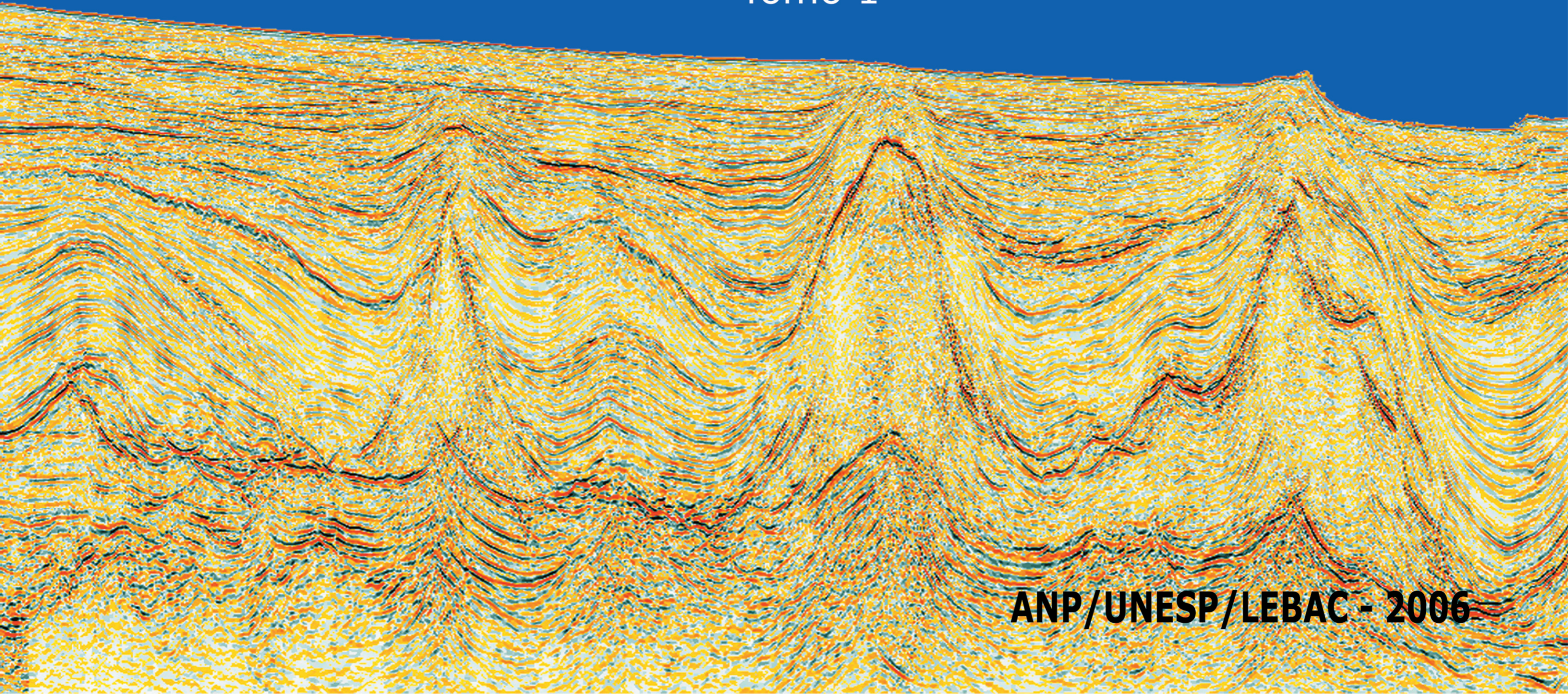


Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da

# Bacia de Campos

Tomo 1



**ANP/UNESP/LEBAC - 2006**



---

# Apresentação



## Apresentação

Em 16 de setembro de 2004, foi celebrado contrato entre a Agência Nacional do Petróleo - ANP e a Universidade Estadual Paulista - UNESP (Contrato nº 4033/04 – ANP – 009.644) para executar projeto intitulado “Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Campos”, por meio do estudo das rochas – geradora, reservatório e selante – e das trapas, que constituem os elementos essenciais do sistema petrolífero, bem como da análise dos mecanismos que inter-relacionam estes elementos, visando entender a origem e a evolução das acumulações de óleo e gás e o potencial exploratório da bacia. O estudo foi efetuado no Laboratório de Estudos de Bacia - LEBAC, pertencente ao Departamento de Geologia Aplicada - DGA, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, cujo início efetivo de atividades deu-se em março de 2005 com o recebimento dos dados sísmicos.

A base de dados utilizada no estudo consistiu em: a) 56 mil km de linhas sísmicas 2D e cinco projetos sísmicos 3D; b) dados gravimétricos e magnetométricos associados aos levantamentos sísmicos; c) dados aero-magnetométricos cobrindo toda Bacia de Campos; d) dados do satélite Landsat TM7; e) dados de 1948 poços.

A plataforma de interpretação sísmica e de tratamento de perfis geofísicos utilizada foi o pacote Geoframe (IESX, WellEdit, GeoViz, InDepth, Synthetics) da Geoquest-Schlumberger. O processamento e a interpretação de dados gravimétricos e magnetométricos foram efetuados com o uso do *software* Oasis Montaj da Geosoft, com integração de imagens de satélite e de mapas geológicos pela utilização do *software* ER-Mapper. Para a modelagem geoquímica, foi utilizado o pacote BasinMod 1D e 2D da Platte River.

Para o tratamento, a visualização e o mapeamento de atributos geofísicos, geológicos e geoquímicos foram utilizados, além dos pacotes mencionados, os *softwares* Delphi, Surfer 8, Analito e Gocad.

A apresentação dos resultados foi dividida em 3 tomos: este primeiro, Tomo 1, sintetiza os principais resultados alcançados ao longo de 18 meses de atividades; o Tomo 2 apresenta, de forma mais detalhada, as etapas intermediárias e os métodos aplicados e o Tomo 3 constitui essencialmente o volume de anexos, onde são apresentados mapas e seções em escalas reduzidas.

