

André Eduardo Calazans Matos de Souza

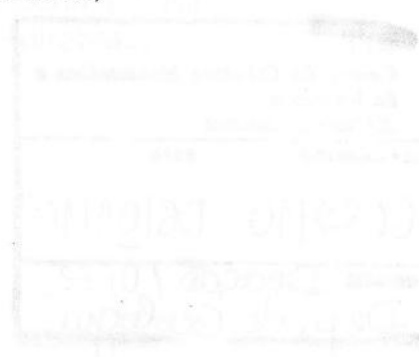
**ESTUDO DE CASOS DE PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICAS NAS BACIAS DE CAMAMU,
ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Especialista em Geofísica do Petróleo.

Orientadores:

Paula Ferrucio da Rocha (UFRJ)

Álvaro Gomes (Petrobras)



UFRJ
Março Rio de Janeiro
2007

MGL
5429E

UFRJ Centro de Ciências Matemáticas e de Natureza Biblioteca Central	
N.º REGISTRO	DATA
6082/10	06/09/10
ORIGEM Doação UFRJ Dep. de Geologia	

inv. 2011

ANDRÉ EDUARDO CALAZANS MATOS DE SOUZA

ESTUDO DE CASOS DE PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICAS NAS BACIAS DE CAMAMU, ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA.

ANDRÉ EDUARDO CALAZANS MATOS DE SOUZA

ESTUDO DE CASOS DE PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICAS NAS BACIAS DE CAMAMU,
ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Especialista em Geofísica do Petróleo.

Orientadores:

Paula Ferrucio Rocha (UFRJ)
Álvaro Gomes (Petrobras)

Aprovada em: 23.03.2007

Por:

Paula Ferrucio Rocha (UFRJ)

Álvaro Gomes (Petrobras)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a UFRJ e a Petrobras que viabilizaram a conclusão deste trabalho.

Ao Leonardo Borgui, Álvaro Gomes e Paula Rocha pela orientação.

Resumo do trabalho apresentado à PPGL/IGEO/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Especialização em Geofísica do Petróleo.

ESTUDO DE CASOS DE PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICAS NAS BACIAS DE CAMAMU, ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA

André Eduardo Calazans Matos de Souza

Março/2007

Orientadores: Paula F. Rocha

Álvaro Gomes

Dados de gravimetria obtidos em três levantamentos distintos foram homogeneizados, analisados e modelados, no intuito de caracterizar o arcabouço estrutural das citadas bacias. Tal procedimento apresentou resultados com boa correlação com estruturas geológicas existentes na literatura, assim como permitiu o prolongamento de alguns lineamentos e o mapeamento de feições lineares ainda não reportadas. A principal contribuição do trabalho foi à proposição do sistema petrolífero Urucutuca –Urucutuca (?) em águas ultra profundas da Bacia de Cumuruxatiba.

Abstract of job presented to PPGL/IGEO/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Especialization of Petroleum Geophysics.

ESTUDO DE CASOS DE PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICAS NAS BACIAS DE CAMAMU,
ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA

André Eduardo Calazans Matos de Souza

March/2007

Advisors: Paula F. Rocha
Álvaro Gomes

Gravity data provided by three different surveys were made uniform, analyzed and modeled, to characterize the structural framework of these basins. These procedures presented good correlation with known geologic structures and allowed to extend some lineaments and to map new features. The main contribution of this work is the proposition of the speculative petroleum system Urucutuca – Urucutuca (?), located at the ultra-deep water of Cumuruxatiba Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização, limites e arcabouço estrutural da bacia de Camamu, mapeado ao nível da Fase Pré-Rift (Formação Sergi).....	2
Figura 2: Seção geológica esquemática da bacia de Camamu.....	3
Figura 3: Carta estratigráfica da bacia de Camamu.....	4
Figura 4: Carta estratigráfica da bacia do Almada.....	6
Figura 5: Coluna estratigráfica generalizada da bacia de Camamu.....	9
Figura 6: Mapa geológico da porção sul da bacia de Camamu.....	12
Figura 7: Mapa de concessões das bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba.....	15
Figura 8: Seção geológica da bacia de Jequitinhonha.....	18
Figura 9: Carta estratigráfica da bacia de Jequitinhonha.....	20
Figura 10: Os vários estágios da bacia de Jequitinhonha, seus respectivos tempos geológicos e as formações.....	21
Figura 11: Carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba.....	26
Figura 12: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré.....	31
Figura 13: Carta do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré.....	32
Figura 14: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Regência-Urucutuca.....	33
Figura 15: Carta do sistema petrolífero Regência-Urucutuca.....	34
Figura 16- Gravímetro.....	44
Figura 17- Levantamento terrestre.....	45

Figura 18- Levantamentos gravimétricos	50
Figura 19 - Mapa de Anomalia Bouguer; a densidade utilizada na correção foi 2,67 g/cm³.....	52
Figura 20 - Mapa de Anomalia Bouguer Filtrado – Passa Banda 5 – 250 km.....	53
Figura 21 - Detalhe da Bacia de Jequitinhonha com seus compartimentos.....	54
Figura 22 - Detalhe da Bacia de Cumuruxatiba com seus compartimentos.....	55
Figura 23 - Detalhe da Bacia de Cumuruxatiba com seus principais compartimentos utilizando filtro passa banda de 5 a 22km.....	56
Figura 24 - Detalhe da Bacia de Jequitinhonha com seus principais compartimentos utilizando filtro passa banda de 5 a 22km.....	56
Figura 25 - Mapa de Anomalia Bouguer filtrado – Passa Banda 20 – 150 km.....	57
Figura 26- Localização dos perfis gravimétricos modelados.....	58
Figura 27- Perfil P1.....	58
Figura 28- Perfil P2.....	59
Figura 29- Perfil P3.....	59
Figura 30- Perfil P4.....	59
Figura 31- Perfil P5.....	60
Figura 32- Perfil P6.....	60

Sumário

Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
1. Geologia da Região	1
1.1. Bacia de Camamu Almada.....	1
1.2 Geologia do Petroleo Camamu-Almada.....	13
2 Bacia de Jequitinhonha.....	16
2.1 Localização e Extensão	16
2.2 Estrutural e Estratigráfico.....	16
2.3 Prospectiva para Hidrocarboneto.....	22
3 Bacia de Cumuruxatiba	23
3.1 Estrutural.....	23
3.2 Estratigrafia	25
3.3 Sistema Petrolífero	30
4 Método.....	35
5. Método Gravimétrico	37
5.1 Introdução.....	37
5.2 Fundamentos.....	37
5.3 Densidade da Rocha.....	39
5.4 Contribuição dos materiais para valor da gravidade.....	39
5.5 Correção dos dados gravimétricos.....	40
5.6 Anomalia de Ar livre e Bouguer.....	42
5.7 Gravímetro	43
5.8 Levantamento.....	44
5.9 Tratamento de Dados.....	46
5.10 Interpretação.....	47
5.11 Aplicações.....	48

6.Estudo de Casos.....48

6.1 Objetivos.....49

6.2 Metodologia.....49

6.3 Tratamento dos dados e Interpretação.....49

7. Conclusões.....60

8.Referências bibliográficas.....62

1 GEOLOGIA DA REGIÃO

1.1 Bacia de Camamu-Almada

1.1.1 Introdução

A localização da bacia de Camamu-Almada situa-se na margem continental brasileira entre os paralelos 13° e $14^{\circ}15'S$ e entre os meridianos 38° e $39^{\circ}10'W$, que fica entre as cidades de Salvador e Ilhéus no litoral sul do Estado da Bahia constituindo o prolongamento sul do sistema rifte Recôncavo-Tucano.

A área da bacia de Camamu se estende por 16.500 km^2 , a de Almada por 6.400 km^2 , totalizando 22.900 km^2 e alcançando 3000 m de cota batimétrica.

A porção terrestre da bacia de Camamu fica numa região costeira com várias ilhas e uma grande baía. Isto provoca uma grande dificuldade de estudos geofísicos, principalmente sísmicos, pelo fato de ter uma região de mangue e de preservação ambiental.

Os limites geológicos da bacia são determinados pela falha da Barra (alto de Salvador) e da zona de acomodação de Jaguaripe, que separa as bacias de Camamu-Almada do Recôncavo (Figura 1); ao sul tem-se o alto de Olivença, que delimita as bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha; à oeste o embasamento Proterozóico que aflora na região perto da costa e a leste pelo alto de Taipus.

O rifteamento no eocretáceo do Atlântico Sul levou a bacia a uma série de grábens assimétricos na área *offshore* da Margem Atlântica Brasileira. O preenchimento da bacia

compreende uma sucessão espessa de estratos do Pré-Rifte, Rifte e Pós-Rifte (SILVA, 2005).

Os estudos para exploração da bacia de Camamu-Almada mais significativos começaram nas décadas de 60 e 70. Algumas formações como Afligidos e Sergi foram inicialmente estudadas na bacia do Recôncavo.

