros acidentes similares. As recomendações de procedimentos operacionais contidos nos Alertas de Segurança são baseados em normas vigentes no país.

Recomendações para Trabalhos Futuros

- Para uma melhor eficácia e refinamento na análise dos acidentes operacionais em campos *onshore* ou *offshore*, sugere-se a construção de um programa de Inteligência Artificial usando uma técnica denominada de “Raciocínio Baseado em Casos” [Kolodner (1993)]. Esta técnica permite realizar uma análise de risco das operações de perfuração, completação, produção ou intervenção em poços baseada em um histórico de acidentes operacionais previamente construídos e servindo como base de consulta. O Raciocínio Baseado em Casos foi usado pelo Prof. Dr. José Ricardo em sua Tese de Doutorado, o qual utilizou esta técnica para avaliar o risco de projetos de poços de petróleo, apresentando resultados positivos.

- Com a descoberta de grandes reservas de óleo e gás na costa brasileira, surge a necessidade de uma análise de risco das operações de exploração e produção destas reservas. Esta análise será baseada num histórico de acidentes ocorridos nas regiões de descoberta ao longo dos anos. Pode-se desenvolver o programa acima citado e validá-lo com os dados da Bacia de Campos, Bacia de Santos ou Bacia do Espírito Santo.

Referência Bibliográfica

ADAMS, N. *Well Control Problems and Solutions*. Tulsa: The Petroleum Publishing Company, 1980.

ADAMS, N. J., KUHLMAN, L. G. Shallow Gas Blowout Kill Operations. SPE 21455. In: The Society of Petroleum Engineers Middle East Oil Show, Bahrain, November 1991.

ADAMS, N. J., KUHLMAN, L. G. Case History Analyses of Shallow Gas Blowout. SPE 19917. In: The Society of Petroleum Engineers Drilling Conference, Texas, February-March 1990.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Portaria ANP 025: Procedimentos a serem adotados no abandono de poço de petróleo e/ou gás. Março de 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Portaria ANP 003: Estabelece o procedimento para comunicação de incidentes, a ser adotado pelos concessionários e empresas autorizadas pela ANP a exercer as atividades de exploração, produção, refino, processamento, armazenamento, transporte e distribuição de petróleo, seus derivados e gás natural, no que couber. Janeiro de 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Regulamento Técnico: Estabelece as medidas necessárias para o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural. Janeiro de 2004.

ALMEIDA, A. C. *Manual de Perfuração*. 3^a edição. Salvador: Petrobrás, 1981.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. RP 10A: Specification for Cements and Materials for Well Cementing Petroleum and natural gas industries - Cements and materials for well cementing. 23rd edition. April 2002.

BAKER HUGHES. Rig Counts. Oferece dados sobre a quantidade de sondas de perfuração atuando na região do Golfo do México no período de 1985 a 2003. Disponível em: <<http://www.bakerhughes/investor/rig/index.html>> . Acesso em: 05 de Abril de 2003.

BEDRICOW, B. Estatísticas de Acidentes do Trabalho. In: Seminário Internacional de Atualização em Segurança e Saúde no Trabalho, São Paulo, Março, 1996.

BERGER, B. K., LANDRA, T. K. A Practical Approach to Operational Safety Programs. SPE 61160. In: The Society of Petroleum Engineers International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Stavanger, June 2000.

BRANTLY, J. E. *History of Oil Well Drilling*. Houston: Gulf Publishing Company, 1971.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Guide to Health and Safety Management Systems (Draft). Londres, BSI, 1994.

BOURGOYNE, A. T. JR., CHENEVERT M. E., MILLHEIM K. K., YOUNG F. S. JR. *Applied Drilling Engineering*. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 1986.

CATUNEANU, V. M., MIHALACHE, A. N. *Reliability Fundamentals*. New York: Elsevier Publishing, 1989.

DAWSON, J. A. Offshore Safety – Drilling Operations. SPE 1551. In: The 41st Annual Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers, Texas, October 1966.

- FOSTER, J. H., BESON, J., BOYLE, W. G. Wellhead Equipment and Flow Control Devices. In: *Petroleum Engineering Handbook*. Second edition. Richardson: Society of Petroleum Engineers Publishing, 1987.
- FRANKEL, E. G. *System Reliability and Risk Analysis*. Second edition. Boston: Kluwer Academic Publishing, 1988.
- FREITAS, C. M., SOUZA, C. A. V., MACHADO, J. M. H., PORTO, M. F. S. Acidentes de Trabalho em Plataformas de Petróleo da Bacia de Campos. p. 117-130. Janeiro-Fevereiro 2001.
- GALLIKER, D. The Role of Accident Statistics in Accident Prevention. In: The 24th General Assembly of the International Social Security Association, Acapulco, November-December 1992.
- GARCIA, J. E. L. A Completação de Poços no Mar. Petrobrás, SEREC/CEN-NOR, 2002.
- GORDON, R., FLIN, R., MEARNS, K. Collecting Human Factors Data from Accidents and Incidents. SPE 61053. In: The Society of Petroleum Engineers International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Stavanger, June 2000.
- GRINROD, M., HAALAND, O., ELLINGSEN, B. A Shallow Gas Research Program. SPE 17256. In: The Society of Petroleum Engineers Drilling Conference, Texas, February-March 1988.
- HILL, P. J. The MMS - USCG Memorandum of Understanding. OTC 13171. In: The Offshore Technology Conference, Texas, April-May 2001.
- JAHN, F., COOK, M., GRAHAM, M. *Hydrocarbon Exploration and Production*. Aberdeen: Elsevier, 1998.

- KING, W. E. Work Injury Statistics - How to Understand and Use Them. Ontario, Canadian Center for Occupational Health and Safety, 1990.
- KOLODNER, J. L. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann. Califórnia: San Mateo, 1993.
- LEE, K.W., Tillman, F.A., Higgins, J.J.; A Literature Survey of the Human Reliability Component in a Man-Machine System; IEEE Transactions on Reliability, 1988.
- MEISTER, D., MILLS, R. G. Development of a Human Performance Reliability Data System. In: Tenth Reliability and Maintainability Conference, Californian, June 1971.
- MENDES, J. R. P. Raciocínio Baseado em Casos Aplicado a Projetos de Poços de Petróleo. Dissertação de Doutorado da Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- MEYER, P. L. *Introductory Probability and Statistical Applications*. Rio de Janeiro: Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- MINERAL MANAGEMENT SERVICE. Offshore Program. Offshore Safety. Safety Alert. Related of accidents that Occurred in Gulf of Mexico, Alaska and Pacific. Disponível em: <<http://www.mms.gov/offshoresafety/>>. Acesso em: 08 de Janeiro de 2003.
- NILO, M. J. Reliability Assessment and Risk Analysis of Submarine Blowout Preventer. Dissertação de Doutorado na United Kingdom, 2000.
- OFFSHORE TECHNOLOGY. Industry Projects. Disponibiliza informações sobre estruturas e construção de sondas de perfuração e equipamentos offshore. Disponível em: <<http://www.offshore-technology.com/projects/index.html>>. Acesso: 03 de Abril de 2003.

OIL AND GAS PRODUCERS. Safety Performance of the Global E&P Industry - 2002 data
Disponibiliza informações sobre acidentes operacionais ocorridos em companhias de
petróleo pelo mundo. Disponível em: <<http://www.ogp.org.uk/>>. Acesso: 25 de Novembro
de 2003.

OLIVEIRA, P. C. P., ARRUDA, A. M. P., NEGRÃO, A. F. *Kicks – Prevenção e Controle*.
Salvador: Petrobrás/Serviço de Desenvolvimento de Recursos Humanos, 1988.

PARK, K. S. *Human Reliability: Analysis, Prediction and Prevention of Human Errors*. Tokyo:
Elsevier Publishing, 1987.

PATTON, L. D. Production Packers. In: *Petroleum Engineering Handbook*. Second edition.
Richardson: Society of Petroleum Engineers Publishing, 1987.

RAMESH, C. G., CHAKRABORTY, A. B. Safety Control in Offshore E&P Contractor
Operations. SPE 61004. In: The Society of Petroleum Engineers International Conference
on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Stavanger,
June 2000.

SMITH, R. C. Successful Primary Cementing Can Be a Reality. *Journal of Petroleum
Technology*, p. 1851-1858, November 1984.

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Petrobrás/Editora
Interciência, 2001.

THORMAN, R. Offshore Safety – Getting the Emphasis Right. SPE 19231. In: The Society of
Petroleum Engineers Offshore Europe, Aberdeen, September 1989.

UNITED STATES COAST GUARD. Apresenta informações relativas a jurisdição e obrigações da guarda costeira em operações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás na plataforma continental americana. Disponível em: <<http://www.uscg.mil/USCG.shtm>>. Acesso: 08 de Janeiro de 2003.

WHALEN, BRUCE. *Well Service and Workover Profitability*. Texas: Petroleum Extension Service, 1980.

WIRSCHING, J. E. Safety in Offshore Drilling and Production Operations. OTC 1719. In: Fourth Offshore Technology Conference Annual, Texas, May 1972.

VAN DYKE, K. *A Primer of Oilwell Service Workover and Completetion*. Austin: University of Texas at Austin, 1997.

Apêndice A

Dados Gráficos de Acidentes Operacionais na Perfuração

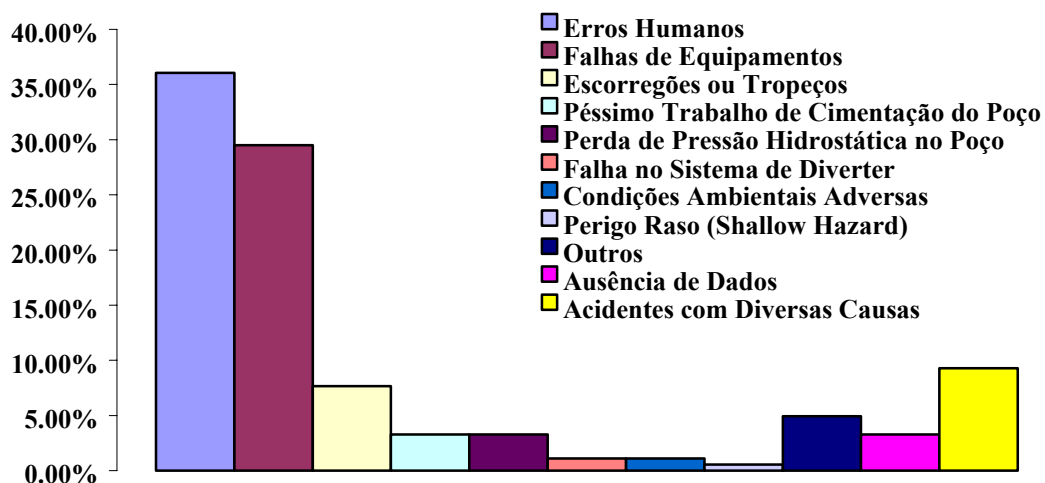


Figura A.1: Principais causas de acidentes operacionais em operações de perfuração no Golfo do México, 183 acidentes.