## Autores

PhD. Chang, Hung Kiang  
(Geólogo/Coordenador – UNESP/IGCE/DGA/LEBAC)

M.Sc. Eduardo de Mio  
(Geólogo - FUNDUNESP/LEBAC)

M.Sc. Fernando Santos Corrêa  
(Geólogo – UNESP/IGCE/PPG-GMA)

D.Sc. Joel Carneiro de Castro  
(Geólogo – UNESP/IGCE/DGA)

M.Sc. Júlio Setsuo Tinen  
(Geofísico – FUNDUNESP/LEBAC)

D.Sc. Mario Luis Assine  
(Geólogo – UNESP/IGCE/DGA)

## Revisão

D.Sc. Maria Rita Caetano Chang  
(Geóloga – UNESP/IGCE/DGA)

D.Sc. José Alexandre J. Perinotto  
(Geólogo -UNESP/IGCE/DGA)

# Sumário

## Capítulo 1: Introdução

Introdução .....	2
Equipe do Projeto.....	5
A Bacia de Campos.....	6
Localização .....	6
Generalidades .....	6

## Capítulo 2: Geologia Regional

Introdução .....	8
Geodinâmica da Margem.....	10
Cinemática e Cronologia da Ruptura Continental .....	12
Magmatismo .....	15
Idade da Formação Serra Geral .....	16
Intumescimento Continental.....	16
Cronologia no Rompimento do Gondwana.....	17
Magmatismo CFB .....	17
Basaltos do Fundo Oceânico .....	18
Aspectos Gerais do Embasamento Pré-Cambriano do Sul-Sudeste .....	19
Estrutura Crustal das Bacias de Santos e Campos.....	22
Zona de Charneira .....	25
Halocinese .....	26
Fisiografia do Embasamento Adjacente.....	27
Distribuição das Principais Drenagens.....	28
Denudação (a partir de Traços de Fissão de Apatita).....	28
Modelo de Denudação para a Bacia de Santos.....	29
Tectônica.....	31
Métodos Potenciais.....	31
Magnetometria.....	31
Base de Dados .....	31

Processamento dos Dados Magnetométricos .....	33
Do IGRF à Anomalia Magnética Residual.....	33
Redução das Anomalias Magnéticas Residuais ao Pólo.....	33
Obtenção do Sinal Analítico .....	33
Obtenção da Primeira Derivada Vertical .....	33
Feições Magnéticas da Área .....	34
Gravimetria.....	34
Modelos Digitais de Terreno .....	34
Seleção da Área de Estudo no Continente.....	35
Mapas Temáticos .....	37
Integração dos Dados em Ambiente SIG.....	38
Interpretação dos Dados Gravimétricos .....	39
Interpretação dos Dados Magnetométricos .....	40
Interpretação dos Dados Topográficos.....	40
Integração das Interpretações das Diferentes Fontes de Dados.....	40
Arcabouço Estrutural e Evolução da Propagação da Fase Rife nas Bacias de Santos e Campos.....	42

## Capítulo 3: Estratigrafia

Arcabouço Estratigráfico: Fundamentos.....	47
Litoestratigrafia atualmente utilizada.....	48
Formação Cabiúnas .....	50
Formação Lagoa Feia .....	50
Formação Macaé .....	50
Formação Ubatuba .....	52
Formação Carapebus .....	52
Formação Emborê .....	52
Análise Estratigráfica: Métodos, Meios e Trabalhos Desenvolvidos.....	53
Base Conceitual: Seqüências de Diferentes Ordens.....	53
Interpretação Sismoestratigráfica .....	54

Correlações Estratigráficas com Perfis de Poços.....	62
Mapas Estratigráficos .....	64
Seqüências Depositionais.....	64
Aratu Inferior (D0-D1).....	64
Aratu-Jiquiá .....	73
Alagoas Inferior .....	74
Alagoas Superior .....	75
Albiano Inferior .....	77
Albiano Superior .....	78
Cenomaniano-Turoniano .....	78
Coniaciano-Campaniano .....	79
Maastrichtiano-Paleoceno .....	81
Eoceno Inferior.....	82
Eoceno Médio-Oligoceno Inferior .....	83
Oligoceno Superior.....	83
Mioceno Inferior.....	85
Mioceno Médio .....	86
Mioceno Superior-Holoceno .....	87
Considerações sobre a Nomenclatura Litoestratigráfica .....	89
Adendo 1 .....	90
Exemplos de Mapas Sísmicos em Tempo (s) das Descontinuidades Interpretadas (D).....	90
Adendo 2.....	94
Seções Estrutural e Estratigráfica no Tren Badejo, Linguado e Pampo, Formação Lagoa Feia .....	94
Seção Estrutural .....	94
Seção Estratigráfica.....	94
Adendo 3 .....	97
Seção Estratigráfica Regional da Formação Lagoa Feia.....	97

## Capítulo 4: Arcabouço Estrutural

Introdução .....	100
Fase Rifte .....	100
Mecanismos de Rifteamento .....	100
Fases Evolutivas do Rifteamento .....	101
Fase Sin-Rifte I: Neocomiano .....	102
Fase Sin-Rifte II: Barremiano.....	102
Fase Sin-Rifte III: Eo-Aptiano .....	103