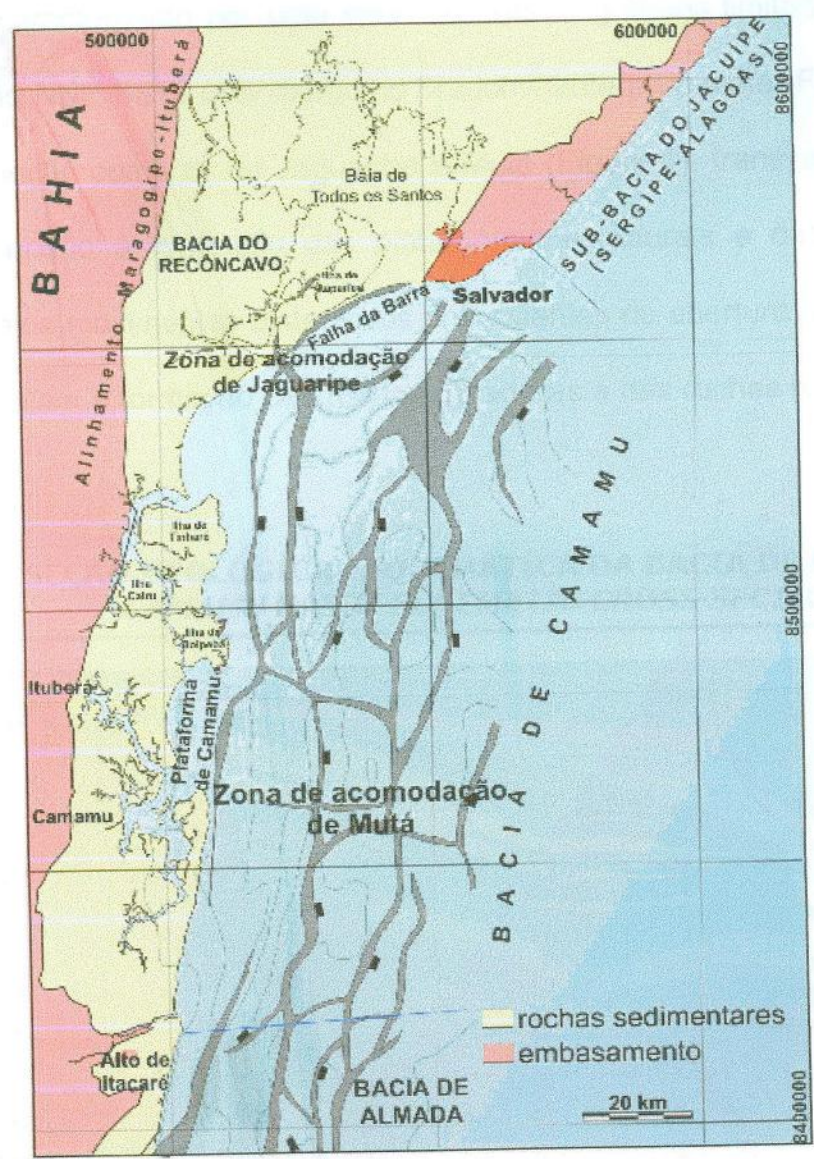


Figura 1: Localização, limites e arcabouço estrutural da bacia de Camamu, mapeado ao nível da Fase Pré-Rift (Formação Sergi). (Fonte: LIMA et al., 2003).

1.1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento geológico das bacias de Camamu/Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba.

Pode-se descrever resumidamente que o arcabouço tectônico da bacia de Camamu-Almada é caracterizado por uma série de *horst* e grábens limitados por falhas normais com direção NNE-SSW com mergulho predominante para leste (Figura 2). Várias zonas de acomodação como as de Jaguaribe e Mutá (Figura 1), transversais ao eixo do Rifte, deram ascensão à formação das plataformas estruturais e das sub-bacias restritas, geradas pelos movimentos distensivos provenientes da abertura do oceano Atlântico, as quais controlam a formação das rochas geradoras e das rochas reservatórios nas bacias de Rifte.

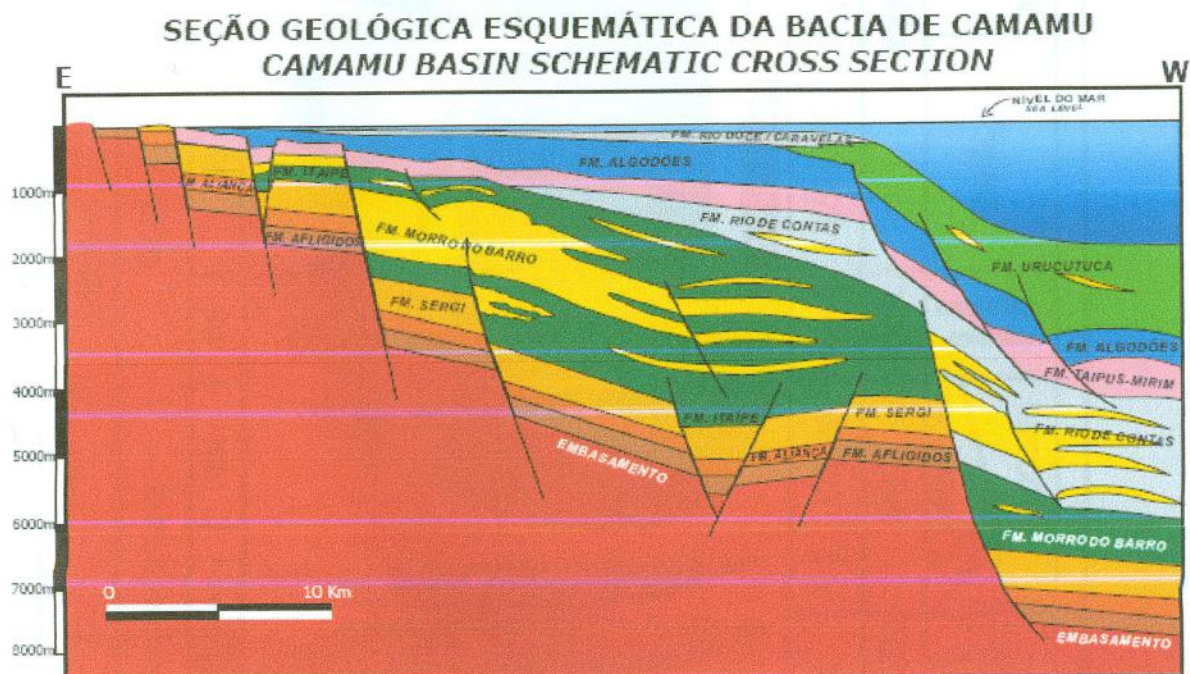


Figura 2: Seção geológica esquemática da bacia de Camamu. (Fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2001. Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

Alguns intervalos litológicos dessa bacia apresentam semelhanças ao encontrado nas seções equivalentes de áreas vizinhas, e assim delas obtiveram suas denominações litoestratigráficas.

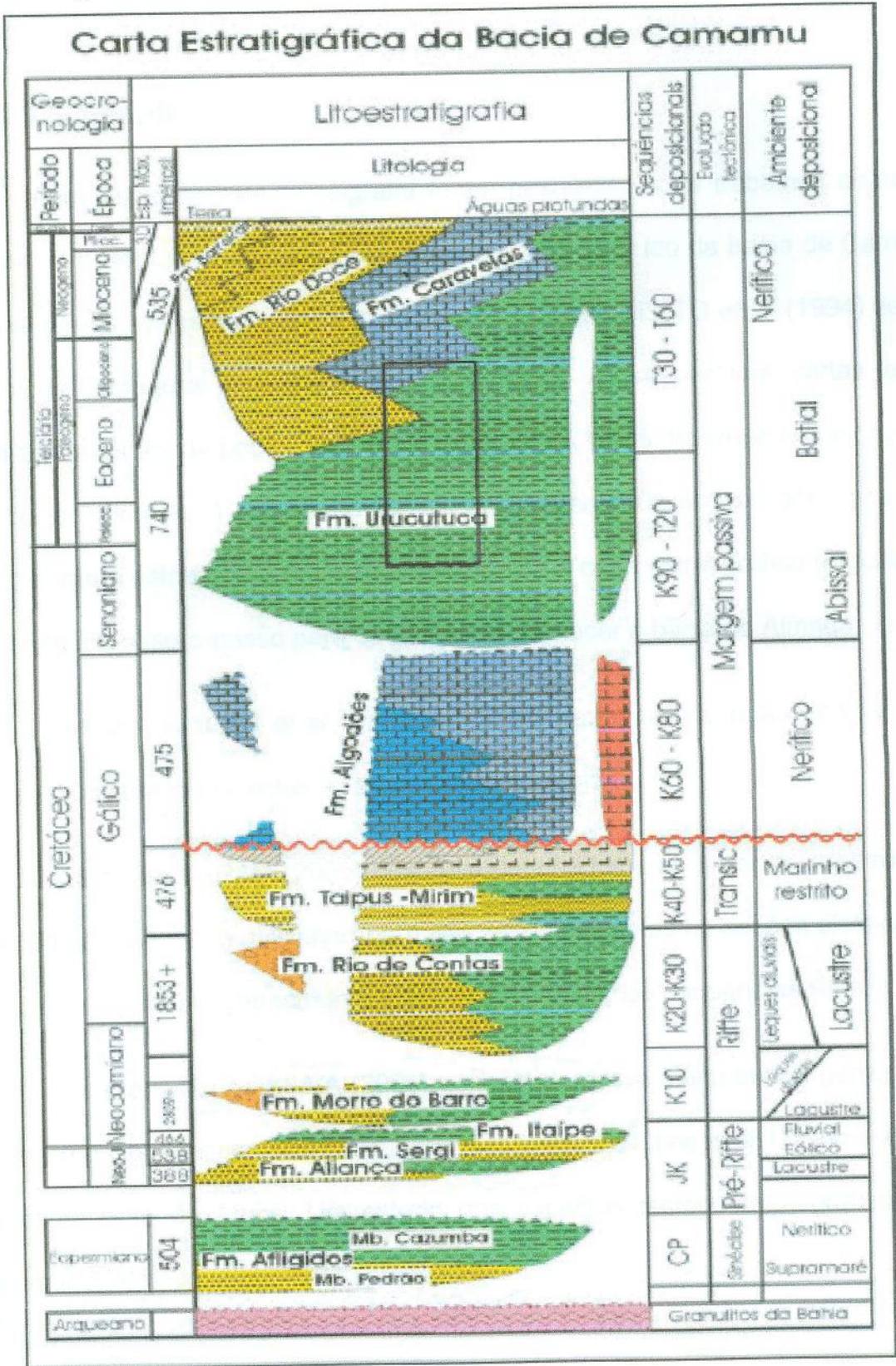


Figura 3: Carta estratigráfica da bacia de Camamu. (Fonte: NETTO et al., 1994).