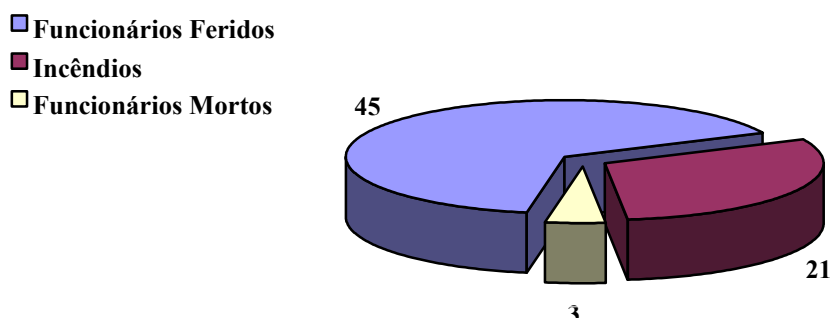


Figura A.2: Conseqüências de erros humanos em operações de perfuração, 66 casos.

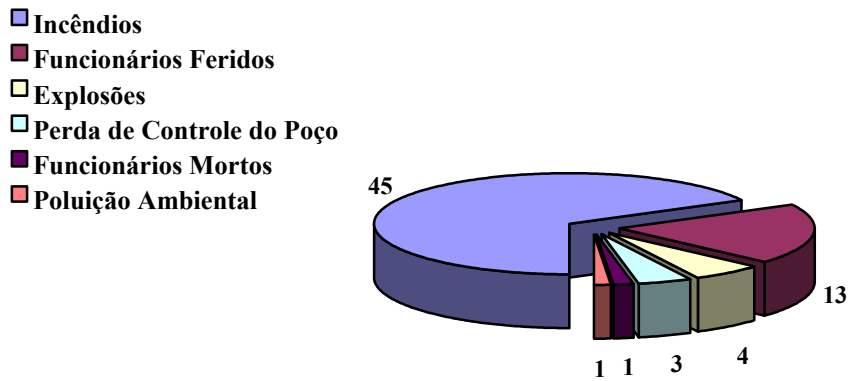


Figura A.3: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de perfuração, 54 casos.

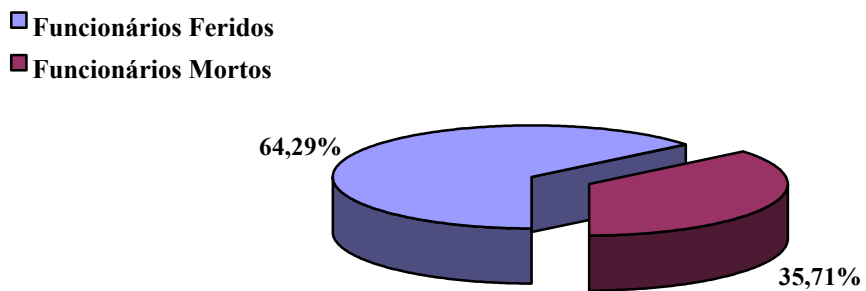


Figura A.4: Conseqüências de escorregões/tropeços em operações de perfuração, 14 casos.

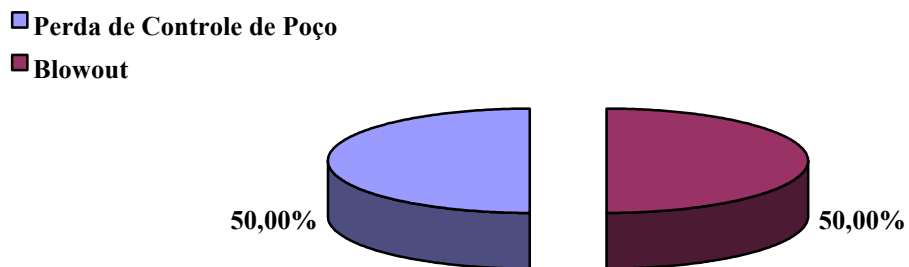


Figura A.5: Conseqüências do péssimo trabalho de cimentação em operações de perfuração, 6 casos.

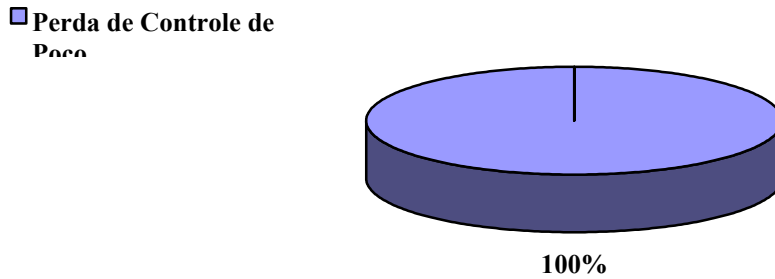


Figura A.6: Conseqüências de perda de pressão hidrostática em operações de perfuração, 6 casos.

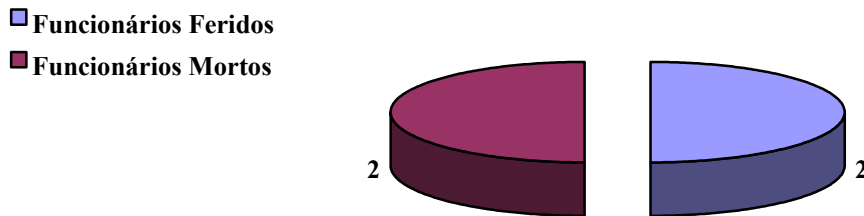


Figura A.7: Conseqüências de condições ambientais adversas em operações de perfuração, 2 casos.

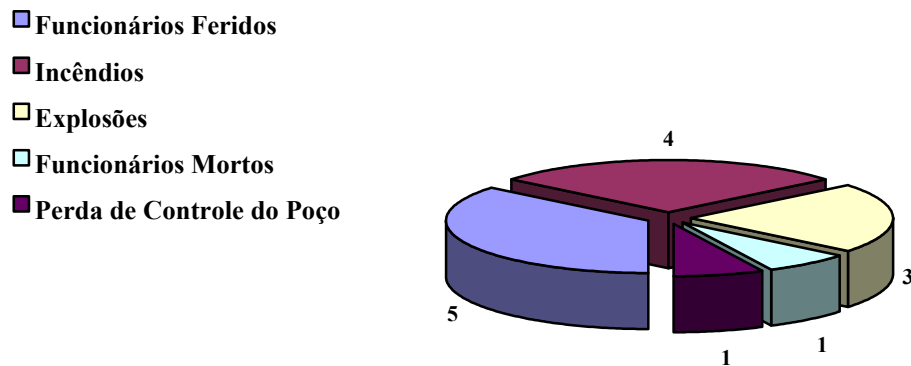


Figura A.8: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de perfuração, 11 casos.

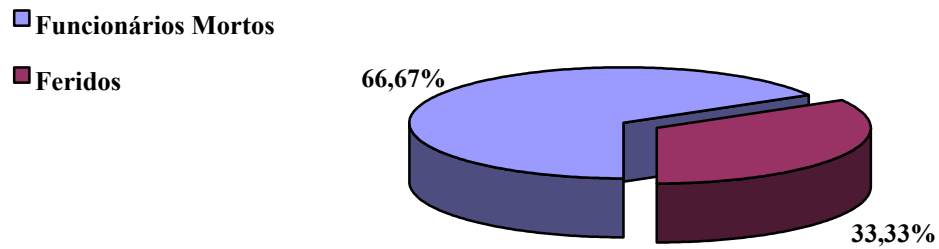


Figura A.9: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de perfuração, 3 casos.

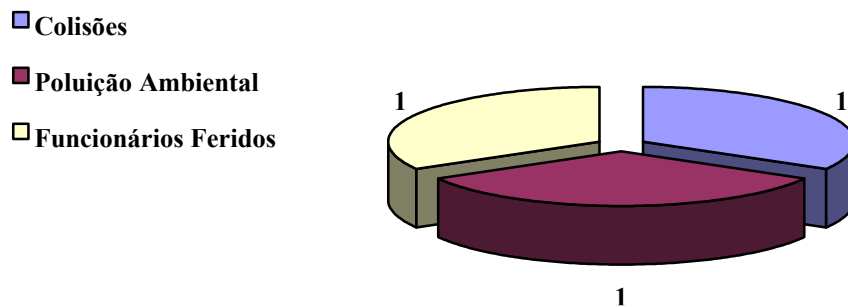


Figura A.10: Conseqüências de erros humanos/condições ambientais adversas em operações de perfuração, 2 casos.

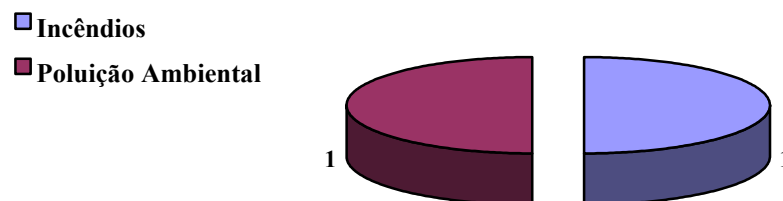


Figura A.11: Conseqüências de falhas de equipamentos/condições ambientais adversas em operações de perfuração, 1 caso.

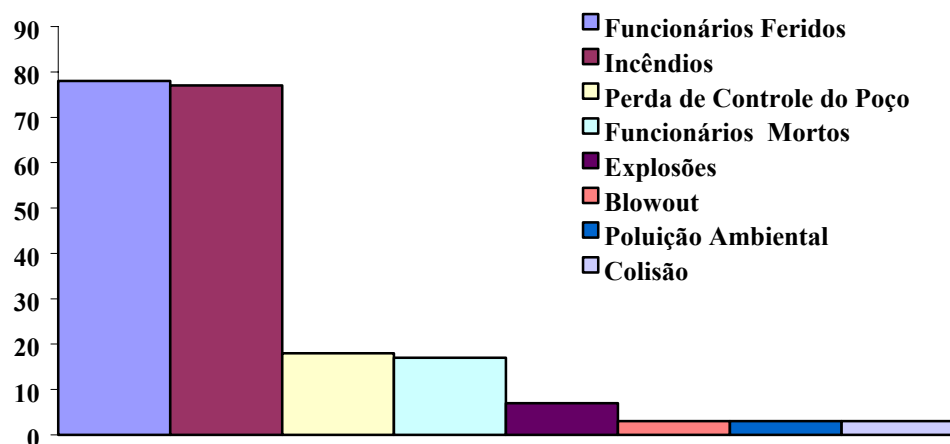


Figura A.12: Principais conseqüências de acidentes em operações de perfuração na região do Golfo do México, 206 casos.