Configuração Estrutural da Bacia de Campos .....	104
Fase Rifte.....	104
Fase Transicional.....	107
Seqüência Evaporítica .....	109
Fase Pós-Rifte.....	112
Rollovers .....	117
Modelos Geométricos de Rollovers .....	118
Modelo de Rejeito Constante (Chevron Construction) (CH).....	118
Modelo de Deslocamento Constante (CD).....	118
Modelo de Comprimento Constante de Camadas (CBL – Constant-Bed-Length) .....	118
Modelo Slip-Plane .....	118
Modelo Cisalhamento Inclinado.....	118
Ambientes Distensionais versus Ambientes Compressionais .....	118
Elementos Descritivos dos Rollovers.....	119
Superfícies Axiais de Crescimento Ativas e Inativas .....	119
Geometria da Falha versus Geometria do Rollover .....	119
Superfícies Axiais de Crescimento .....	120
Sedimentação versus Geometria de Rollovers .....	120
Compactação .....	121
Rollovers na Bacia de Campos .....	122
Método de Restauração de Seções Geológicas (RSG) .....	127
Seção Geológica Balanceada.....	129
Processos de Deformação Versus Transformações Geométricas .....	130
Construção da Seção para Balanceamento .....	132
Poços.....	132
Seção Sísmica .....	132
Caracterização das Falhas na Seção Interpretada .....	132
Descrição das Unidades Estratigráficas da Seção Dip4 .....	134
Dados de Porosidade .....	136
Conversão Tempo x Profundidade .....	136
Software.....	137
Balanceamento da Seção DIP4 .....	138
Fase Rifte.....	138
Barremiano Inferior – Hauteriviano (Vulcânicas).....	138
Aptiano Inferior – Barremiano Inferior (Jiquiá/Buracica) .....	138
Aptiano Médio – Aptiano Inferior (Alagoas Siliciclástico).....	138
Fase Transicional.....	139
Albiano Inferior – Aptiano Médio (Alagoas - Evaporitos).....	139

Fase de Margem Passiva.....	139
Albiano Médio – Albiano Inferior (Água Rasa).....	139
Cenomaniano/Turoniano – Albiano Médio (Bota) .....	139
Campaniano – Cenomaniano/Turoniano .....	140
Cretáceo Sísmico– Campaniano.....	141
Eoceno – Cretáceo Sísmico .....	142
Oligoceno Inferior – Eoceno Médio.....	142
Oligoceno Superior – Oligoceno Inferior.....	143
Mioceno Inferior – Oligoceno Superior .....	144
Mioceno Médio – Mioceno Inferior .....	144
Mioceno Superior – Mioceno Médio.....	144
Presente – Mioceno Superior.....	144
Taxa de Sedimentação x Distensão na Bacia de Campos.....	144
Síntese da Evolução Tectono-Sedimentar .....	147

## Capítulo 5: Sistemas Petrolíferos da Bacia de Campos e Implicações Exploratórias

Introdução .....	152
Sistemas Petrolíferos.....	152
Rocha Geradora .....	152
Rocha-Reservatório .....	153
Características Gerais .....	153
Basaltos fraturados .....	154
Coquinas .....	154
Carbonatos .....	157
Turbiditos.....	159
Porosidade x Profundidade.....	163
Selos .....	165
Trapas .....	165
Geração e Expulsão .....	166
Migração e Acumulação .....	169
Sincronismo.....	170
Plays Exploratórios .....	170
Play Lagoa Feia .....	170
Play Macaé/Quissamã .....	170
Play Macaé/Outeiro .....	172

Play Carapebus Cretáceo.....	173
Play Carapebus Eoceno .....	174
Play Carapebus Oligoceno/Mioceno .....	174
Plays Fraturados .....	176
Análise de Favorabilidade.....	179
Método Estatístico .....	179
Identificação dos Plays .....	182
Resultados.....	183
Play Lagoa Feia .....	183
Play Quissamã .....	183
Play Outeiro.....	184
Play Senoniano .....	184
Play Eoceno .....	185
Play Oligo-Mioceno .....	185
Considerações Finais.....	186
Estimativa de Reservas .....	199

## Capítulo 6: Conclusões

Conclusões .....	201
------------------	-----

## Bibliografia

Bibliografia .....	204
--------------------	-----

# Índice de Figuras

## Capítulo 1: Introdução

Figura 1.1 - Fluxograma de operações visando a interpretação e o mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Campos.....	4
Figura 1.2 - Localização da Bacia de Campos.....	6

## Capítulo 2: Geologia Regional

Figura 2.1 - Seções geológicas de bacias meso-cenozóicas, ao longo da margem leste brasileira .....	9
Figura 2.2 - Reconstrução do Atlântico Sul ao tempo da anomalia M4, logo após o início da formação de crosta oceânica. ....	10
Figura 2.3 - Configuração atual do Atlântico Sul, mostrando as cadeias vulcânicas de Rio Grande e Walvis.....	11
Figura 2.4 - Seções sísmicas profundas ao longo da Bacia de Santos (acima) e <i>offshore</i> Namíbia (abaixo), mostrando a distribuição dos sedimentos pós-rifte e as vulcânicas relacionadas à abertura continental.....	11
Figura 2.5 - Fisiografia atual da porção da margem continental do sudeste brasileiro .....	12
Figura 2.6 - Mapa do Atlântico Sul e continentes adjacentes, mostrando anomalias gravimétricas obtidas por altimetria de satélite .....	12
Figura 2.7 - Reconstrução da abertura do Atlântico Sul, do Eo-Cretáceo (130 Ma) ao Campaniano (80 Ma), mostrando a configuração dos continentes, os pólos de rotação e os vetores de movimentos das placas .....	13
Figura 2.8 - Posição atual do eixo de espalhamento nas latitudes das Cadeias de Walvis e Rio Grande, com indicação das zonas de fratura oceânicas e do traço do <i>hot spot</i> de Tristão da Cunha .....	14
Figura 2.9 - Traços de pontos quentes nos oceanos Atlântico Sul e Índico, com indicação dos locais de registro do magmatismo de ilhas oceânicas .....	14
Figura 2.10 - Seções esquemáticas ao longo de sistemas rifte, com predomínio de propagação de megafaturas (1) e domeamento associado à pluma do manto (2).....	14
Figura 2.11 - Margens estreitas e largas ao longo do Oceano Atlântico Sul, com distribuição de rochas vulcânicas de idade mesozóica, associadas ao rifteamento .....	15
Figura 2.12 - Relações entre o magmatismo, rifteamento e a pluma de Tristão da Cunha, em 137, 132, 126 e 38 Ma, com base em Nürnberg & Muller .....	16