Como por exemplo, podemos citar a Formação de Afligidos e o pacote Pré-Rifte das formações Aliança e Sergi, que fazem parte da estratigrafia da bacia do Recôncavo (Figura 3).

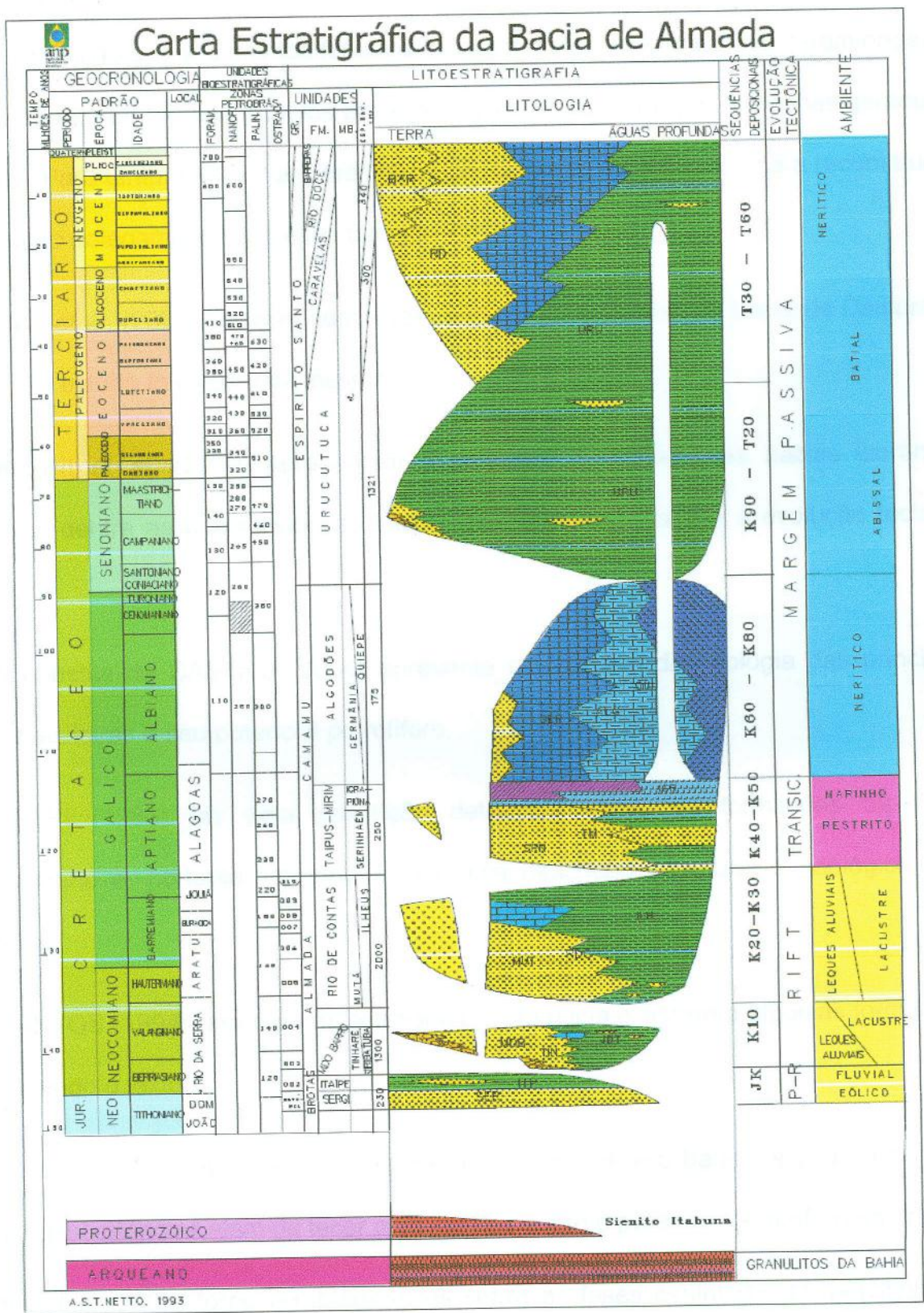
1.1.3 Método

Para escrever esta monografia foram pesquisados os trabalhos de NETTO *et al.* (1991 e 1994) tornou-se uma grande referência no estudo da bacia de Camamu-Almada visto que os outros autores citam os trabalhos deles. NETTO *et al.* (1994) descreveram a geologia estrutural e estratigráfica fornecendo as respectivas cartas estratigráficas utilizando dados de poços. NETTO & SANCHES (1991) descreve a geologia histórica da bacia do Almada, o arcabouço estrutural apresentando seções geológicas da mesma. Apresenta a estratigrafia em mapas geológicos e carta estratigráfica (Figura 4). E mostra um roteiro passo-a-passo para quem quiser conhecer a bacia do Almada.

O Livro de BIZZI *et al.*, 2003 da CPRM traz uma descrição geológica das bacias litorâneas brasileiras inclusive as de Camamu-Almada.

A tese de KARAM (2005) descreve detalhadamente a geologia estrutural da bacia de Camamu-Almada utilizando para isto vários exemplos de seções sísmicas e dados de poços fazendo um mapeamento sismoestratigráfico das seqüências Rifte.

A dissertação de SILVA (2005) também descreve muito bem a geologia desta bacia e a megaseqüências utilizando para isso dados de poços e fazendo analogia com o sistema Rifte da África. Um estudo dos aspectos tectono-estratigráficos da bacia da Camamu-Almada também foi apresentado.



GONÇALVES *et al.* (2001) mostrou o estudo da bacia de Camamu-Almada voltada para a deposição dos sedimentos lacustre ricos em matéria orgânica que deram origem a rocha geradora de hidrocarbonetos propondo modelos de formação de rochas geradoras lacustres. Para tanto, fez uso de parâmetros geoquímicos e geológicos para reconstrução da evolução paleoambiental dessas bacias.

LIMA *et al.* (2003) também descrevem a geologia estrutural da bacia de Camamu e fizeram um estudo fossilífero da mesma.

MILANI *et al.* (2000) apresentam o potencial petrolífero das bacias litorâneas brasileiras dentre as quais estão as bacias de Camamu-Almada e a evolução tectono-sedimentar.

A apostila de CASTRO (2004) apresenta um resumo da geologia das principais bacias brasileiras e seu potencial petrolífero.

PETRI (1983) faz uma descrição detalhada sobre as formações da Bacia Jequitinhonha e, portanto, contribuiu para uma descrição estrutural e geológica mais específica.

SANTOS (1994) descreve as extensões desta bacia e comenta algumas formações, enriquecendo o texto.

A tese de CASTILHO (2005) realiza um estudo sobre a bacia de Jequitinhonha e suas megasequências além de tecer comentários sobre o potencial petrolífero da área.

KÜNCHLE (2005) forneceu informações sobre as fases evolutivas de Jequitinhonha além de uma discussão sobre a mesma.

1.1.4 Contexto geológico da bacia.

1.1.4.1 Geologia estrutural e estratigráfica das bacias de Camamu-Almada

As bacias de Camamu-Almada apresentam em sua geologia três fases geotectônicas como Pré-Rift, Rift e Pós-Rift.

Na fase inicial Pré-Rift predomina um estilo de sinéclise intracontinental no período neojurássico a neocomiano inferior. As rochas sedimentares mais antigas datam do início do Permiano (Formação Afligidos). Na fase Rift a deposição sedimentar da bacia é predominantemente de siliciclásticos, porém ocorrem depósitos evaporíticos e carbonáticos combinado com um regime distensivo e intenso.

As figuras 3 e 4 mostram que na deposição Pré-Rift é basicamente caracterizada como uma intercalação de pacotes predominantemente arenosos com pacotes de folhelhos, enquanto que o preenchimento sinrift é inicialmente caracterizado pela deposição de clásticos grosseiros, conglomerados e arenitos associados a sistemas aluvionares/fluviais na porção norte do sistema de bacias Rift preservado na margem brasileira. Já no andar Rio da Serra / Aratu, na porção sul, a deposição clástica aumenta, e na porção norte começam a ocorrer sistemas lacustres com sistemas deltáicos marginais. No andar Buracica / Jiquiá a deposição de rochas vulcânicas concentra-se em zonas fraturadas e ocorre o desenvolvimento de margens carbonáticas lacustres com sistemas aluvionares posicionados anteriormente, os quais são característicos na região sul e norte do sistema de Rift. Por fim, no andar Alagoas ocorre uma deposição clástica localizada. Devido a ambientes marinhos rasos com clima árido com alta taxa de evaporação para praticamente toda a margem brasileira há ocorrência de grandes depósitos evaporíticos.

CRONO-ESTRATIGRAFIA			EVOLUÇÃO TECTÔNICA		
			FORMAÇÕES		
TERCIÁRIO	Plioc.		URUCUTUCA	PÓS-RIFT	
	Mioc.				
	Oligoc.				
	Eoc.				
	Paleooc.				
CRETÁCEO	Super.	Santon.			
		Coniac.			
		Turon.			
		Cenom.			
	Infer.	Albiano			ALGODÕES
		Aptiano			TAIPUS-MIRIM
		Barrem.	RIO DE CONTAS		
		Neocom.	MORRO DO BARRO		
JURÁSSICO		ITAÍPE	PRÉ-RIFT		
		SERGI			
		ALIANÇA			

Figura 5: Coluna estratigráfica generalizada da bacia de Camamu. (Fonte: GONÇAVES, 2001).