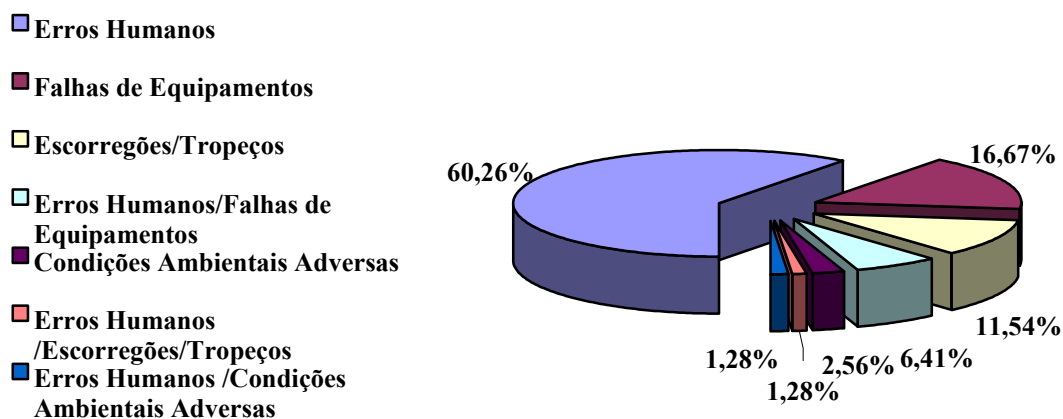


Figura A.13: Causas de funcionários feridos em operações de perfuração, 78 casos.

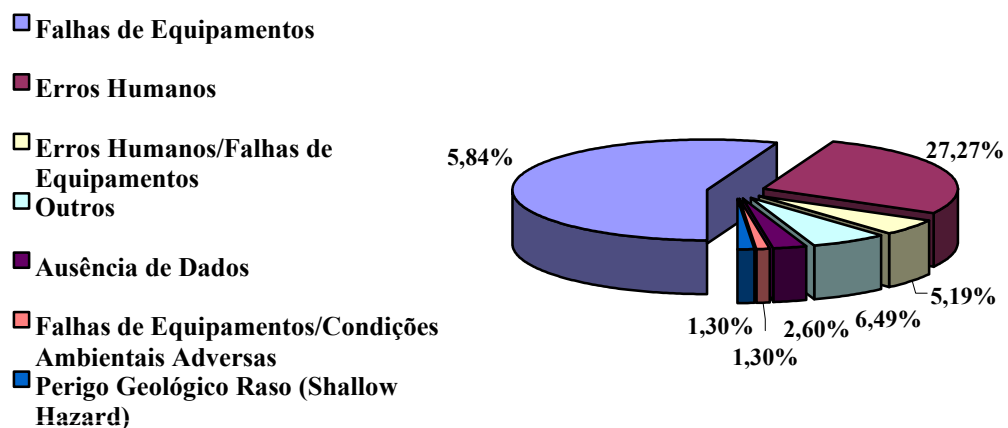


Figura A.14: Causas de incêndios em operações de perfuração, 77 casos.

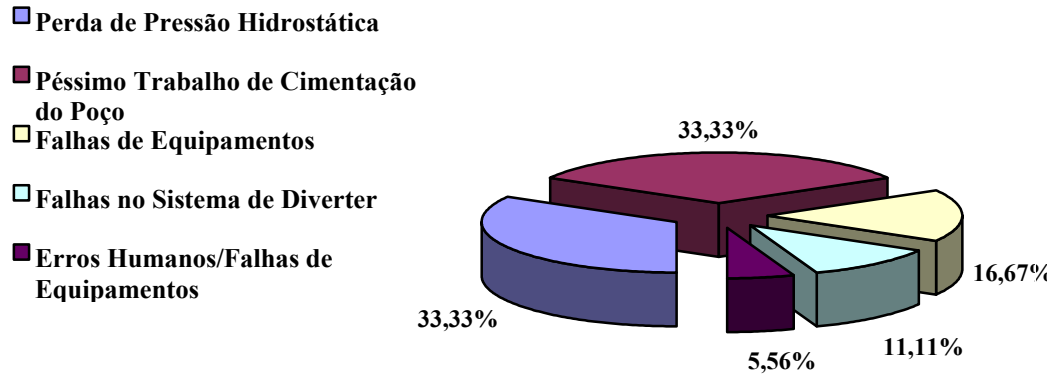


Figura A.15: Causas de perda de controle de poço em operações de perfuração, 18 casos.

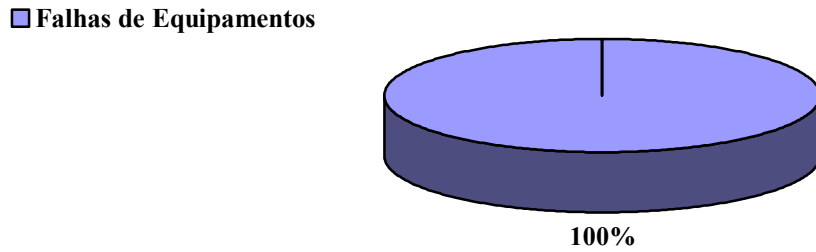


Figura A.16: Causas de explosões em operações de perfuração, 7 casos.

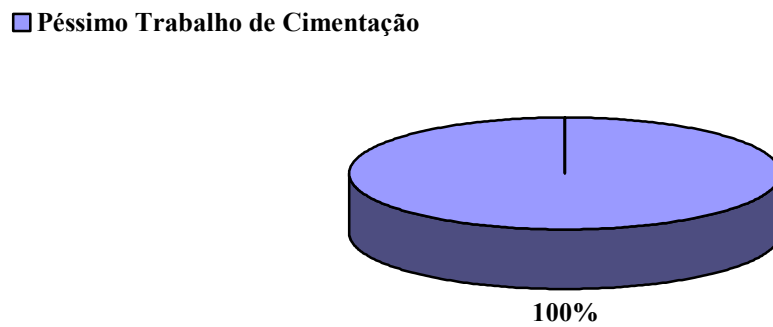


Figura A.17: Causas de *blowout* em operações de perfuração, 3 casos.

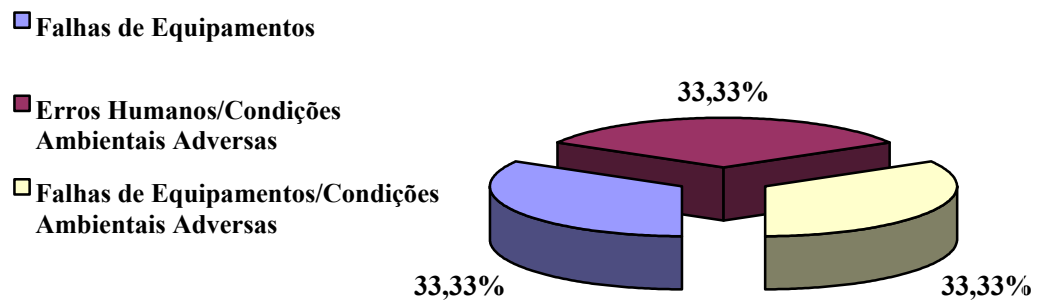


Figura A.18: Causas de poluição em operações de perfuração, 3 casos.

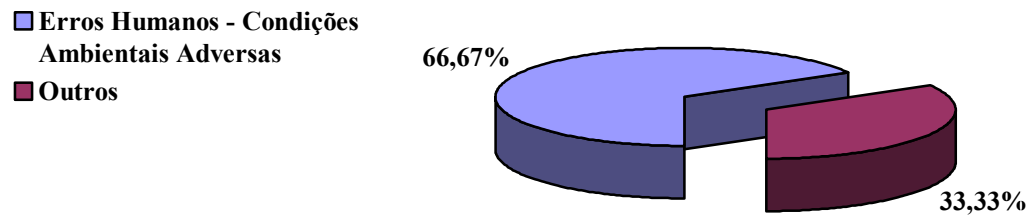


Figura A.19: Causas de colisões em operações de perfuração, 3 casos.

Apêndice B

Dados Gráficos de Acidentes Operacionais na Completação

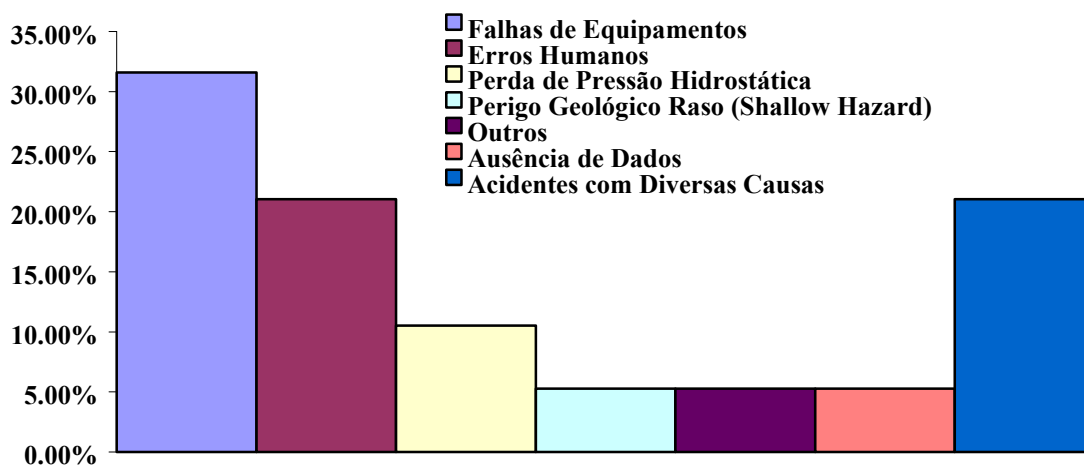


Figura B.1: Principais causas de acidentes em operações de completção na região do Golfo do México, 19 acidentes.

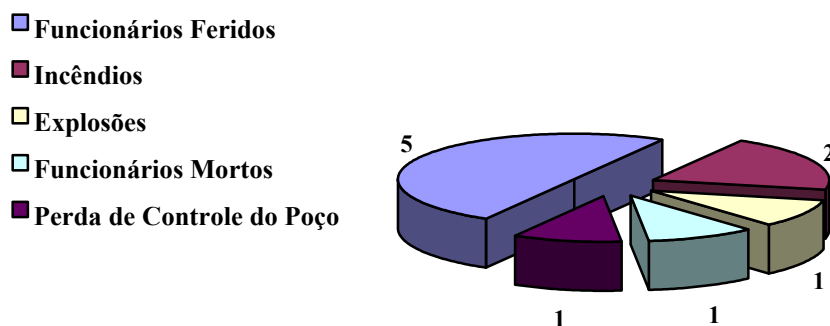


Figura B.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de completção, 6 casos.

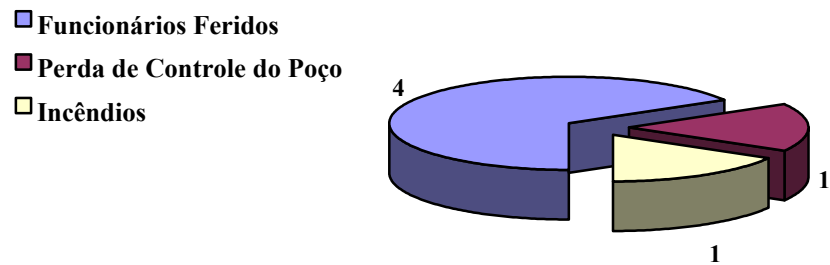


Figura B.3: Conseqüências de erros humanos em operações de completção, 4 casos.