Figura 2.13 - Esquema da interação da pluma do manto com a litosfera .....	17
Figura 2.14 - Sumário dos principais episódios de magmatismo e rifteamento associados ao rompimento do Gondwana e à deriva dos continentes formados .....	18
Figura 2.15 - Compartimentação da Província Mantiqueira em três domínios: Setentrional, Central e Meridional .....	19
Figura 2.16 - Mapa e seção geológica regional do Orógeno Araçuai.....	21
Figura 2.17 - Estrutura crustal da Bacia de Santos na região do Platô de São Paulo .....	22
Figura 2.18 - Seção crustal regional na porção sul da Bacia de Santos, obtida por meio de interpretação de dados gravimétricos e magnetométricos. ....	23
Figura 2.19 - Seção crustal regional na porção central da Bacia de Campos, obtida por meio da interpretação de dados gravimétricos e magnetométricos. ....	24
Figura 2.20 - Mapa da distribuição das estruturas halocinéticas no Platô de São Paulo .....	26
Figura 2.21 - Mapa de contorno do topo da seqüência evaporítica das bacias de Santos e Campos .....	27
Figura 2.22 - Modelo digital de terreno a partir dos dados do GTOPO 30'' (USGS) da porção sul-sudeste do Brasil, mostrando a localização das amostras de traços de fissão de apatita. ....	29
Figura 2.23 - Histogramas das idades de exumação pelo método de traços de fissão de apatita .....	30
Figura 2.24 - Modelo esquemático da denudação por recuo de escarpa. ....	30
Figura 2.25 - Mapa de intensidade magnética total do campo terrestre .....	31
Figura 2.26 - Mapa de anomalias residuais reduzidas ao pólo. ....	33
Figura 2.27 - Mapa do sinal analítico a partir das anomalias magnéticas residuais reduzidas ao pólo.....	34
Figura 2.28 - Mapa de anomalias bouguer integrado, utilizando dados da PETROBRAS .....	34
Figura 2.29 - Modelo digital de terreno 1, obtido a partir de dados de satélite (SRTM).....	35
Figura 2.30 - Detalhe de uma área do modelo digital de terreno 1, utilizado no mapeamento de estruturas de 2ª ordem (1:200.000). ....	35
Figura 2.31 - Detalhe da Bacia de Taubaté no modelo digital de terreno 1 .....	35
Figura 2.32 - Modelo digital de terreno 2, obtido a partir de dados de satélite (SRTM).....	36
Figura 2.33 - Detalhe de uma área do modelo digital de terreno 2, utilizado no mapeamento de estruturas de 2ª ordem (1:200.000).....	36
Figura 2.34 - Detalhe da Bacia de Taubaté no modelo digital de terreno 2.....	36
Figura 2.35 - Modelo digital de terreno 3, obtido a partir de dados de satélite (SRTM).....	36
Figura 2.36 - Detalhe de uma área do modelo digital de terreno 3, utilizado no mapeamento de estruturas de 2ª ordem (1:200.000).....	36



Figura 2.37 - Detalhe da Bacia de Taubaté no modelo digital de terreno 3.....	36	Figura 3.7 - Megassequências da Bacia de Campos (Guardado et al. 1989).....	52
Figura 2.38 - Mapa de contorno estrutural da Bacia de Campos.....	37	Figura 3.8 - Fases paleogeográficas e seqüências deposicionais da megassequência marinha da Bacia de Campos (Dias-Brito & Azevedo 1986).....	53
Figura 2.39 - Mapa estrutural da Bacia de Kwanza.....	37	Figura 3.9 - Megassequências e seqüências da Bacia de Campos (Guardado et al. 1989).....	53
Figura 2.40 - Mapa de alta resolução da intensidade magnética total do campo terrestre (Braga <i>et al.</i> 2001) para a Bacia de Santos .....	37	Figura 3.10 - Discordâncias na Bacia de Campos consideradas no presente estudo (D0 a D14).....	53
Figura 2.41 - Mapa geológico da área estudada .....	38	Figura 3.11 - Mapa de localização das seções sísmicas apresentadas nas figuras 3.12 a 3.16. ....	54
Figura 2.42 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná, segundo Zalán <i>et al.</i> (1987) .....	38	Figura 3.12 - Seção sísmica interpretada a partir da composição das linhas 50-0232-0084, 50-0232-0043, 13-0239-0361 (Dip 1).....	55
Figura 2.43 - Lineamentos gravimétricos interpretados nas bacias de Santos e Campos.....	39	Figura 3.13 - Seção sísmica interpretada a partir da composição das linhas 59-0231-0441, 53-0250-1378, 26-0052-0236 (Dip 2) .....	56
Figura 2.44 - Lineamentos magnéticos identificados com baixos magnéticos e altos magnéticos e classificados conforme sua orientação .....	40	Figura 3.14 - Seção sísmica interpretada a partir da linha 13-0239-0362 (Dip 3).....	57
Figura 2.45 - Mapa de lineamentos estruturais.....	40	Figura 3.15 - Seção sísmica interpretada a partir da composição das linhas 63-0056-0447 e 13-0239-0363 (Dip 4) .....	58
Figura 2.46 - Interpretação de formas de relevo, a partir de modelos digitais de terreno providos de dados de satélite (SRTM-90m).....	41	Figura 3.16 - Seção sísmica interpretada a partir da composição das linhas 14-0228-3630, 45-0221-7000 e 62-0250-1304 (Dip 5).....	59
Figura 2.47 - Mapa sumário das principais feições interpretadas com base em dados de magnetometria, de gravimetria e dos modelos digitais de terreno.....	41	Figura 3.17 - Mapa com a localização das seções de correlação estratigráfica, elaboradas com base em perfis litológicos e geofísicos de poços e apresentadas nas figuras 3.18 a 3.25.....	61
Figura 2.48 - Mapa mostrando a integração e interpretação das principais feições estruturais da área .....	41	Figura 3.18 - Seção geológica dip 1 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências).....	63
Figura 2.49 - Megacorredor de deformação transtensional destal do Arco de Ponta Grossa.....	42	Figura 3.19 - Seção geológica dip 2 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências).....	64
Figura 2.50 - Arcabouço estrutural simplificado da Bacia de Campos.....	43	Figura 3.20 - Seção geológica dip 3 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências).....	65
Figura 2.51 - Modelo cinemático simplificado para a geração das bacias de Santos e Campos .....	43	Figura 3.21 - Seção geológica dip 4 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências).....	66
Figura 2.52 - Seção sísmica interpretada, mostrando evidências de reativação de falhas de transferência em falhas transcorrentes, na região do lineamento de Cabo Frio. ....	44	Figura 3.22 - Seção geológica dip 5 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências).....	67
Figura 2.53 - Seção sísmica interpretada, mostrando evidências de reativação de falhas de transferência em falhas transcorrentes, na região do lineamento de Cabo-Frio. ....	44	Figura 3.23 - Seção geológica strike 1 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências) ...	68
Figura 2.54 - Mapa das falhas transversais que condicionam a compartimentação dos depocentros da Bacia de Campos, podendo controlar a migração de hidrocarbonetos provenientes da Formação Lagoa Feia e o zoneamento de campos de óleos existentes. ....	45	Figura 3.24 - Seção geológica strike 2 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências) ...	69
Figura 2.55 - Modelo esquemático da evolução de propagação das calhas da fase rifte das bacias de Santos e Campos, no Cretáceo Inferior.....	45	Figura 3.25 - Seção geológica strike 3 (D1 a D14 referem-se às discordâncias que limitam as seqüências) ...	70
		Figura 3.26 - Seqüências deposicionais da Bacia de Campos, com indicação da natureza das discontinuidades limítrofes.....	71
		Figura 3.27 - Discordância no topo das coquinas da Formação Lagoa Feia (Guardado et al. 1989) .....	72
		Figura 3.28 - Seqüências da Formação Lagoa Feia, segundo Carvalho et al (2000) .....	72
		Figura 3.29 - Mapa de ocorrência da seqüência Aratu-Buracica (estágio rifte) .....	73
		Figura 3.30 - Seqüência Alagoas Inferior em discordância angular sobre estratos basculados (meio-grabens) da seqüência Aratu-Jiquiá (Figura é detalhe da Figura 3.12) .....	74
		Figura 3.31 - Modelo digital de isópacas da seqüência Alagoas Superior (seqüência evaporítica), construído a partir da transformação em profundidade de mapa sísmico em tempo. ....	74
		Figura 3.32 - Muralhas de sal e minibacias em área de águas profundas (Figura é detalhe da Figura 3.12)....	75
		Figura 3.33 - Fácies da seqüência Albiano Inferior (Guardado et al. 1989).....	75
		Figura 3.34 - Turbiditos da seqüência Albiano Superior .....	76
		Figura 3.35 - Modelo paleogeográfico ao tempo da deposição dos turbiditos (Arenito Namorado), Albiano Superior / Turoniano (Barros et al. 1982, apud Guardado et al. 1989) .....	76