A bacia sinrifte lacustre foi preenchida por folhelhos, sedimentos finos, do Membro Jiribatuba que gradam a arenitos e sedimentos clásticos grossos, nas regiões mais proximais do Membro Tinharé; no conjunto, estas unidades constituem a Formação Morro do Barro.

A ausência de fósseis marinhos associados à presença de ostracodes não-marinhos e o contexto geológico regional indicam que as formações Morro do Barro e Rio de Contas depositaram-se numa bacia lacustre formada durante a fase de extensão crustal. A Formação Morro do Barro é interpretada como produto da sedimentação num ambiente subaquoso dominado por fluxos gravitacionais em lago profundo, enquanto a Formação Rio de Contas, entre o Barremiano e o eoaptiano, apresenta uma seqüência de fácies, da área proximal para a distal, que indica uma sucessão de ambientes de leques deltaicos, um pacote misto siliciclástico-carbonático de ambiente lacustre foi depositado sobrejacentes aos evaporitos Taipus-Mirim.

De acordo com NETTO (1994), um pacote de evaporitos e siliciclásticos de idade neoaptiana constitui a Formação Taipus-Mirim que engloba o Membro Serinhaém (siliciclásticos) e o Membro Igrapiúna (evaporitos). Esta unidade consiste de arenito muito fino intercalado com siltitos e folhelhos negros com elevado teor de carbono orgânico (Membro Serinhaém); o Membro Igrapiúna recobre a seção anterior e consiste de carbonatos, folhelho marrom, halita e anidrita, com barita associada em alguns locais nas bacias de Almada e Camamu.

A falha de Maragogipe (Figura 6) é denominada falha de borda da bacia, de um compartimento de embasamento raso, adjacente à costa, no bloco alto das falhas de Mutá e de Aritaguá; de um compartimento intermediário, no bloco baixo da falha de Mutá que se estende até a falha de Camamu; e a região de águas profundas, onde a seção sedimentar pode atingir cerca de 8.000 m de profundidade. Na região mais profunda verifica-se a existência de domos de sal e a presença da falha de Jequitinhonha-Almada. Essas grandes falhas que formam o arcabouço estrutural da bacia têm uma direção NNE, sendo cortadas transversalmente por falhas de transferência, como por exemplo, a da

Cova da Onça. O alto de Taipus é definido pelas falhas transcorrentes que passam ao norte da Ilha Grande perto das cidades de Maraú e Itacaré.

A litoestratigrafia da bacia de Camamu-Almada pode ser descrita como uma sucessão de seqüências tais como:

- Mega-Seqüência Pré-Rifte do eopermiano-Triássico subdividida na Formação Afligidos – Membro Pedrão e Cazumba – e Grupo Brotas que é composta pelas formações Aliança, Sergi e Itaípe. Esta seqüência agrupa os sedimentos flúvio-lacustre juro-eocretáceos com retrabalhamento eólico das formações Aliança, Sergi e Itaípe. A Formação Itaípe representa a transição da fase Pré-Rifte para a fase Rifte;
- Mega-Seqüência Rifte do Barriasiano – Aptiano Inferior: Grupo Almada. Representado pelos depósitos lacustres eocretáceos das formações Morro do Barro e Rio de Contas;
- Mega-Seqüência transicional do mesocretáceo-neocretáceo: Grupo Camamu;
- Mega-seqüência de Margem Passiva do neocretáceo-Plioceno: Grupo Espírito Santo;
- Seqüência Drift que compreende os sedimentos transicionais aptianos da formação Taipus-Mirim e os estratos marinhos cretáceos e terciários, das formações Algodões, Urucutuca, Rio Doce e Caravelas. (Figura 4)

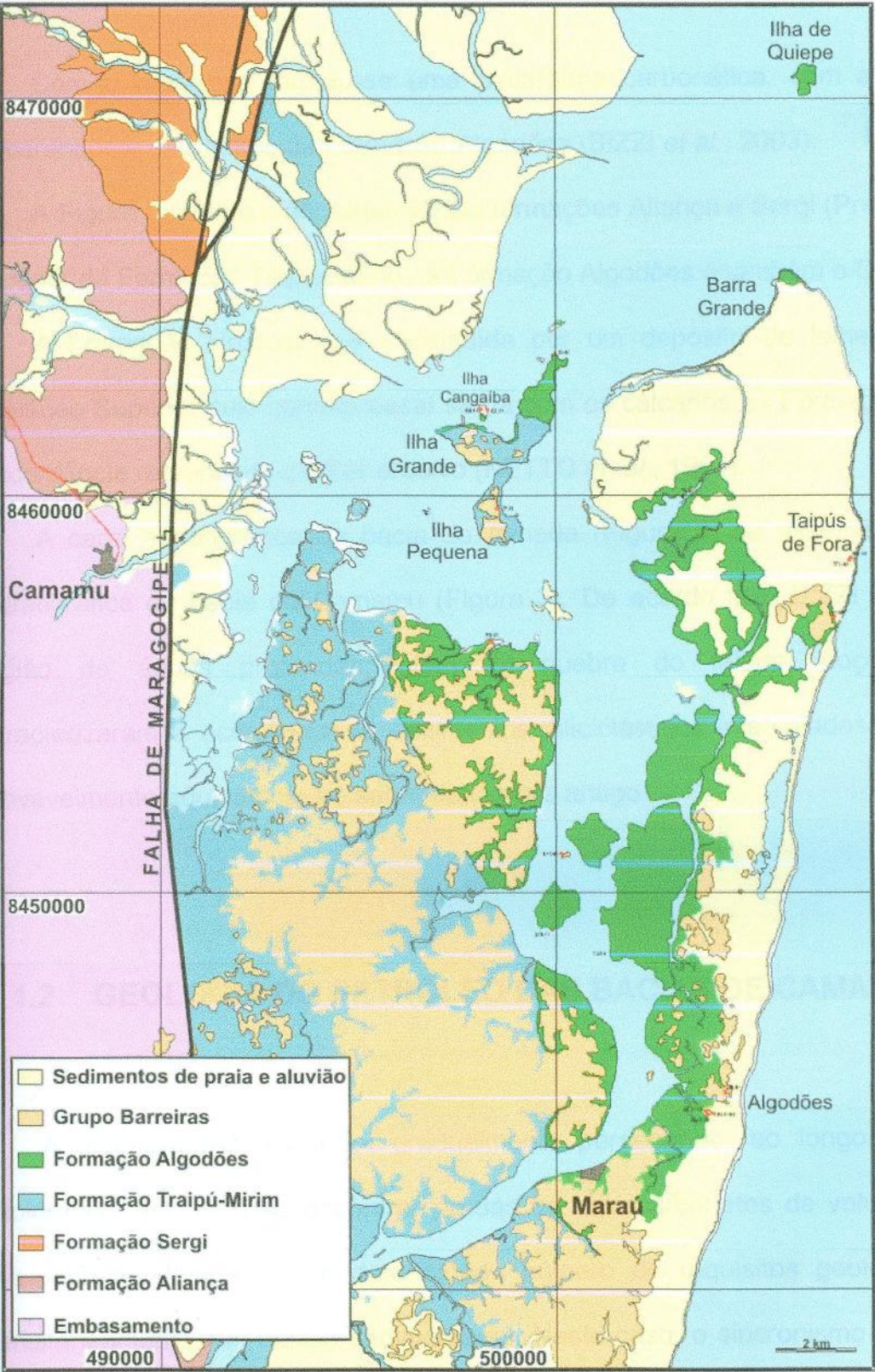


Figura 6: Mapa geológico da porção sul da bacia de Camamu. (Fonte: LIMA et al., 2003)

Na sequência Pós-Rifte ou marinha há ocorrência de falhas lístricas normais associada com o peso dos sedimentos sobrejacentes.

Com o mar raso formou-se uma plataforma carbonática, com a deposição dos calcarenitos e calcilutitos da Formação Algodões (BIZZI *et al.*, 2003).

A Figura 6 mostra o afloramento das formações Aliança e Sergi (Pre-Rifte), a porção superior da Formação Taipus-Mirim, a Formação Algodões e também o Grupo Barreiras.

A Formação Urucutuca é constituída por um depósito de folhelhos a partir do Cretáceo Superior cujo contato basal se dá com os calcários da Formação Algodões por discordância regional de caráter erosivo (NETTO *et al.*, 1994).

A carta estratigráfica da bacia do Almada (Figura 5) se assemelha com a carta estratigráfica da bacia de Camamu (Figura 3). De acordo com BIZZI *et al.* (2003), na região de águas profundas, além da quebra do talude, poços exploratórios caracterizaram a ocorrência de sedimentos siliciclásticos intercalados com evaporitos, provavelmente equivalente ao sal Aptiano mais antigo.

1.2 GEOLOGIA DO PETRÓLEO DAS BACIAS DE CAMAMU-ALMADA

A indústria petrolífera foi gradualmente percebendo, ao longo de décadas de exploração que, para se encontrar jazidas de hidrocarbonetos de volume significativos era imprescindível que um determinado número de requisitos geológicos ocorresse simultaneamente nas bacias sedimentares. Neste caso, o sincronismo que faz com que as rochas geradoras, reservatórios, selantes, trapas e migração se originem e se desenvolvam em uma escala de tempo adequada para a formação e acumulações de petróleo.

As rochas geradoras da Bacia de Camamu-Almada revelam que as principais rochas geradoras são folhelhos negros lacustres de água doce à salobra da Formação Morro do Barro do Membro Jiribatuba depositados durante a fase Rifte no neocomiano inferior e a Formação Rio de Contas da seção Rifte. A preservação da matéria orgânica foi favorecida pelo clima árido e pelas condições anóxicas do fundo do lago.