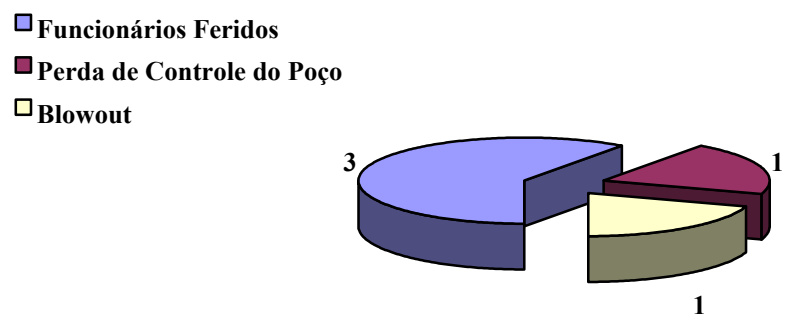


Figura B.4: Conseqüências de perda de pressão hidrostática em operações de completção, 2 casos.

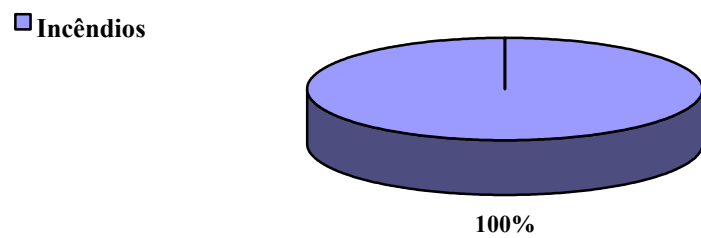


Figura B.5: Conseqüências de perigo geológico raso em operações de completção, 1 caso.

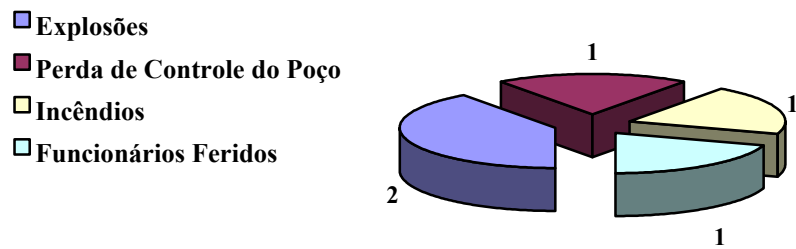


Figura B.6: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de completção, 2 casos.

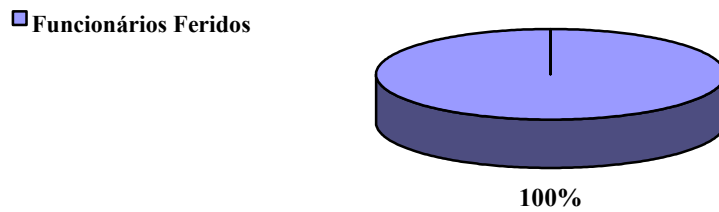


Figura B.7: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de completção, 1 caso.

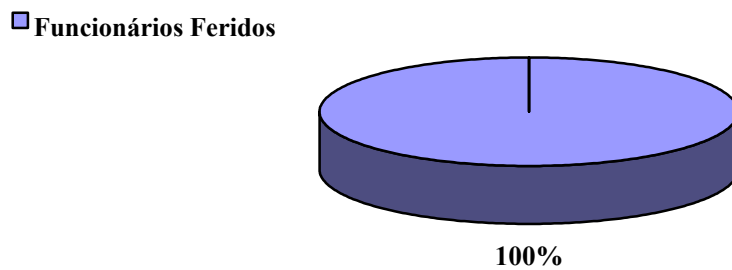


Figura B.8: Conseqüências de condições ambientais adversas/escorregões/tropeços em operações de completção, 1 caso.

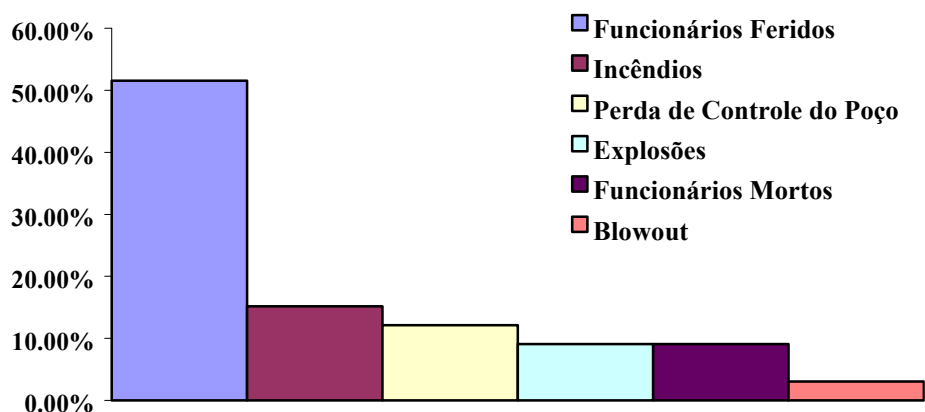


Figura B.9: Principais conseqüências de acidentes em operações de completção na região do Golfo do México, 33 casos.

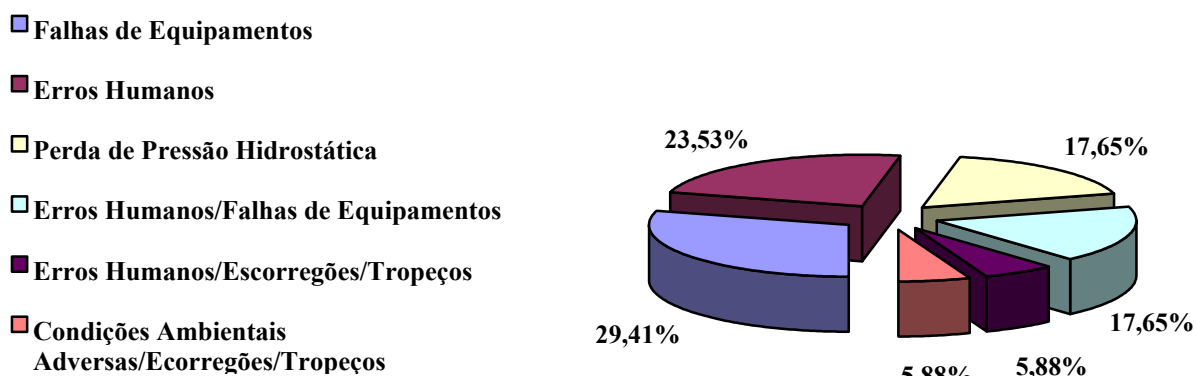


Figura B.10: Causas de funcionários feridos em operações de completção, 17 casos.

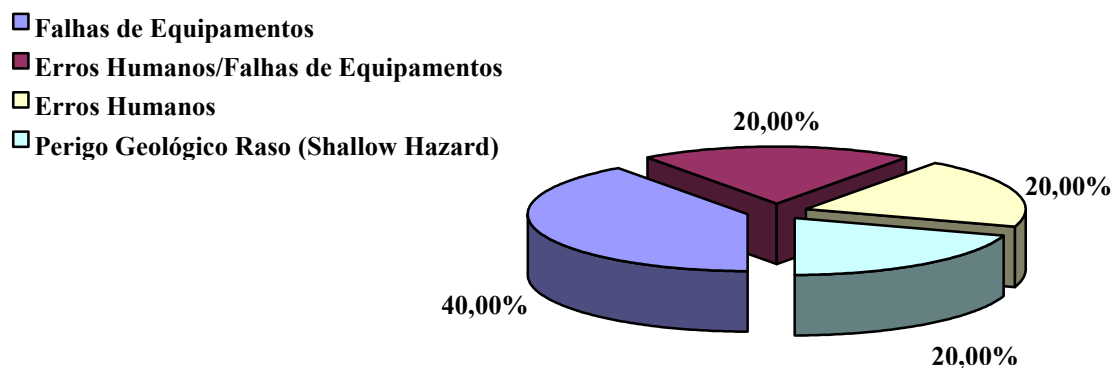


Figura B.11: Causas de incêndios em operações de completção, 5 casos.

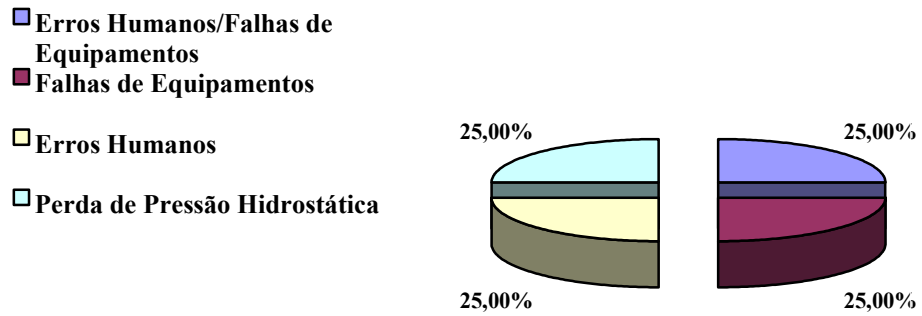


Figura B.12: Causas de perda de controle de poço em operações de completção, 4 casos.

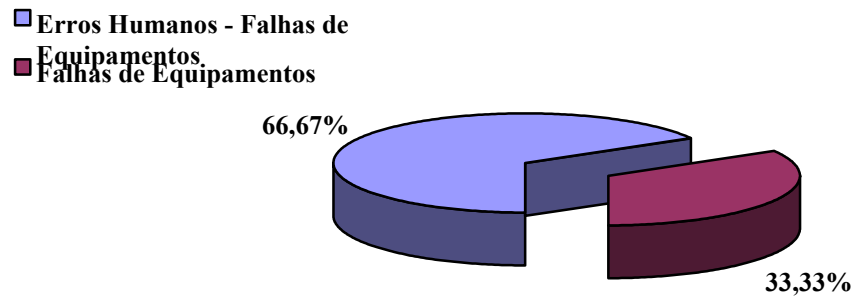


Figura B.13: Causas de explosões em operações de completção, 3 casos.

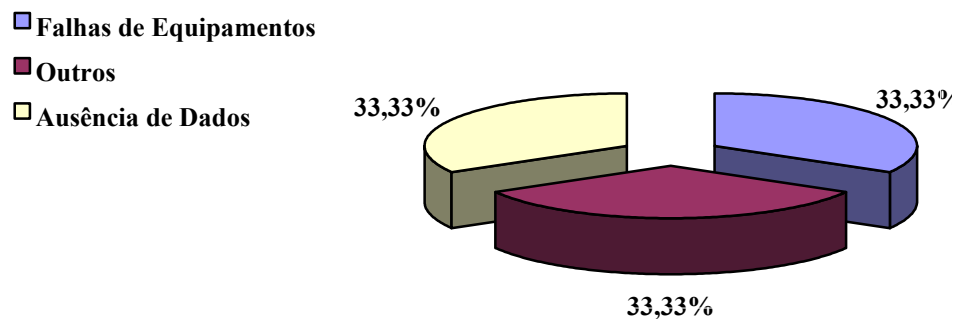


Figura B.14: Causas de mortes de funcionários em operações de completção, 3 casos.

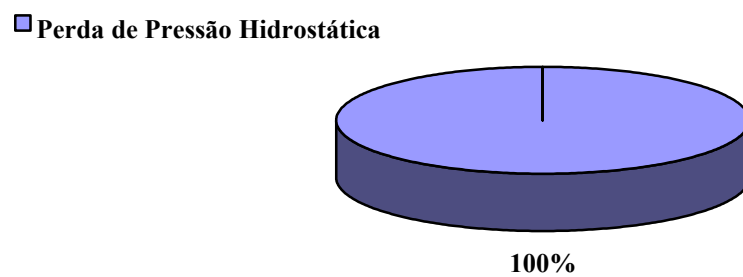


Figura B.15: Causas de *blowout* em operações de completação, 1 caso.