### Capítulo 3: Estratigrafia

Figura 3.1 - Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Schaller 1973).....	47
Figura 3.2 - Seções-tipo das formações Lagoa Feia, Macaé, Campos e Emborê (Schaller 1973) .....	47
Figura 3.3 - Seção geológica dip da Bacia de Campos (Schaller 1973).....	48
Figura 3.4 - Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Guardado et al. 1989) .....	48
Figura 3.5 - Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et al. 1994).....	49
Figura 3.6 - Seções-tipo das unidades estratigráficas da Bacia de Campos .....	50



Figura 3.36 - Perfil do poço 1-RJS-19-RJ, descobridor do Campo de Namorado.....77

Figura 3.37 - Seção sísmica em águas profundas, mostrando que a seção do Cretáceo superior é bem espessa (Horizonte “Cretáceo Sísmico” corresponde à discordância D9 = Meso-Paleoceno)....78

Figura 3.38 - Seção sísmica dip mostrando aspectos importantes da geometria das seqüências da bacia .....79

Figura 3.39 - Seção sísmica dip mostrando todos aspectos destacados na figura 3.37.....80

Figura 3.40 - Mapa de localização do depocentro da seção eocênica, na porção norte da bacia (Baixo de São Tomé).....81

Figura 3.41 - Clinoformas do Eoceno inferior em posição proximal, com terminações que não atingem as áreas da plataforma externa e do talude atuais .....81

Figura 3.42 - Curvas de variações relativas do nível do mar (Vail et al. 1977).....82

Figura 3.43 - Seções sísmicas dip mostrando a arquitetura estratigráfica acima e abaixo do Marco Azul .....82

Figura 3.44 - Cânions na discordância D11, em seção strike .....83

Figura 3.45 - Modelo evolutivo para a formação dos turbiditos de mar baixo e dos reservatórios canalizados (preenchimento dos cânions).....83

Figura 3.46 - Poço produtor (422) no Campo de Marlim, em turbiditos de tratos de sistemas de mar baixo do Oligoceno superior.....84

Figura 3.47 - Paleocânion eo-miocênico de Enchova escavado na mesma posição de paleocânion mais antigo, de idade eo-oligocena (Antunes et al. 1986) .....84

Figura 3.48 - Seção sísmica dip com indicação das diversas megasseqüências (R = rifte; T = transicional; SC = carbonática; MT = marinha transgressiva; MR = marinha regressiva), do Marco Azul e dos reservatórios turbidíticos do Campo de Marlim (MRL) (Bruhn .....85

Figura 3.49 - Mapa de isópacas dos reservatórios turbidíticos oligocênico-miocênicos da Bacia de Campos (Peres 1993). .....85

Figura 3.50 - Seção sísmica *dip* mostrando o Marco Cinza, sobre o qual encontram-se clinoformas progradantes do Mioceno superior (LSW = trato de mar baixo, HST = trato de mar alto).....86

Figura 3.51 - Assinatura geofísica do Marco Cinza em perfis de poços (Viana et al. 1990).....86