As rochas reservatórios são formadas pelos arenitos flúvio-eólicos da Formação Sergi, os arenitos desenvolvidos em ambientes de leques aluviais ou lacustres das formações Morro do Barro e Rio de Contas e os arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca. Os folhelhos constituem as rochas seladoras da bacia.

As armadilhas de hidrocarbonetos da seqüência Pré-Rifte podem ser exclusivamente estruturais, associadas a *horsts* ou meio-grábens ou por discordâncias. Para a seqüência Rifte, as armadilhas são basicamente associadas por falhas lítricas. Na seqüência Drifte, as trapas são sempre estratigráficas, constituídas por envoltórios dos folhelhos nas seções turbidíticas, restritas ao ambiente de talude.

De acordo com GOLÇALVES (2001) e LIMA *et al.* (2003) a bacia de Camamu contém algumas acumulações de óleo e gás em terra e no mar, todas consideradas como originadas a partir das rochas geradoras lacustres eocretáceas da Formação Morro do Barro, seguidas pelos reservatórios neojurássicos da Formação Sergi, associados a arenitos flúvio-eólicos.

Com o fim de aumentar a exploração de hidrocarbonetos nas bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) dispôs vários blocos de concessões para as empresas de Petróleo pudessem fazer exploração conforme mostra a Figura 7.

Bacias de Jequitinhonha / Camamu-Almada / Cumuruxatiba

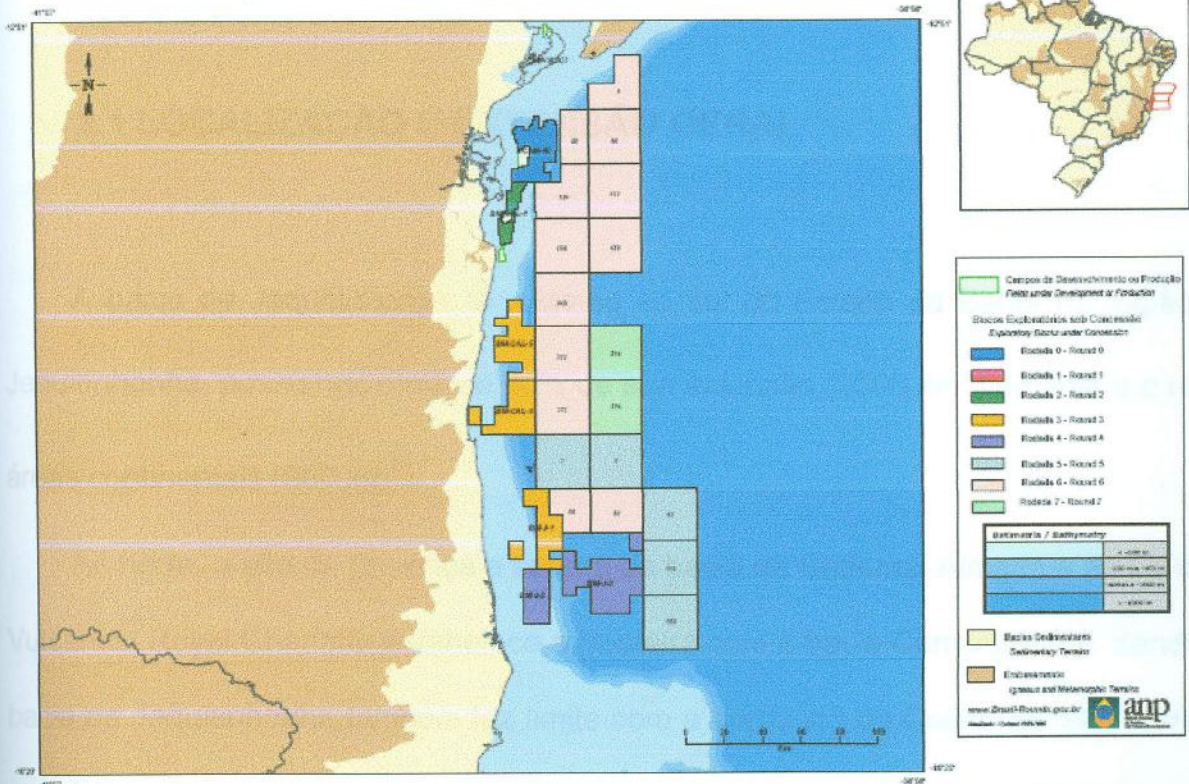


Figura 7: Mapa de concessões das bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba, (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006. Sítio: http://www.brazil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

2 BACIA DE JEQUITINHONHA

2.1 LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO GERAL

A bacia de Jequitinhonha localiza-se ao sul do Estado da Bahia na região do rio Jequitinhonha, possuindo mais de 90% de sua extensão (9500 km^2) em mar e o resto em áreas continentais (600 km^2).

Ao norte, o alto de Olivença a separa da bacia de Camamu-Almada e ao sul o banco Vulcânico Royal Charlotte estabelece a fronteira com a bacia Cumuruxatiba. Sendo que a bacia de Jequitinhonha também faz limite com a borda sul do Cráton do São Francisco o que determina um embasamento constituído por rochas graníticas e gnáissicas.

2.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL E ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE JEQUITINHONHA

Pode-se dividir a bacia em duas grandes áreas geográficas para estudo: a porção norte e a sul. A primeira, ao contrário da segunda, é formada pela continuação do alto de Olivença tanto em terra quanto em mar.

Na parte marítima esta extensão se prolonga por poucos quilômetros recobertos de sedimentos do Terciário. Ela é separada por falhas normais de uma área mais distante da costa que, por sua vez, é recoberta de sedimentos mais variados.

Podemos, ainda, analisar os estágios evolutivos da história da bacia: Pré-Rifte, Rifte, uma transicional caracterizada por evaporitos neo-aptianos que marca o início de

uma ingressão marinha e uma Pós-Rifte subdividida em uma Drifte com plataforma carbonática rasa seguido de um estágio onde depositou-se sedimentos marinhos transgressivos e por outro depósito em fase marinha regressiva. Desta forma, a bacia está recoberta por rochas de margem passiva do oceano aberto associadas à subsidência térmica.

Na fase Pré-Rifte predomina um estilo de sinéclise intracontinental no período neojurássico a eocretáceo.

A fase Rifte apresenta sedimentos eoaptianos clásticos e folhelhos da Formação Mariricu depositados em ambiente fluvio-lacustre apresentando maior espessura na parca região terrestre e marinha mais ao sul.

A fase evaporítica é caracterizada por uma transição entre a fase Rifte e a Drifte onde o oceano começa a evaporar e vários sedimentos decantam (halitas e anídricas tipicamente). Nesta fase vemos os sedimentos descontinuadamente intercalados com arenitos costeiros.

Na fase Drifte houve deposição de sedimentos carbonáticos de energia variada na Formação Regência. Nas porções mais próximas do continente houve deposição de sedimentos clásticos grosseiros na Formação São Matheus. A sobrecarga de sedimentação acabou por intensificar a subsidência flexural.

Após este fenômeno, ocorreu uma deposição (Grupo Espírito Santo) em ambiente marinho transgressivo constituído por pelitos com arenitos finos intercalados. Logo depois, mais exatamente durante o Eoceno, a bacia entra em uma fase marinha regressiva caracterizada por um sistema de leques aluviais e carbonatos de plataforma e folhelhos batiais.

Durante o Mioceno ocorre o último esfriamento térmico ocasionado pelo afastamento da bacia em relação à dorsal. Os evaporitos formam domos cada vez

maiores que, eventualmente, atingem a superfície sendo diluídos ou cobertos por camadas de sedimentos. Há vários exemplos de sedimentos aprisionados por estes enormes domos paralelos à costa.

Existem diversas formações na bacia do Jequitinhonha (ver figuras 8, 9 e 10), por exemplo, temos a Formação de Urucutuca, Rio Doce, Caravelas, São Matheus, Regência, Mariricu, Barreiras, Itaunas, Mucuri e Abrolhos (misto sedimentar e vulcânico).

A Formação Regência é constituída por rochas calcárias de alta e baixa energia depositadas em porções marítimas distantes da costa.