Apêndice C

Dados Gráficos de Acidentes Operacionais na Produção

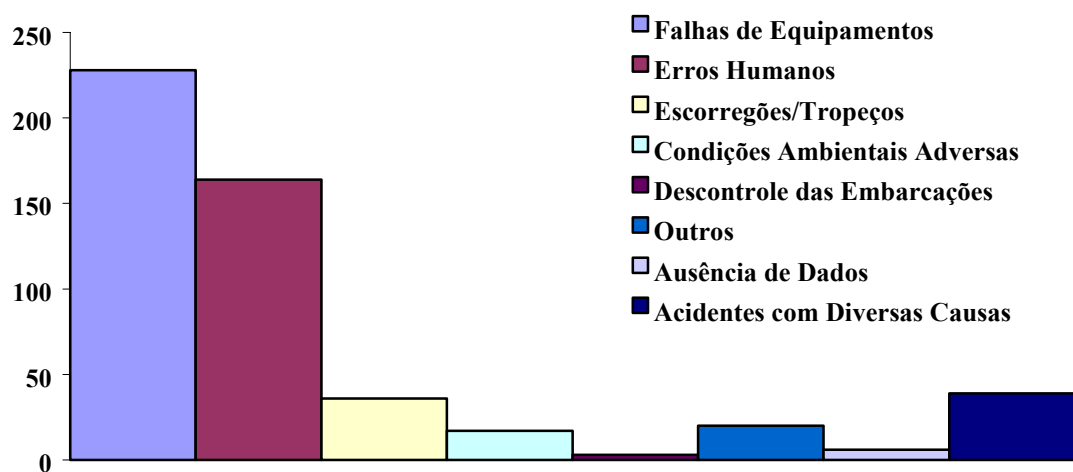


Figura C.1: Principais causas de acidentes em operações de produção na região do Golfo do México, 514 acidentes.

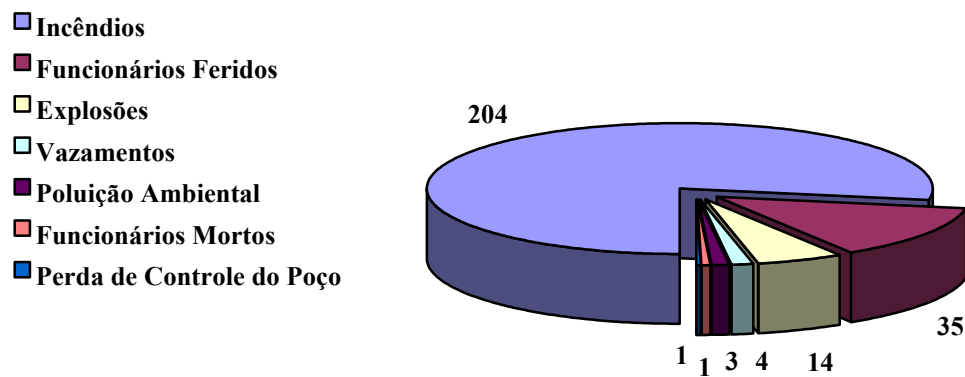


Figura C.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de produção, 228 casos.

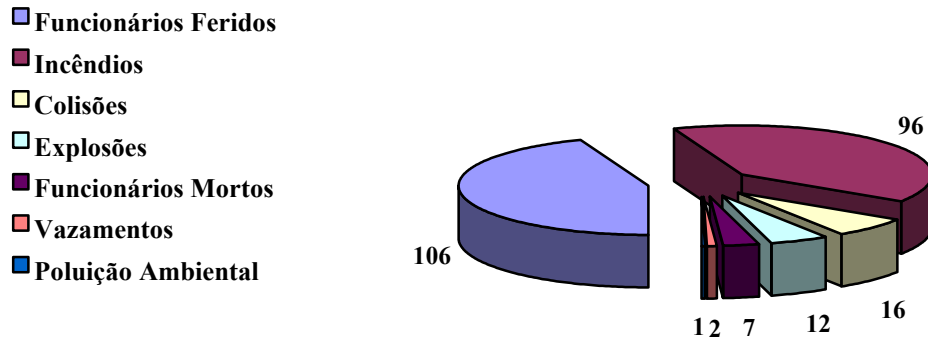


Figura C.3: Conseqüências de erros humanos em operações de produção, 164 casos.

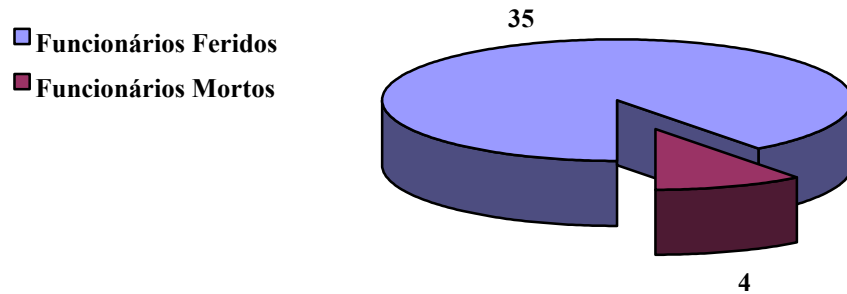


Figura C.4: Conseqüências de escorregões/tropeços em operações de produção, 36 casos.

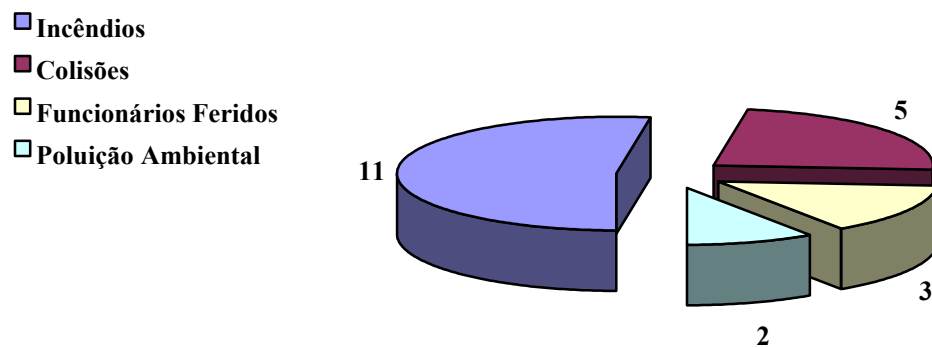


Figura C.5: Conseqüências de condições ambientais adversas em operações de produção, 17 casos.

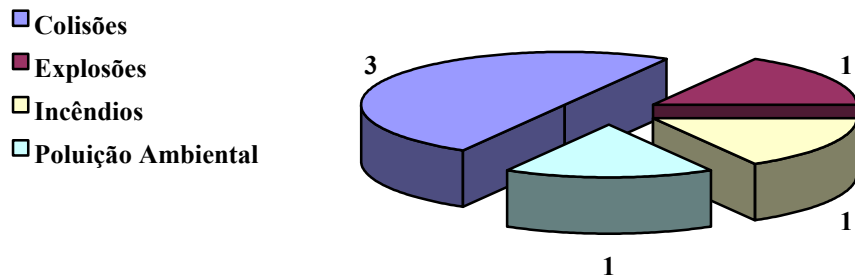


Figura C.6: Conseqüências de descontrole de embarcações em operações de produção, 3 casos.

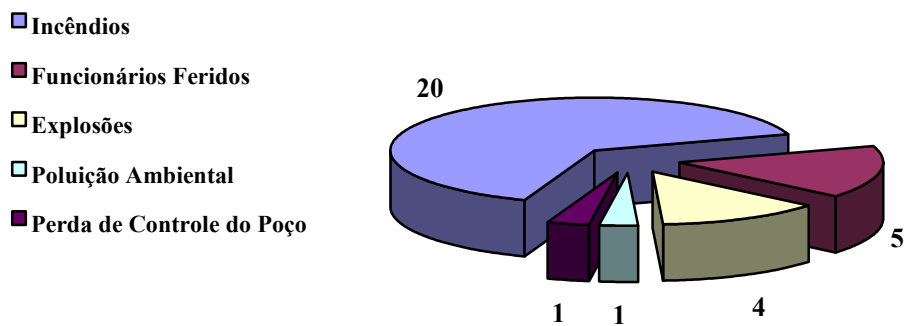


Figura C.7: Conseqüências de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de produção, 23 casos.

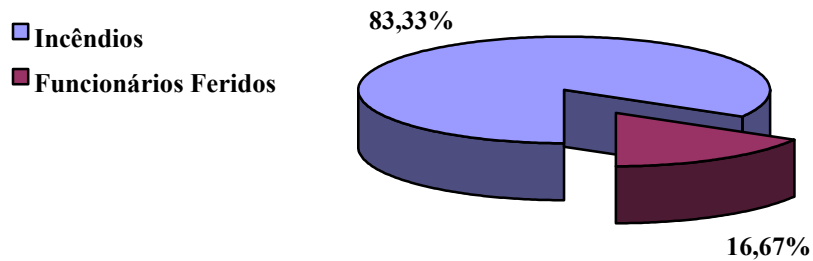


Figura C.8: Conseqüências de falhas de equipamentos/condições ambientais adversas em operações de produção, 6 casos.

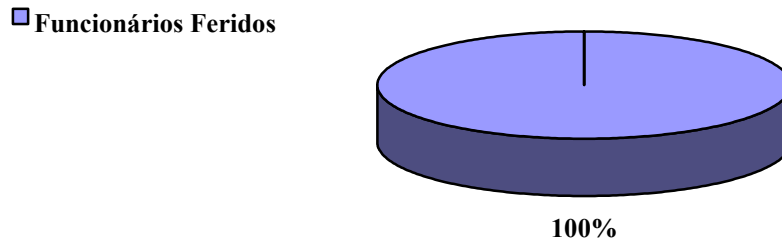


Figura C.9: Conseqüências de erros humanos/escorregões/tropeços em operações de produção, 5 casos.

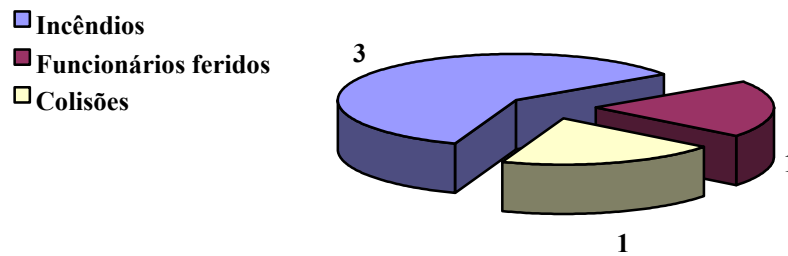


Figura C.10: Conseqüências de erros humanos/condições ambientais adversas em operações de produção, 4 casos.