Figura Adendo 1.1 - Mapa de contorno estrutural do topo do Andar Jiquiá em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D2.....88

Figura Adendo 1.2 - Mapa de contorno estrutural da base do sal em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D3.....89

Figura Adendo 1.3 - Mapa de contorno estrutural do Albiano em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D5.....89

Figura Adendo 1.4 - Mapa de contorno estrutural do Eo-Paleoceno (Kt sísmico) em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D9.....90

Figura Adendo 1.5 - Mapa de contorno estrutural do Eoceno Médio em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D10.....90

Figura Adendo 1.6 - Mapa de contorno estrutural do Oligoceno em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D11.....91

Figura Adendo 1.7 - Mapa de contorno estrutural do Mioceno Médio em tempo (segundos), correspondente à descontinuidade D13.....91

Figura Adendo 2.1 - Seção estrutural simplificada de 3 ciclos na Formação Lagoa Feia .....93

Figura Adendo 2.2 - Seção estratigráfica do ciclo inferior da Formação Lagoa Feia.....94

Figura Adendo 3.1 - Seção estratigráfica SW-NE da Formação Lagoa Feia.....96

## Capítulo 4: Arcabouço Estrutural

Figura 4.1 - Estágios de rifteamento inferidos para a porção sul do rifte sul atlântico .....99

Figura 4.2 - Comparação das fases evolutivas de ruptura continental .....101

Figura 4.3 - Seção sísmica na região de águas profundas da bacia, mostrando as 3 fases descritas na seção rifte (I, II, III). .....102

Figura 4.4 - Seção sísmica regional da porção sul da Bacia de Campos (24-0066-0222), mostrando a compartimentação da província evaporítica da bacia. ....103

Figura 4.5 - Mapa de feições estruturais marcantes na seqüência rifte da Bacia de Campos.....104

Figura 4.6 - Seção sísmica regional na região central da Bacia de Campos (13-0239-0363). .....105

Figura 4.7 - Seção sísmica mostrando as principais feições estruturais da Bacia de Campos (linha 59-0231-0409). .....106

Figura 4.8 - Modelo digital do embasamento da seqüência evaporítica.....106

Figura 4.9 - Modelo geométrico cônico para a paleo-costa, à época do deslizamento do sal. ....107

Figura 4.10 - Modelo digital de isópacas da seqüência evaporítica da Bacia de Campos.....107

Figura 4.11 - Modelo digital magnetométrico reduzido ao pólo e retirado o IGRF. ....108

Figura 4.12 - Modelo digital gravimétrico bouguer de aquisição via satélite (Geosat) da Bacia de Campos.....108

Figura 4.13 - Mapa estrutural dos evaporitos da Bacia de Campos.....109

Figura 4.14 - Exemplo de falhas de empurrão ou cavalgamentos no extremo leste da seqüência evaporítica (linha 13-0239-0362).....110

Figura 4.15 - Exemplo de rafting tectônicas na Bacia de Campos (linha 58-0214-0175).....111

Figura 4.16 - Exemplo de deformação buckling no domínio Inferior contraccional (linha 13-0239-0362).....112

Figura 4.17 - Edifícios vulcânicos do Eoceno, no sul da Bacia de Campos, assentados sobre o topo do Cretáceo com importantes intercalações de arenitos .....113

Figura 4.18 - Seção sísmica mostrando os paleocânions de idade oligocênica e neogênica (linha 52-0241-0650). .....114

Figura 4.19 - Modelos geométricos para determinar as formas das falhas em rollovers (modificado Dula Jr. 1991).....115

Figura 4.20 - Modelo de argila (modificado Dula Jr. 1991). .....116

Figura 4.21 - Exemplo de rollover no Golfo do México. ....116

Figura 4.22 - Modelos de argila sem crescimento de rollover, demonstrando superfícies axiais ativas e inativas (Cloos 1968 apud Xiao & Suppe, 1992). .....117

Figura 4.23 - Relação geométrica entre forma da falha e geometria do rollover para uma camada deformada (Xiao & Suppe 1992).....	117
Figura 4.24 - Modelo de desenvolvimento progressivo de rollover para uma única falha com adição de sedimentação durante a deformação (Xiao & Suppe 1992).....	118
Figura 4.25 - Modelos de geometria de rollover para uma mesma forma de falha, variando a sedimentação e o rejeito da falha. ....	118
Figura 4.26 - Modelo de rollover formado por dois segmentos de falha, criando irregularidades nas camadas deformadas.....	119
Figura 4.27 - Interferência da compactação na construção de modelos de rollovers. ....	119
Figura 4.28 - Conjunto de seções interpretadas a partir de seções sísmicas na região sul da Bacia de Campos ..	120
Figura 4.29 - Seção sísmica interpretada na região central da bacia .....	121
Figura 4.30 - Seção sísmica interpretada na região sul da bacia .....	122
Figura 4.31 - Seção sísmica migrada em tempo e interpretada. ....	123
Figura 4.32 - Seção sísmica migrada em tempo e interpretada, da região central da bacia. ....	123
Figura 4.33 - Seção sísmica interpretada na região do campo de Albacora. ....	124
Figura 4.34 - Seção sísmica interpretada na região norte da bacia. ....	124
Figura 4.35 - Estilo estrutural e localização da superfície de descolamento tectônico, em seção geológica característica de cinturões compressivos.....	125
Figura 4.36 - Restauração de uma seção geológica até o estado pré-deformacional da camada azul. ....	126
Figura 4.37 - Seções restauradas (b e c) mostrando incoerências na interpretação geológica da seção original (a).....	126
Figura 4.38 - Modelo tridimensional de um diápiro de sal, formado durante processo de diapirismo reativo, ativo e passivo.....	126
Figura 4.39 - Esquema mostrando os passos básicos durante a restauração de uma seção geológica hipotética.....	128
Figura 4.40 - Evolução de dobras de rollover acima de falhas listricas. ....	129
Figura 4.41 - Localização da seção restaurada Dip 4. ....	130
Figura 4.42 - Compartimentação estrutural da seção sísmica Dip 4 para a seqüência pós-rifte.....	131
Figura 4.43 - Histogramas de distribuição de falhas ao longo da seção Dip 4.....	132
Figura 4.44 - Compartimentação estrutural da seção sísmica Dip 4 para a seqüência rifte. ....	133
Figura 4.45 - Linha sísmica regional da porção sul da Bacia de Campos (24-0066-0222) utilizada para demonstrar a compartimentação da província evaporítica da bacia. ....	134
Figura 4.46 - Curvas de tempo x profundidade obtidas para quatro poços circunvizinhos à seção restaurada Dip 4 .....	135
Figura 4.47 - Seção geológica restaurada para o tempo Aptiano Médio (Base dos Evaporitos).....	136
Figura 4.48 - Seção geológica restaurada para o tempo Albiano inferior (Topo dos evaporitos).....	137
Figura 4.49 - Seção geológica restaurada para o tempo Albiano médio.....	138
Figura 4.50 - Seção geológica restaurada para o tempo Turoniano/Cenomaniano (Bota) .....	138