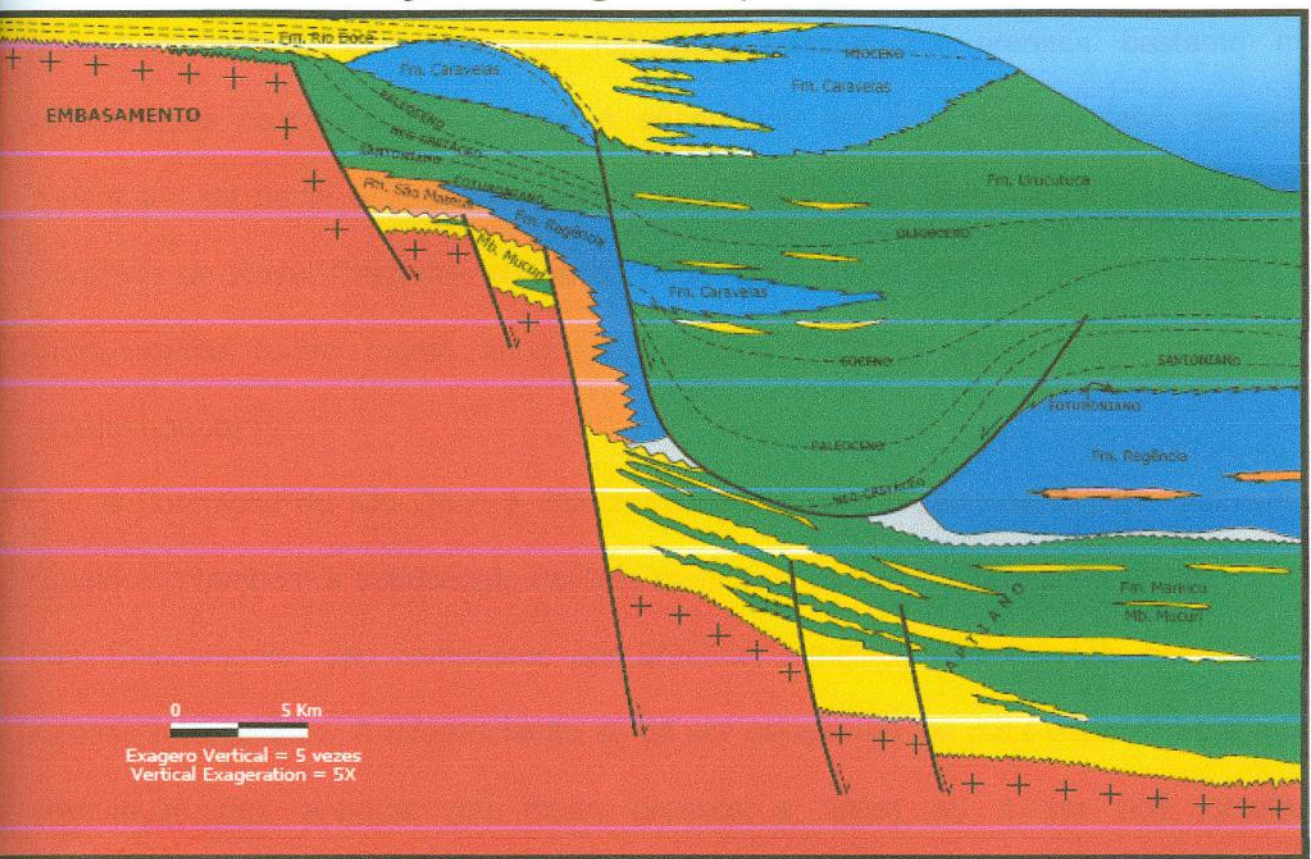


Figura 8: Seção geológica da bacia de Jequitinhonha. Note a posição relativa das formações. (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006. Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

A Formação Caravelas é caracterizada principalmente por calcários (calcário biomicríticos e micríticos argilosos) intercalados por algumas camadas de folhelhos e arenitos. Esta formação é subdividida em três membros. O Membro Caraúna é marcado por intercalações de calcários bastante argilosos e folhelhos calcíferos. Já o Membro Carapitanga é composto por micritos argilosos intercalados por arenitos e folhelhos. Por último, no Membro Caranha têm-se biomicritos e bioesparitos também intercalados por folhelhos e arenitos. Esta formação possui fronteiras interdigitadas com a Formação Urucutuca e Rio Doce, além de atingir profundidades maiores que 2500 m na área do semi-gráben de Cumuruxatiba.

A Formação Urucutuca possui uma matriz argilosa com sua litologia predominantemente composta por folhelhos, também há arenitos bastante mal selecionados nesta formação. Nela é encontrada em uma extensa faixa da parte continental da bacia e sua espessura é bastante diversa: ausente na região do alto vulcânico de Royal Charlotte, chega a atingir expressivos 3000 m no semi-gráben de Cumuruxatiba (outro marco importante são os 1400 m atingidos no gráben de Jequitinhonha).

A Formação de Rio Doce é caracterizada por uma predominância de sedimentos clásticos e também é subdividida em três membros: Piraúna, Pirapitanga e Piranha. Os três, basicamente, são compostos por arenitos, folhelhos e ocasionais camadas de calcário intercaladas. A diferenciação se dá por características mais específicas como a granulação dos arenitos (de muito grossos a finos) ou a cor dos folhelhos (esbranquiçados a negros). A espessura desta formação também é variada, sendo estreita (~ 100 m) na linha da costa à exceção do baixo de Mucuri onde chega a atingir profundidades maiores que 500 m. Por outro lado, alcança suas maiores profundidades na região do semi-gráben de Cumuruxatiba (~ 1000 m).

Carta Estratigráfica da Bacia de Jequitinhonha

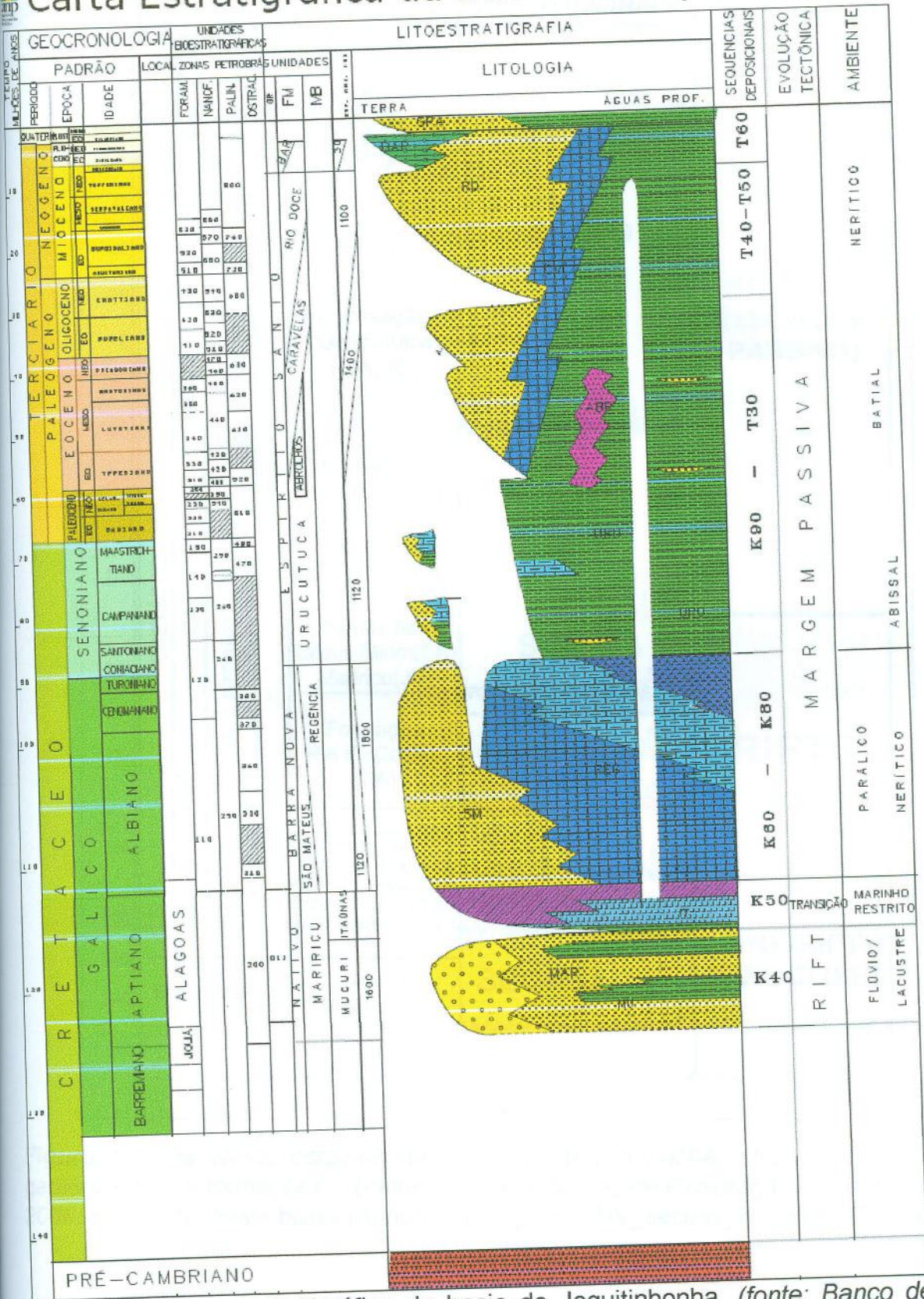


Figura 9: Carta estratigráfica da bacia de Jequitinhonha. (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006. Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