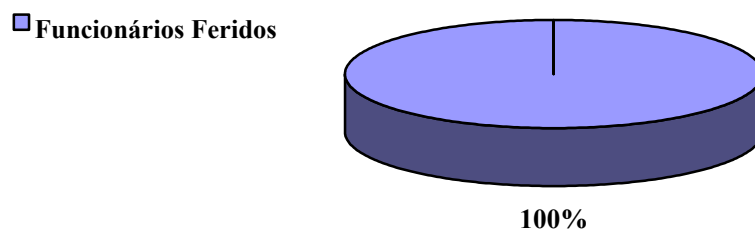


Figura C.11: Conseqüências de condições ambientais adversas/escorregões/tropeços em operações de produção, 1 caso.

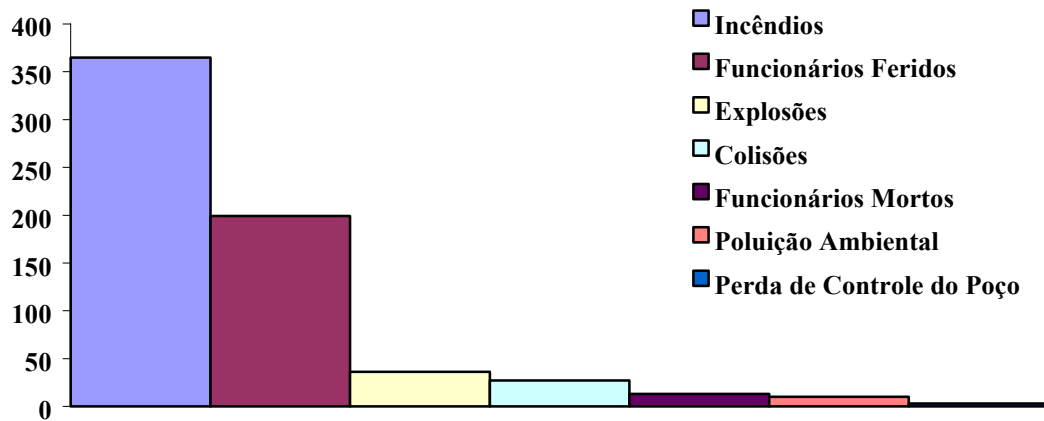


Figura C.12: Principais conseqüências de acidentes em operações de produção na região do Golfo do México, 653 casos.

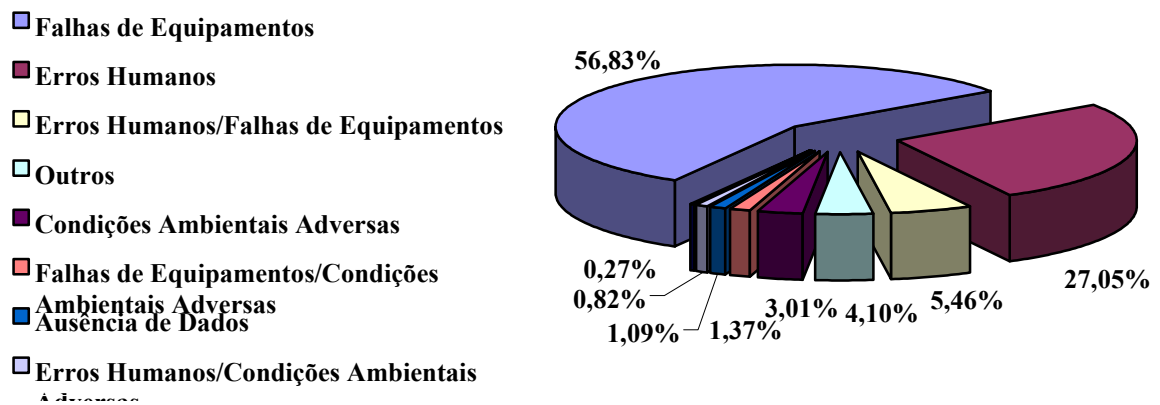


Figura C.13: Causas de incêndios em operações de produção, 366 casos.

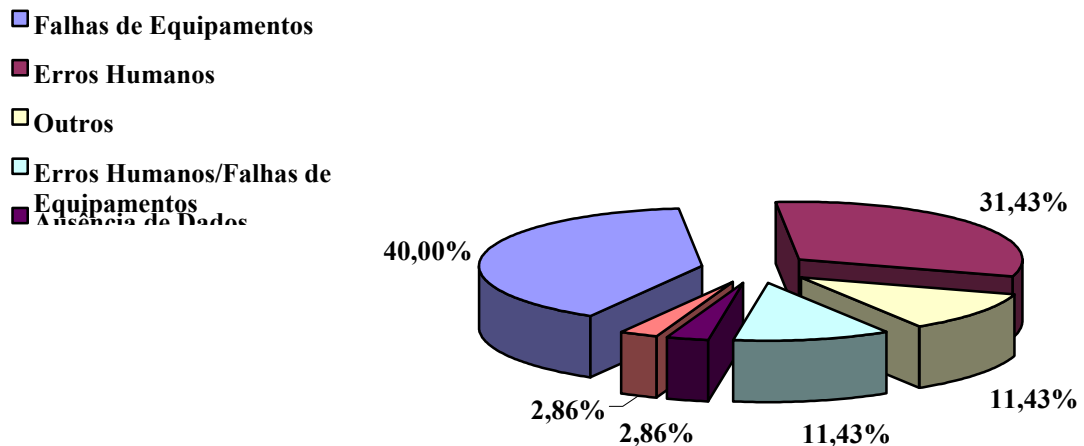


Figura C.14: Causas de explosões em operações de produção, 35 casos.

- Erros Humanos
- Falha de Equipamentos
- Escorregões/Tropeços
- Outros
- Erros Humanos/Falhas de Equipamentos
- Erros Humanos/Escorregões/Tropeços
- Condições Ambientais Adversas
- Falhas de Equipamentos/Condições Ambientais Adversas
- Erros Humanos/Condições Ambientais Adversas
- Escorregões/Tropeços/Condições Ambientais Adversas
- Ausência de Dados

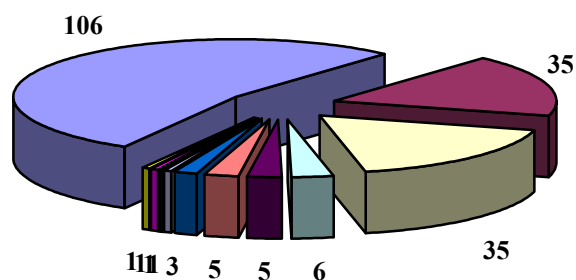


Figura C.15: Causas de funcionários feridos em operações de produção, 199 casos.

- Erros Humanos
- Condições Ambientais Adversas
- Descontrole de Embarcações
- Outros
- Erros Humanos - Condições Ambientais Adversas

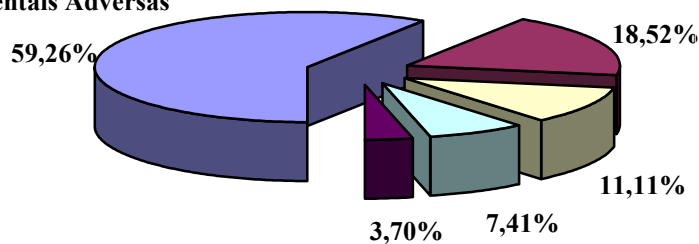


Figura C.16: Causas de colisões em operações de produção, 27 casos.

- Falhas de Equipamentos
- Condições Ambientais Adversas
- Erros Humanos
- Erros Humanos - Falhas de Equipamentos
- Outros
- Ausência de Dados
- Descontrole de Embarcações

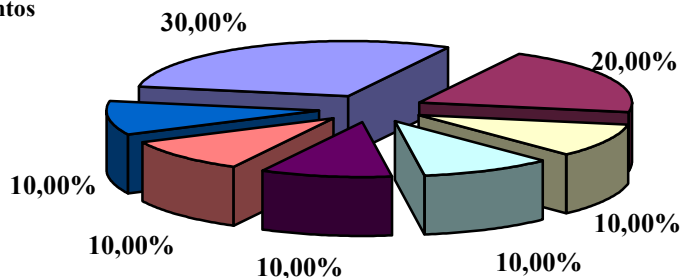


Figura C.17: Causas de poluição ambiental em operações de produção, 10 casos.

- Falhas de Equipamentos
- Erros Humanos/Falhas de Equipamentos
- SCSSV Sand Cut

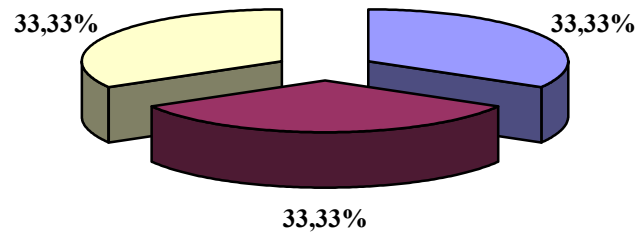


Figura C.18: Causas de perda de controle de poço em operações de produção, 3 casos.

Apêndice D

Dados Gráficos de Acidentes Operacionais na Intervenção em Poço

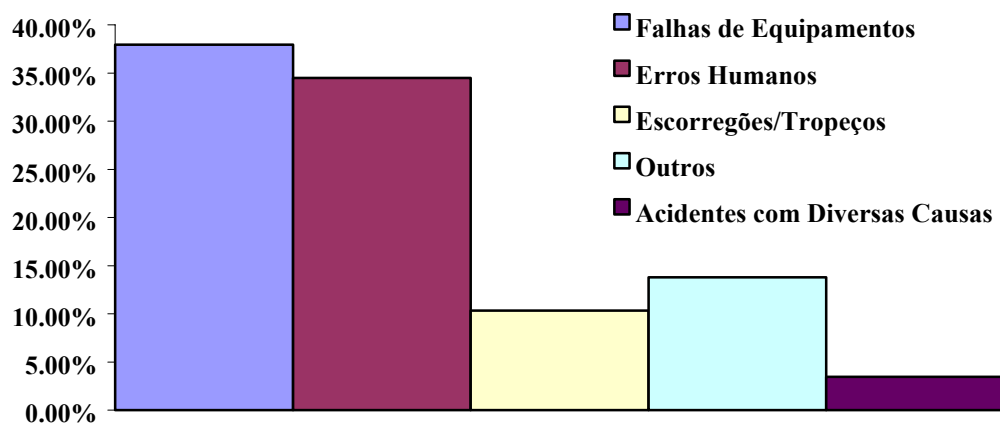


Figura D.1: Principais causas de acidentes operacionais em operações de intervenção em poço na região do Golfo do México, 29 acidentes.

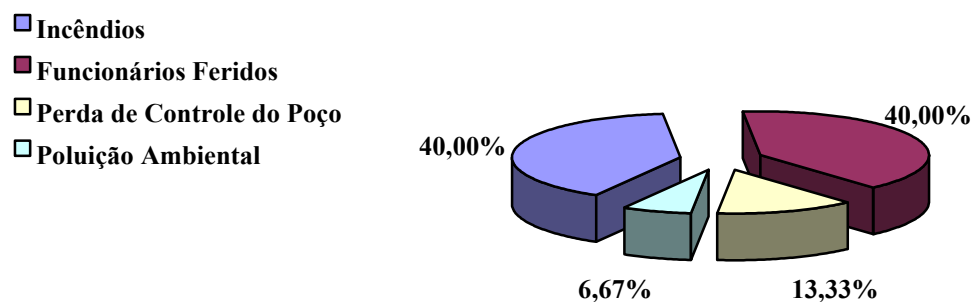


Figura D.2: Conseqüências de falhas de equipamentos em operações de intervenção em poço, 11 casos.