Figura 4.51 - Seção geológica restaurada para o tempo Campaniano .....	139
Figura 4.52 - Seção geológica restaurada para o tempo Cretáceo .....	139
Figura 4.53 - Seção geológica restaurada para o tempo Eoceno médio .....	140
Figura 4.54 - Seção geológica restaurada para o tempo Oligoceno inferior.....	141
Figura 4.55 - Seção geológica restaurada para o tempo Oligoceno superior.....	141
Figura 4.56 - Seção geológica restaurada para o tempo Mioceno inferior. ....	142
Figura 4.57 - Seção geológica restaurada para o tempo Mioceno médio .....	143
Figura 4.58 - Seção geológica restaurada para o tempo Mioceno superior. ....	143
Figura 4.59 - Seção geológica interpretada para o tempo presente .....	144
Figura 4.60 - Histogramas de distribuição das taxas de sedimentação para cada intervalo cronoestratigráfico analisado.....	144
Figura 4.61 - Histograma de distribuição das taxas de deformação para cada intervalo cronoestratigráfico analisado.....	145
Figura 4.62 - Seções geológicas evolutivas mostrando o processo de restauração da seção geológica DIP 4.....	146

## Capítulo 5: Sistemas Petrolíferos da Bacia de Campos e Implicações Exploratórias

Figura 5.1 - Perfil geoquímico da Formação Lagoa Feia representando o somatório de todas informações geoquímicas referentes a esta unidade.....	151
Figura 5.2 - Diagrama de Van Krevelen referente às amostras da Formação Lagoa Feia.....	151
Figura 5.3 - Mapa de localização dos 41 campos da Bacia de Campos .....	152
Figura 5.4 - Seção geológica esquemática para as bacias marginais brasileiras (Bruhn 1998).....	154
Figura 5.5 - Modelo paleogeográfico para a megasseqüência rifte (não-marinha).....	155
Figura 5.6 - Associação de fácies das coquinas da Formação Lagoa Feia interpretada como depósitos arenosos bioclásticos (praias) (A) e de calcarenitos bioclásticos (praias) (B).....	155
Figura 5.7 - Reservatórios carbonáticos albianos no campo de Garoupa com forte controle estrutural e estratigráfico (Milani & Araújo 2003). ....	155
Figura 5.8 - Tipos de porosidade dos reservatórios carbonáticos .....	156
Figura 5.9 - Qualidade do reservatório carbonático no intervalo “A” – Formação Macaé (Eo-Cretáceo). (A) parte central do campo de Pampo e (B) flanco do mesmo campo.....	156
Figura 5.10 - Modelo paleogeográfico e fácies carbonáticas neríticas do Neo e Meso-Albiano.....	156
Figura 5.11- Mapa de amplitude sísmica para os reservatórios turbidíticos dos campos de Marlim Sul e Barracuda (Lopes et al. 1999) .....	157
Figura 5.12 - Mapa isolítico (arenitos) dos reservatórios turbidíticos do Oligoceno/Mioceno, com exemplo de situação dos tipos de reservatórios, conforme tabela 5.3 .....	159
Figura 5.13 - Seção sísmica ilustrando reservatório turbidítico tipo 1 - CC - Complexo de Canais .....	159