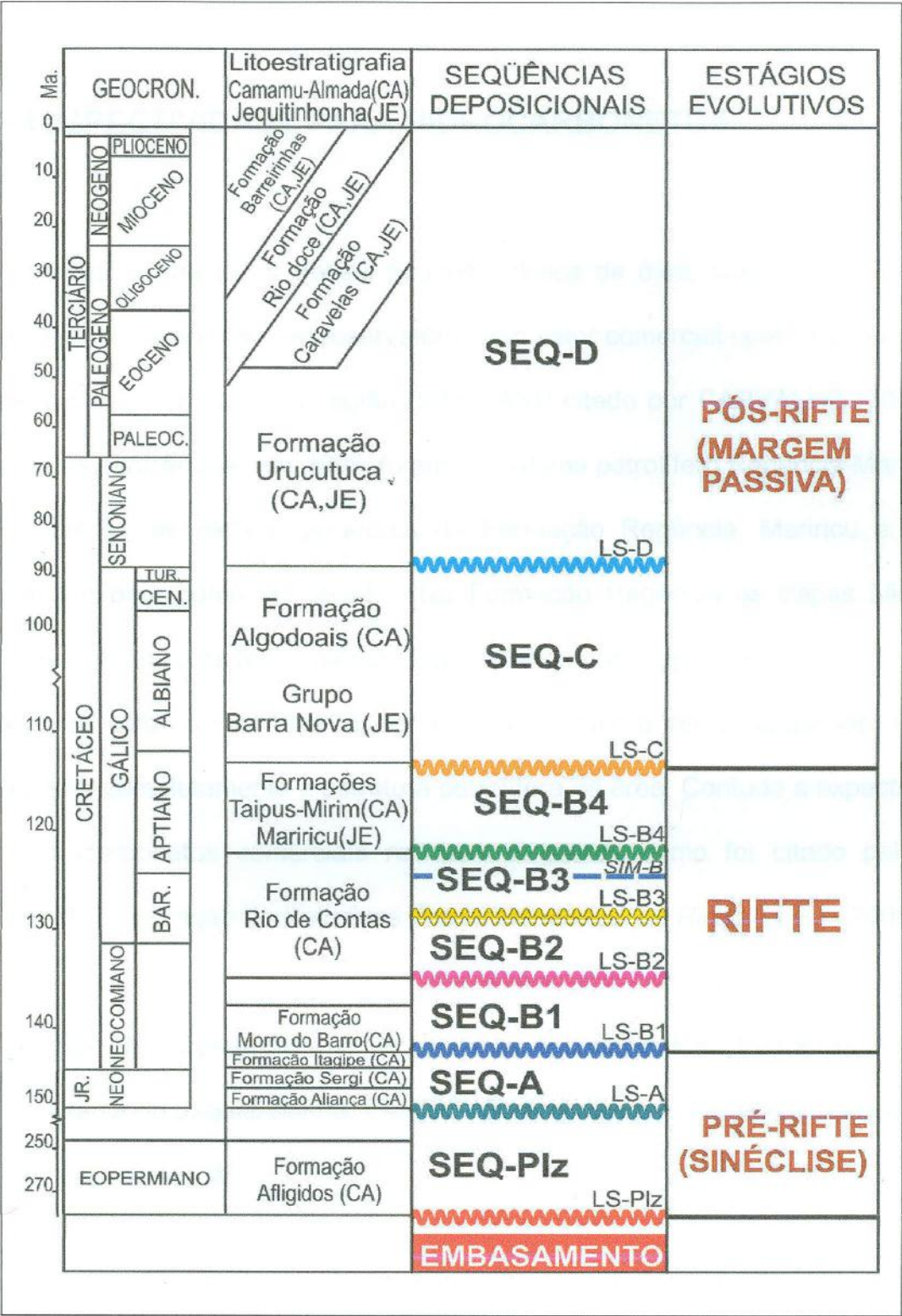


Figura 10: Os vários estágios da bacia de Jequitinhonha, seus respectivos tempos geológicos e as formações. . (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006. Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

2.3 PROSPECTIVIDADE PARA HIDROCARBONETOS

A porção sul da bacia possui poucos indícios de óleo, contudo na Formação de Regência já foi encontrado um reservatório sem valor comercial com óleo leve ($API > 39^\circ$) e existe um poço produtor na região (fonte: ANP citado por CARVALHO, 2005), sendo que todas as ocorrências, até 2005, foram no sistema petrolífero Regência-Mariricu(!).

Em média, as rochas geradoras da Formação Regência, Mariricu e Urucutuca possuem um bom potencial gerador. Na Formação Regência as trapas são, em sua maioria, estruturais e os reservatórios estão selados por evaporitos.

A parca extensão da base dados é um obstáculo a ser ultrapassado a fim de se compreender completamente a estrutura petrolífera da área. Contudo a expectativa de se achar hidrocarbonetos comerciais na área é grande como foi citado pelo Gerente Executivo de Exploração da Petrobras, Paulo Mendonça, na *Rio Oil & Gás 2006*:

“[...] Não se surpreendam se as próximas descobertas da Petrobras ocorrerem na Bacia do Jequitinhonha. Elas só não aconteceram até agora porque ainda não perfuramos lá”

3 Bacia de Cumuruxatiba

3.1 Geologia estrutural da Bacia de Cumuruxatiba

O arcabouço estrutural da bacia é composto por cinco compartimentos identificados em uma análise regional de sua porção marítima, com base em dados de sísmica de reflexão e poços (SANTOS & GONTIJO, 1992), a saber: Embasamento Raso, Patamar da Anidrita, Degrau Interno, Baixo Sul e Baixo Norte. Os limites destes compartimentos são formados por falhamentos associados a linhas de charneira que serviram para a deposição das seções sedimentares encontradas (SANTOS & GONTIJO, 1992).

A região do embasamento raso situa-se na parte terrestre e na porção marinha próxima à costa, encontrando-se intensamente estruturada, de acordo com a análise de linhas sísmicas situadas sobre este compartimento. O embasamento é recoberto por sedimentos terciários, com espessuras não superiores a 1.000 m (SANTOS & GONTIJO, 1992).

O patamar da Anidrita situa-se na porção centro-oeste da bacia, caracterizando-se por uma feição homoclinal, com mergulho suave para leste, onde a espessura sedimentar varia de 750 m a 1.900 m. É identificado sismicamente através de um refletor de baixa frequência, alta amplitude e boa continuidade lateral. Registra a presença de seção Aptiana, onde ocorrem *onlaps* dos sedimentos proximais albo-cenomanianos (SANTOS & GONTIJO, 1992).

Em direção às porções mais profundas da bacia, encontra-se a região do Degrau Interno, que, em relação ao embasamento raso e ao patamar da Anidrita, se caracteriza por um bloco abatido por falha normal em direção ao depocentro da bacia. A tectônica dominante está representada por uma série de falhamentos escalonados ancorados no

embasamento em profundidades entre 2.200 a 4.200 m, e apresenta raros falhamentos lístricos, estando bem evidentes os lineamentos transversais provenientes de reativações de estruturas Brasileiras (falha de Porto Seguro e falha de Itaquena). Nesta porção da bacia, desenvolveu-se uma expressiva plataforma carbonática albiada (SANTOS & GONTIJO, 1992).

Nas porções mais distais encontram-se os baixos Sul e Norte, onde a coluna estratigráfica é a mais completa da bacia, chegando a 10.000 m de espessura sedimentar (de acordo com estimativas feitas a partir de seções sísmicas). A área do Baixo Sul é rica em estruturas originadas por halocinese, devido ao basculamento da bacia, originando uma série de domos de sal. Também é reportada a existência de argilocinese, provocada pela sobrecarga de derrames vulcânicos da Formação Abrolhos sobre pelitos da Formação Urucutuca (SANTOS & GONTIJO, 1992). O lineamento que limita a oeste este baixo com o Degrau Interno atuou como charneira para os sedimentos depositados entre o Aptiano e o Maastrichiano (SANTOS & GONTIJO, 1992).

De grande importância é a ocorrência de uma falha transcorrente que corta a bacia na direção NW-SE, denominada Faixa de Cisalhamento ou falha de Porto Seguro, apresentando largura variando de 5 a 9 km. Esta falha separa o baixo Norte do baixo Sul, sendo bem correlacionada em terra com a faixa de cisalhamento que separa o Cráton do São Francisco do Cinturão de Dobramentos Araçuaí (Idade Brasileira). A expressão sísmica desta falha mostra que, desde o embasamento, sedimentos de idade albiada-cenomaniana ou até mesmo do Terciário inferior são afetados. Possui ainda uma configuração de flor positiva, o que denota a ocorrência de possíveis esforços transpressivos durante a evolução da bacia (SANTOS & GONTIJO, 1992). É comum na margem continental leste brasileira a presença de lineamentos com características e direção NW-SE, como, por exemplo, os lineamentos de Cabo Frio e Colatina (DPC &

ASSOC., 2000). Alguns dos campos gigantes de petróleo da bacia de Campos podem estar associados a lineamentos desta natureza, o que torna sua presença de grande importância exploratória.

A falha de Itaquena, também observada na porção *offshore*, apresenta praticamente a mesma direção da falha de Porto Seguro e aparece nos mapas gravimétricos como um alinhamento bastante evidente, de acordo com SANTOS & GONTIJO (1992). CUNHA (1985, citado por SANTOS & GONTIJO, 1992) diz ainda que deslocamentos mapeados através de altos gravimétricos na região marinha podem ser resultado de esforços tangenciais sinistrais que atuaram ao longo desta falha.

A deformação dos sedimentos da fase Rifte, pouco definida sismicamente, é representada por blocos falhados (*horsts* e *grábens*). Já nas fases evaporítica e marinha, a estruturação sofre influência da tectônica gravitacional, associada ao fluxo de sal, causando falhamentos lítricos e *rollovers* associados.

3.2 Geologia estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba

À semelhança de outras bacias da margem leste brasileira, a evolução tectono-sedimentar da bacia de Cumuruxatiba contempla três fases distintas (Figura 11). A nomenclatura utilizada nas unidades estratigráficas obedece às definições anteriormente feitas por CARVALHO & GARRIDO (1965), citado por SANTOS *et al.* (1994) e ASMUS *et al.* (1971), além da inserção do Grupo Cumuruxatiba por SANTOS & GONTIJO (1992), referente a uma seção clástica eocretácea ainda não constatada nas bacias adjacentes.