- Funcionários Feridos
- Incêndios
- Explosões
- Funcionários Mortos
- Colisões

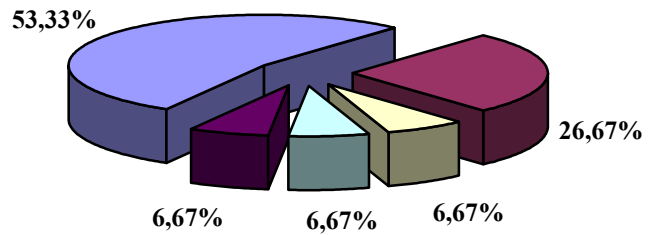


Figura D.3: Conseqüências de erros humanos em operações de intervenção em poço, 10 casos.

- Funcionários Feridos

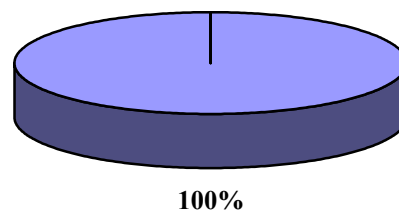


Figura D.4: Conseqüência de escorregões/tropeços em operações de intervenção em poço, 3 casos.

- Funcionários Feridos

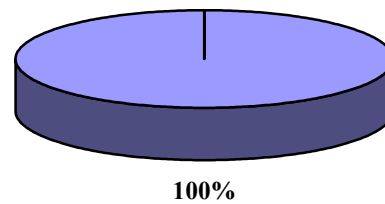


Figura D.5: Conseqüência de erros humanos/falhas de equipamentos em operações de intervenção em poço, 1 caso.

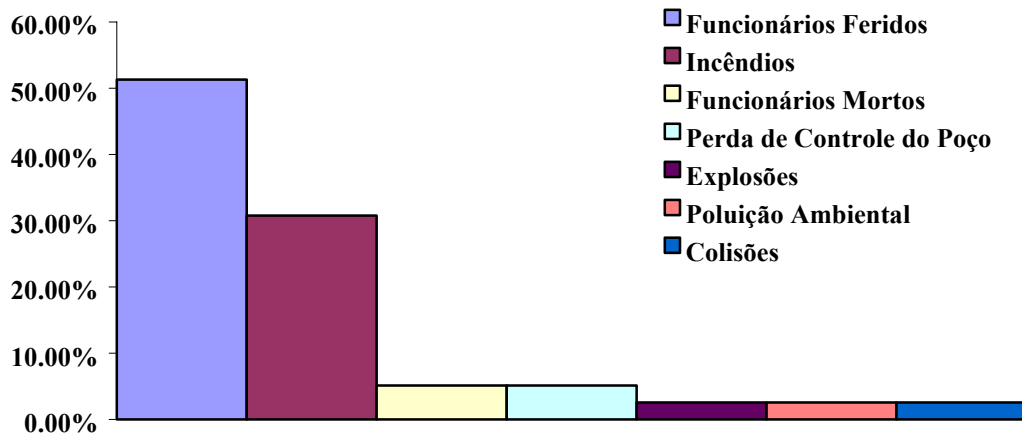


Figura D.6: Principais conseqüências de acidentes operacionais em operações de intervenção em poços na região do Golfo d México, 39 casos.

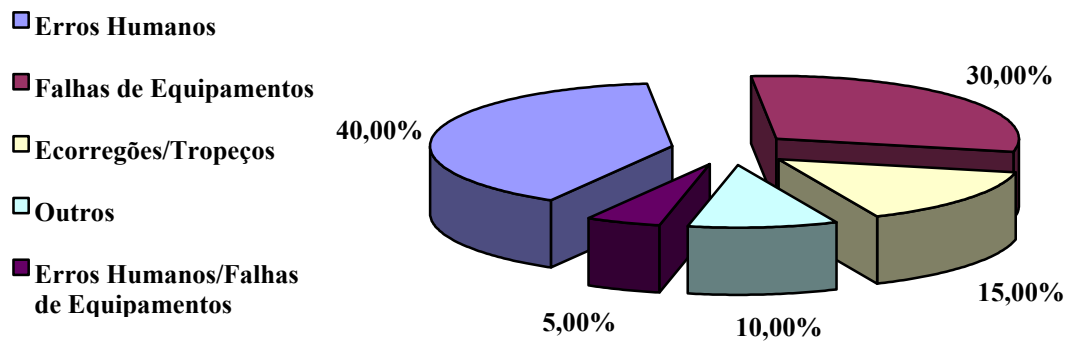


Figura D.7: Causas de funcionários feridos em operações de intervenção em poço, 20 casos.

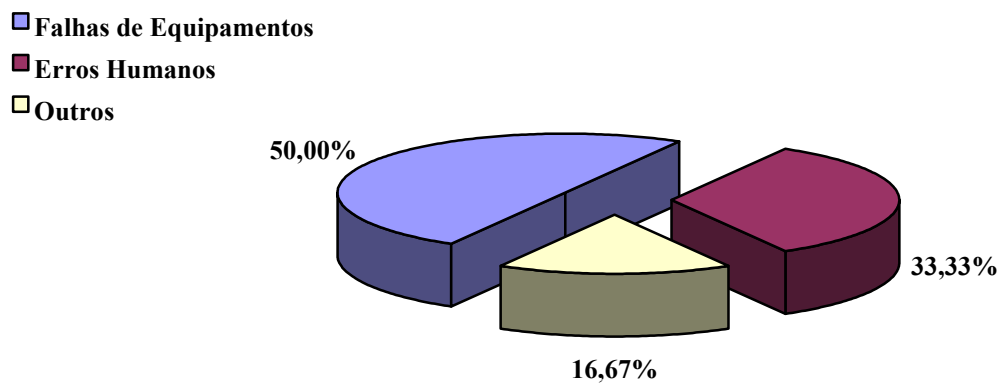


Figura D.8: Causas de incêndios em operações de intervenção em poço, 12 casos.

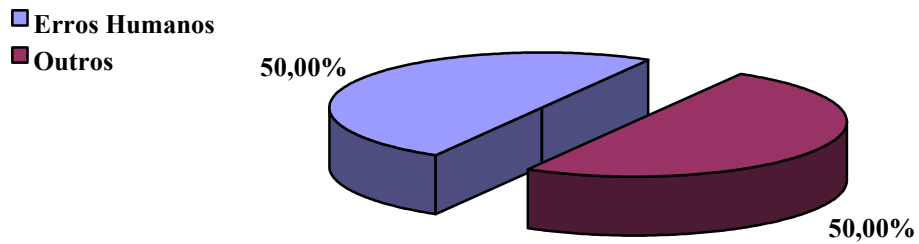


Figura D.9: Causas de funcionários mortos em operações de intervenção em poço, 2 casos.

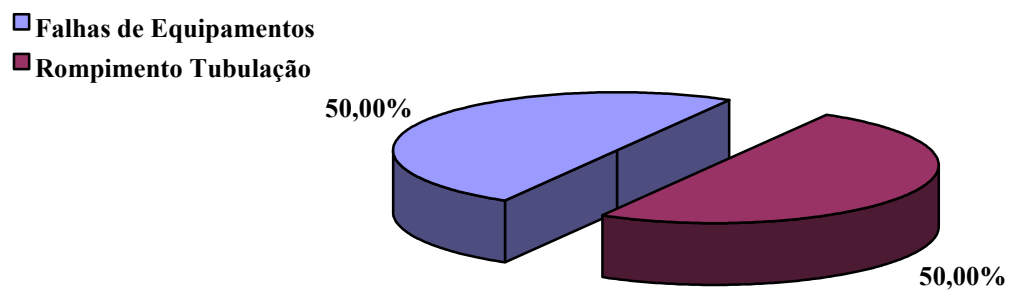


Figura D.10: Causas de perda de controle de poço em operações de intervenção em poço, 2 casos.

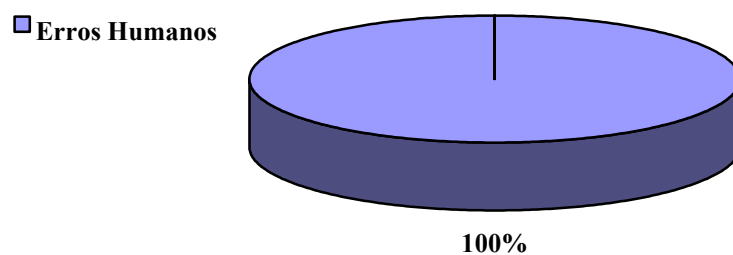


Figura D.11: Causas de explosões em operações de intervenção em poço, 1 caso.

■ Falhas de Equipamentos

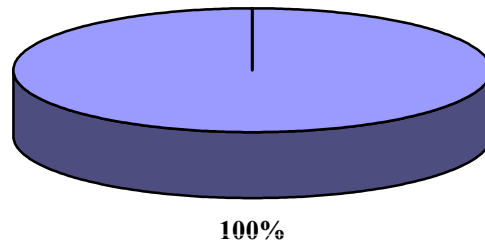


Figura D.12: Causa de poluição ambiental em operações de intervenção em poço, 1 caso.

Apêndice E

Análise da Confiabilidade Humana em Operações de Perfuração no Golfo do México

Neste capítulo apresenta-se uma introdução aos principais conceitos da teoria da confiabilidade. Esta teoria disponibiliza mecanismos para quantificar a validade de determinados componentes estruturais no funcionamento de um sistema ou operação. Posteriormente esses conceitos foram aplicados para avaliar a confiabilidade humana em operações de perfuração de poços de petróleo marítimos na região do Golfo do México, visando auxiliar de forma estatística os especialistas na elaboração de regras para prevenção de acidentes.

E.1 Fundamentos da Teoria da Confiabilidade

As raízes das técnicas de avaliação da confiabilidade humana remontam à Segunda Guerra Mundial, quando a complexidade dos equipamentos trouxe pela primeira vez a preocupação com a capacidade humana de operá-los. Como disciplina formal, a Confiabilidade Humana nasceu logo após o surgimento da teoria da confiabilidade, sendo aplicada principalmente a sistemas militares. O grande impulso desta área veio com o acidente nuclear de Three Mile-Island, ocorrido em 19 de março de 1979, quando se reconheceu que a ação humana, condicionada por um ambiente desfavorável, poderia levar sistemas ou operações de risco a situações indesejáveis, conforme abordado por Park (1987).

Podem ser definidos dois grandes objetivos para a avaliação da Confiabilidade Humana:

- Reduzir os erros humanos, a partir de sua identificação e da avaliação do impacto destes erros no sistema como um todo;
- Quantificar a probabilidade de ocorrência destes erros e conseqüentemente, o sucesso das tarefas, permitindo a avaliação numérica do impacto dos erros na confiabilidade do sistema.