Figura 5.14 - Seção sísmica e esquema NNE/SSW da Bacia de Campos ilustrando reservatórios turbidíticos tipo 1 – complexo de canais (CC), com distribuição temporal.....	159	Figura 5.34 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Carapebus Eoceno e Carapebus Oligoceno/Mioceno. ....	173
Figura 5.15 - Seção sísmica e esquema N/S da parte central da Bacia de Campos, ilustrando reservatórios turbidíticos tipo 2 – (SLucd) com distribuição temporal .....	160	Figura 5.35 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para o play Carapebus Eoceno. ....	173
Figura 5.16 - Seção sísmica NW/SE da Bacia de Campos, ilustrando a expressão do reservatório turbidítico .....	160	Figura 5.36 - Seção final do poço 3-BD-001-RJS, mostrando a seqüência de rochas vulcânicas da Formação Cabiúnas.....	174
Figura 5.17 - Seção sísmica e esquema NW/SE da Bacia de Campos, ilustrando reservatórios turbidíticos tipos 2, 3, 4 e 5, com distribuição temporal (linhas de tempo anotadas).....	160	Figura 5.37 - Mapa de contorno estrutural do topo do Cretáceo inferior (rochas vulcânicas) para o Campo de Badejo. ....	174
Figura 5.18 - Seção sísmica NE/SW da parte central da Bacia de Campos, ilustrando a expressão dos reservatórios turbidíticos tipos 3 (25,5 Ma) e 5 (24,5 Ma).....	160	Figura 5.38 - Seção sísmica migrada em tempo e modelo esquemático interpretado da acumulação em calcilitos fraturados da Formação Outeiro.....	175
Figura 5.19 - Os valores de porosidade referentes aos arenitos, calculados para todos dados analisados na Bacia de Campos, apresentam acentuado decréscimo com a profundidade .....	161	Figura 5.39 - Exemplo de cálculo da favorabilidade, em que a suficiência, a necessidade e a probabilidade de sucesso são quantificadas célula a célula. ....	176
Figura 5.20 - Histograma dos valores de porosidade, calculados para todos dados da bacia, ilustra claramente a tendência de distribuição normal dos dados, com média de 20,2% e desvio padrão de 0,09 .....	161	Figura 5.40 - Representação esquemática da seleção, quantificação dos ponderadores e integração das variáveis representativas para cada fator diagnóstico: geração, reservatório, alimentação, retenção e eficiência. ....	176
Figura 5.21 - O intervalo referente a D2-D3 é constituído por valores de porosidade, com média de 20,3% e desvio padrão de 0,035 .....	162	Figura 5.41 - Mapa de localização dos poços produtores comerciais e subcomerciais de hidrocarbonetos na Bacia de Campos, separados por plays. ....	177
Figura 5.22 - O intervalo D5-D10 apresenta marcante diminuição dos valores de porosidade em relação à profundidade .....	162	Figura 5.42 - Histogramas de freqüência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Lagoa Feia ...	182
Figura 5.23 - O intervalo entre os horizontes D11-D12, por estar próximo à superfície, apresenta menor variação da porosidade em relação à profundidade, indicando o pouco efeito de processos diagenéticos sobre a porosidade.....	163	Figura 5.43 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Lagoa Feia, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência.....	183
Figura 5.24 - Distribuição temporal da maturação da matéria orgânica.....	164	Figura 5.44 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Lagoa Feia, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Lagoa Feia (!).....	183
Figura 5.25 - Modelos digitais de maturidade do topo da Formação Lagoa Feia em tempos geológicos selecionados .....	165	Figura 5.45 - Histogramas de freqüência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Quissamã....	184
Figura 5.26 - Modelos digitais de maturidade do Turiano em tempos geológicos selecionados.....	166	Figura 5.46 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Quissamã, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência...185	
Figura 5.27 - Caminhos de migração das acumulações da Bacia de Campos (Guardado et al. 1989).....	167	Figura 5.47 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Quissamã, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Quissamã (!).....	185
Figura 5.28 - Carta de elementos essenciais e processos do Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Carapebus. ....	167	Figura 5.48 - Histogramas de freqüência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Outeiro. ....	186
Figura 5.29 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Lagoa Feia e Macaé/Quissamã.....	169	Figura 5.49 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Outeiro, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência. ....	187
Figura 5.30 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Macaé/Outeiro e Carapebus Eoceno. ....	169	Figura 5.50 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Outeiro, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Outeiro (!). ....	187
Figura 5.31 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Macaé/Quissamã e Carapebus Oligoceno/Mioceno.....	170	Figura 5.51 - Histogramas de freqüência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Carapebus Senoniano.....	188
Figura 5.32 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Macaé/Outeiro e Carapebus Eoceno. ....	171	Figura 5.52 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Carapebus Senoniano, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência.....	189
Figura 5.33 - Seção sísmica NW/SE interpretada em tempo, ilustrando os modelos de geração, migração e acumulação para os plays Macaé/Outeiro e Carapebus Cretáceo. ....	172		

Figura 5.53 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Senoniano, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Carapebus Senoniano (!).....189

Figura 5.54 - Histogramas de frequência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Carapebus Eoceno.....190

Figura 5.55 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Carapebus Eoceno.....191

Figura 5.56 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Eoceno, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Carapebus Eoceno (!).....191

Figura 5.57 - Histogramas de frequência das variáveis dos poços secos e produtores do Play Carapebus Oligo-Mioceno.....192

Figura 5.58 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável do Play Carapebus Oligo-Mioceno, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência.....193

Figura 5.59 - Modelo digital de favorabilidade para o Play Oligo-Mioceno, Sistema Petrolífero Lagoa Feia-Carapebus Oligo-Mioceno (!).....193

Figura 5.60 - Histograma de distribuição de COT da Formação Lagoa Feia.....194

Figura 5.61 - Curva de probabilidade cumulativa para o volume de óleo e gás gerados e expelidos.....195

Tabela 5.3 - Características dos principais tipos de reservatórios turbidíticos da Bacia de Campos (Bruhn, 1988 in Bruhn, 2003, mod.).....158

Tabela 5.4 - Distribuição dos plays por campos, com indicação dos reservatórios.....168

Tabela 5.5 - Tabela resumo dos plays e dados associados.....169

Tabela 5.6 - Número de poços analisados por play.....177

Tabela 5.7 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Lagoa Feia (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....183

Tabela 5.8 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Quissamã (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....185

Tabela 5.9 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Outeiro (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....187

Tabela 5.10 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Carapebus Senoniano (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....189

Tabela 5.11 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Carapebus Eoceno (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....191

Tabela 5.12 - Variáveis selecionadas para o sub-sistema Carapebus Oligo-Mioceno (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores de geração, migração, reservatório e estrutura.....193

Tabela 5.13 - Parâmetros utilizados para a simulação.....194

Tabela 5.14 - Volumes de óleo e gás gerados e migrados para a simulação.....194

## Índice de Tabelas

### Capítulo 2: Geologia Regional

Tabela 2.1 - Relação dos dados de métodos potenciais utilizados no mapeamento de feições estruturais do embasamento das bacias de Santos e Campos.....32

Tabela 2.2 - Parâmetros utilizados na construção dos modelos digitais de terreno.....35

### Capítulo 5: Sistemas Petrolíferos da Bacia de Campos e Implicações Exploratórias

Tabela 5.1 - Distribuição dos volumes de óleo da Bacia de Campos pelos principais tipos de reservatório (Bruhn 2003).....153

Tabela 5.2 - Principais sistemas turbidíticos e respectivos reservatórios na Bacia de Campos.....157