A análise da confiabilidade é um procedimento bastante utilizado no contexto atual em que o rápido desenvolvimento tecnológico e a grande competição mundial forçam as indústrias a produzirem bens de melhor qualidade. Genericamente a confiabilidade pode ser descrita como sendo a probabilidade de um equipamento não falhar no desempenho de uma determinada função. Conforme Frankel (1988) a principal finalidade da teoria da confiabilidade é a elaboração de regras as quais aplicadas a sistemas complexos visa à capacidade do mesmo de funcionar satisfatoriamente mesmo com a ocorrência de falhas críticas em algumas de suas etapas.

Seguindo o raciocínio de Frankel (1988) a função de confiabilidade ou simplesmente confiabilidade está diretamente relacionada com a segurança ou ausência de falhas de um equipamento ou operação no desempenho de sua função, podendo ser caracterizada matematicamente pela equação abaixo.

$$R_{(t)} = e^{-\int_0^t Z_{(t)}.dt} \quad \text{E.1}$$

Onde: $R_{(t)}$ é a Função Confiabilidade e $Z_{(t)}$ a Função da Taxa de Falhas.

Considerando a Taxa de Falhas constante por todo o período em análise, gera-se um valor constante denominado de α , desta forma a Equação E.1 assume a característica abaixo.

$$R_{(t)} = 1 - f = e^{-\frac{t}{\mu}} = e^{-t \cdot \alpha} \quad \text{E.2}$$

Sendo:

α : Constante da Taxa de Falhas, pode ser determinada por: $\alpha = 1 / \mu$;

f : Frequência de falhas;

μ : Tempo médio entre falhas (MTBF - *Mean Time Between Failure*);

e : Exponencial.

E.2 Taxa de Falhas

A Taxa de Falhas é definida genericamente como sendo a razão entre o número de equipamentos que apresentou falhas durante o seu período de vida sobre o número total de equipamentos idênticos instalados no mesmo período.

$$Z_{(t)} = \frac{\text{NF}}{n} \quad \text{E.3}$$

Onde:

NF : Número de equipamentos que apresentam falhas;

n : Número Total de equipamentos.

O resultado do processo de divisão da Equação E.3 será um fator ou percentual de falhas por equipamento. Existe a possibilidade de um mesmo equipamento apresentar vários defeitos durante o mesmo período de análise, nestes casos, o numerador apresentará valores superiores ao denominador, desta forma, resultando em Taxa de Falhas superior a 1. Segundo Catuneanu *et al* (1989) a Taxa de Falhas terá um melhor sentido se for calculada segundo um período de tempo (dia, mês ou ano). Desta forma a Equação E.3 assume a configuração a seguir.

$$Z_{(t)} = \frac{NF}{n \cdot \frac{t_1}{t_2}} \quad \text{E.4}$$

Sendo: t_1 o tempo inicial e t_2 o tempo final desejado.

E.3 Distribuição Exponencial

A Distribuição exponencial é um caso especial da lei de Falhas de Weibull, caracteriza-se pela utilização da Taxa de Falhas constante (Fator de Forma igual a 1 ($\beta = 1$)). Segundo Meyer (1983) e Park (1987) a Distribuição Exponencial é dita como uma das mais importantes Leis utilizadas na teoria da confiabilidade. Isto ocorre pela distribuição dos problemas ou acidentes serem realizadas através de uma distribuição exponencial dos fatos. Este tipo de distribuição não leva em consideração o desgaste causado aos equipamentos no decorrer do tempo, desta forma, diz-se que um equipamento em funcionamento ou sem apresentar algum defeito é considerado tão bom quanto um novo, não levando em consideração o tempo de uso e desgaste das peças que compõe o equipamento. A Equação E.5 revela o comportamento da Taxa de Falhas para um Fator de Forma constante.

$$Z_{(t)} = a \quad \text{E.5}$$

Segundo Meyer (1983) é importante entender que na Distribuição Exponencial pode-se identificar tempo de operação (a partir de algum valor inicial fixado arbitrariamente) como idade de operação. No enquanto em uma Distribuição Não-Exponencial, o passado da peça exerce influência sobre o seu desempenho. Desta forma, defini-se T como o tempo em serviço do equipamento. Assim a Função Confiabilidade para a Distribuição Exponencial é caracterizada pela Equação E.6, admitindo uma Taxa de Falhas ($\beta = 1$).

$$R_{(t)} = 1 - F_{(t)} = e^{-\alpha t} \quad \text{E.6}$$

A Frequência de Falhas pode ser caracterizada de várias maneiras, mas a maneira mais simples é assumir que a Taxa de Falhas é constante, implicando diretamente no equacionamento da Frequência de Falhas, conforme Catuneanu *et al* (1989). A equação a seguir demonstra o comportamento da função de Frequência de Falhas para a Distribuição Exponencial.

$$f_{(t)} = \alpha \cdot e^{-\alpha t} \rightarrow t > 0 \quad \text{E.7}$$

E.4 Distribuição de Weibull

A Distribuição de Weibull é uma expressão semi-empírica desenvolvida por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull. Um físico sueco que em 1939 apresentou um modelo de planejamento estatístico de confiabilidade. O objetivo inicial deste modelo era representar falhas típicas, obter parâmetros significativos da configuração das falhas e uma representação gráfica simples. Segundo Park (1987) a Distribuição de Weibull representa um modelo estatístico-matemático adequado para uma lei de falhas, onde o sistema é complexo e a falha seja essencialmente devida a mais grave de todas (imperfeição ou irregularidade) dentre um grande número de ocorrências. Ainda seguindo o raciocínio de Park (1987) a equação da Taxa de Falhas para a Distribuição de Weibull obedece a formatação abaixo, sendo função de um tempo T e de um Fator de Forma β .

$$Z_{(t)} = (\alpha \cdot \beta) t^{\beta-1} \quad \text{E.8}$$

Onde:

$Z_{(t)}$: Taxa de Falhas;

α : Constante da Taxa de Falhas, dada por: $\alpha = 1/\mu$;

β : Fator de Forma;

t : Tempo.

A Distribuição de Weibull distingui-se pela possibilidade de obtenção de uma Taxa de Falhas constante, crescente ou decrescente, sendo a simples determinação do Fator de Forma β o responsável por esta mudança. Para uma Taxa de Falhas constante, o Fator de Forma assume valor igual a 1 (caso particular da Distribuição de Weibull, pois caracteriza uma distribuição exponencial) determinando uma configuração constante de falhas. Este caso é indicado para avaliar sistemas que apresentem múltiplas falhas, possuindo componentes com diferentes idades de funcionamento, desta forma, não encontrando disponível o tempo de funcionamento individual dos componentes do sistema.

De acordo com Meyer (1983) quando o Fator de Forma assume valor maior que 1, caracteriza uma Taxa de Falhas crescente, desta forma os equipamentos apresentam falhas por desgaste, determinada pelo aumento no número de falhas em pouco espaço de tempo. No entanto, o Fator de Forma pode assumir valor menor que 1 (denominada de mortalidade infantil), esta fase é determinada pela substituição de equipamentos em um intervalo curto de funcionamento. O Fator de Forma neste caso é dito decrescente, sendo o problema corrigido em pouco espaço de tempo. A Figura E.1 revela o comportamento gráfico da Taxa de Falhas para os seguintes valores do Fator de Forma: $\beta = 1$, $\beta > 1$ e $0 < \beta < 1$.

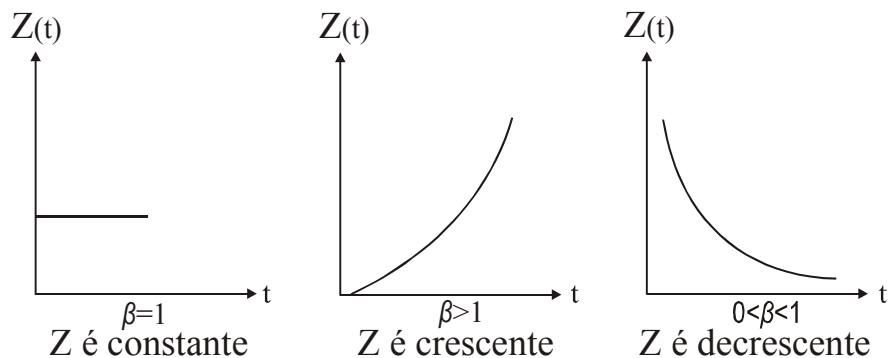


Figura E.1: Comportamento gráfico da Taxa de Falhas para variação dos valores do Fator de Forma, assumindo $\alpha = 1$. Fonte: Meyer (1983).

A Função Confiabilidade para a Distribuição de Weibull é determinada assumindo α e β como sendo valores positivos, desta forma, obtém-se uma função decrescente de t , dada pela equação a seguir.

$$R_{(t)} = e^{-\alpha.t^\beta} \quad \text{E.9}$$

Onde: $R_{(t)}$ é a Função Confiabilidade.

De acordo com Meyer (1983) e Park (1987) pode-se determinar a Frequência de Falhas ($f_{(t)}$) de um sistema ou operação. Este fator é determinado pela multiplicação da Função Confiabilidade pela Taxa de Falhas, adotando α e β constantes e T a duração de vida do equipamento ou sistema. A equação abaixo demonstra a formulação explicada anteriormente.

$$f_{(t)} = [(\alpha.\beta).t^{\beta-1}].(e^{-\alpha.t}) \quad \text{E.10}$$

Onde: a Função Confiabilidade é dada por $R_{(t)} = e^{-\alpha.t^\beta}$ e a Taxa de Falhas por $Z_{(t)} = (\alpha.\beta)t^{\beta-1}$

O comportamento gráfico da Frequência de Falhas para a Distribuição de Weibull assume diferentes configurações pela simples variação do Fator de Forma. Para exemplificar esta fenômeno, Meyer (1983) realizou uma comparação gráfica (em seu livro) adotando a constante da Taxa de Falhas igual a 1 e variando os valores do Fator de Forma ($\beta = 1, \beta = 2$ e $\beta = 3$). O gráfico da Figura E.2 revela o comportamento da Equação E.10 para variação do Fator de Forma acima.

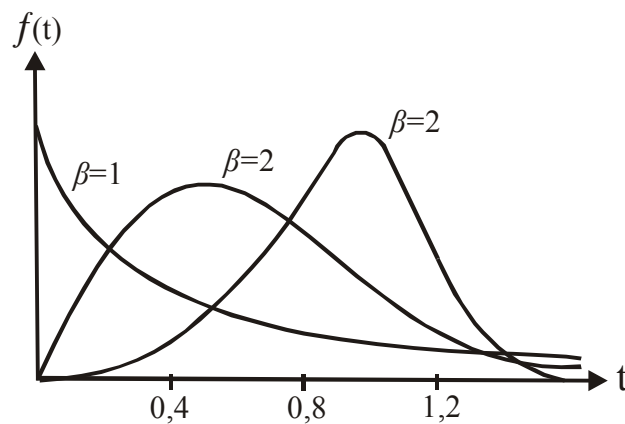


Figura E.2: Comportamento gráfico da Frequência de Falhas para variação do Fator de Forma ($\beta = 1, \beta = 2$ e $\beta = 3$), adotando α constante. Fonte: Meyer (1983)