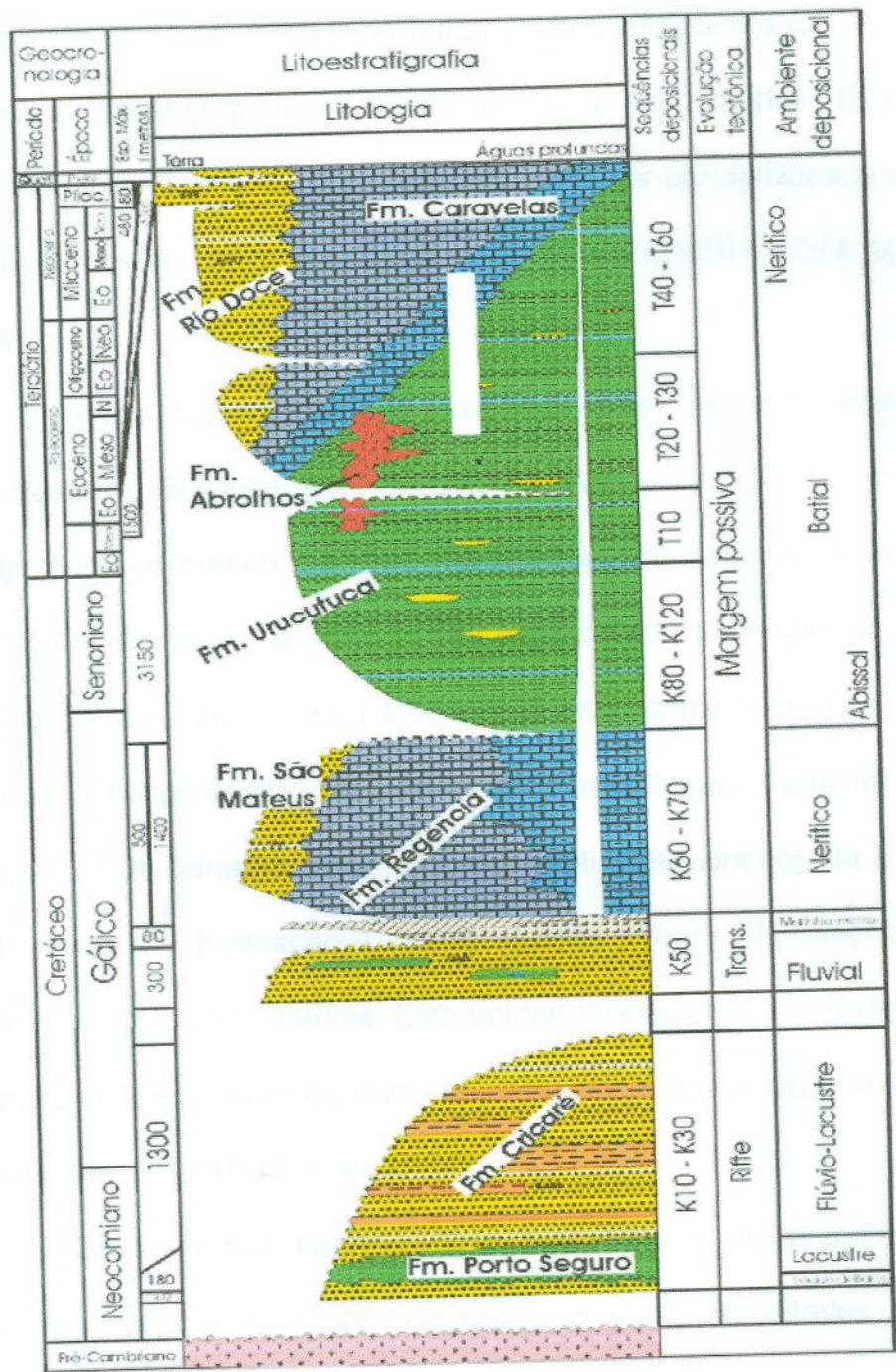


Figura 11: Carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba. (Fonte: Boletim de Geociências da Petrobras, numero 1, volume 8, 1994).

A fase Rife (neocomiano – eoaptiano) é composta pelo Grupo Cumuruxatiba e parte do Grupo Nativo, onde o primeiro foi proposto para designar rochas estratigraficamente

abaixo da Formação Cricaré, constatadas por SANTOS *et al.* (1994) em quatro poços na parte norte da bacia. A idade atribuída a estes sedimentos foi Rio da Serra, com base em datações bioestratigráficas de ostracodes e palinomorfos. E, por razão da falta de conteúdo fossilífero, esta Formação não pôde ser correlacionada com o Andar Dom João das bacias do Recôncavo e Camamu-Almada (PEREIRA, 1974, apud por SANTOS *et al.*, 1994).

O Grupo Cumuruxatiba é composto pela Formação Monte Pascoal (ambiente siliciclástico fan-deltaico), constituída essencialmente por arcóseo médio a conglomerático branco e cinza. Intercalados aos arenitos, ocorrem delgados níveis de folhelho cinza-escuro e preto e de conglomerado vermelho, com matriz arenosa muito fina. O contato inferior desta formação é discordante sobre o embasamento e o contato superior é concordante com a Formação Porto Seguro (lacustre), que se caracteriza por um pacote de folhelho cinza escuro a preto. Os contatos da Formação Porto Seguro, tanto superior (Formação Cricaré) quanto inferior (Formação Monte Pascoal), são aparentemente concordantes. Esta unidade representa a deposição de um lago de água doce/salobra e apresenta fósseis de ostracodes, que permitiram conferir a ela uma idade Rio da Serra (SANTOS *et al.*, 1994).

O Grupo Nativo pertencente à fase Rifte e inclui a Formação Cricaré (fluvio-lacustre), caracterizada por clásticos grosseiros depositados entre as idades Rio da Serra e Jequiá.

A fase evaporítica (Aptiano) é composta pela Formação Mariricu, que também faz parte do Grupo Nativo. Nesta Formação dois Membros são diferenciados: o Membro Mucuri, formado por clásticos grosseiros e finos flúvio-lacustres de idade Alagoas, e o Membro Itaúnas, caracterizado por evaporitos com idade neoalagoas, representando um ambiente marinho de circulação restrita (SANTOS *et al.*, 1994). O limite superior da

seqüência é uma discordância situada no topo da seção evaporítica, evidenciada por *onlap* da plataforma carbonática albiana sobre uma espessa camada de anidrita (GONTIJO, 1996).

A fase Drifte ou de deriva continental (Albiano recente) é composta por dois grupos: Barra Nova e Espírito Santo. O Grupo Barra Nova (Albiano – Cenomaniano), depositado em ambiente nerítico, inclui a Formação São Mateus (siliciclástico marinho), representada por clásticos grosseiros depositados em leques deltaicos, registrando o início da fase transgressiva, e também a Formação Regência, que reúne carbonatos de alta e baixa energia. Esse pacote é recoberto por sedimentos siliciclásticos marinhos (espessos pelitos e arenitos finos), neocretáceos e terciários, depositados em ambiente de água profunda, da Formação Urucutuca, já pertencente ao Grupo Espírito Santo. Além desta formação, o Grupo Espírito Santo compreende duas outras: Formação Rio Doce, apresentando arenitos grosseiros de leques costeiros terciários, e Formação Caravelas, com carbonatos terciários neríticos de alta e baixa energia. Na parte terrestre da bacia, a Formação Barreiras é constituída por cobertura clástica neocenozóica. O limite inferior das formações Rio Doce e Caravelas (discordância erosiva) marca a passagem entre a fase marinha transgressiva e a fase marinha regressiva na bacia.

Durante o Paleoceno/Eoceno, a bacia foi palco de intensa atividade tectônica e vulcânica, com uma associação litológica complexa, englobando rochas ígneo-básicas (composição toleítica a alcalina, conforme, MIZUSAKI, 1994). As datações realizadas em amostras destas rochas, utilizando o método K/Ar, compreendem o intervalo entre 37 e 59 Ma, interpretado como o período de maior atividade vulcânica reconhecida na região do Complexo de Abrolhos e áreas adjacentes (MIZUSAKI, 1994). Este vulcanismo alterna períodos de atividade subaquosa com períodos de vulcanismo subaéreo, possuindo maior ou menor intercalação com sedimentos siliciclásticos da Formação Abrolhos. São

reportadas reativações de falhas normais e inversas, devido à sobrecarga deste complexo vulcânico.

SZATIMARI & MOHRIAK (1994, citado por CONCEIÇÃO, 1994, citado por GONTIJO, 1996) propõem um modelo cinemático no qual o tectonismo eocênico foi atribuído a esforços compressivos entre a cadeia meso-oceânica e a subducção andina. Segundo esta hipótese, lineamentos do embasamento proterozóico de direção ENE foram reativados, originando feições transtensivas e transpressivas, potencialmente formadoras de bacias sedimentares do tipo Rife intracontinentais, tais como Resende, Taubaté e São Paulo, e possivelmente causadoras do surgimento das serras do Mar e da Mantiqueira. O caráter transtensivo desta reativação contribuiu para a formação de dutos para o magmatismo de Abrolhos (GONTIJO, 1996).

Foram identificadas na carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba as cinco megassequências revisadas por HONG *et al.* (1990b). A seqüência sinrife I não foi identificada em razão da ausência de conteúdo fóssilífero que a caracterizasse como tendo idade Dom João.

A bacia sedimentar de Cumuruxatiba está associada a quatro tipos de plays: Turbiditos da Formação Urucutuca de idade Terciário de águas rasas ou profundas em calhas deposicionais ou flanco de sal; Turbiditos da Formação Urucutuca de idade neocretáceo com batimetria superior a 100 metros, com estruturas associada a halocinese; Reservatório do Grupo Barra Nova (Arenitos da Formação São Mateus e calcarenito da Formação Regência) de idade Albiano-Cenomaniano com estruturas formadas por falhas lítricas associadas à halocinese; arenitos da Formação Cricaré do Rife em trapas estruturais.

3.3 Sistema petrolífero

A Bacia de Cumuruxatiba possui acumulações de óleo e gás provenientes de dois sistemas petrolíferos distintos: Cricaré – Cricaré (!) e Regência – Urucutuca (!) (DPC & ASSOC, 2000).

Sistema Petrolífero Cricaré – Cricaré (!)

O sistema Cricaré – Cricaré (!) inclui os folhelhos de idade Neocomiana da Formação Cricaré como rocha geradora, depositados em ambiente lacustre, e os arenitos fluviolacustres da mesma Formação Cricaré como reservatório (Figura 16).

Uma ocorrência de óleo relacionada a este sistema petrolífero está representada pelo poço 1-BAS-48 (subcomercial). Segundo os estudos realizados até o momento, este sistema petrolífero parece estar restrito à parte norte da bacia (DPC & ASSOC., 2000).

Rocha Geradora e Ocorrências de Hidrocarbonetos

A rocha geradora associada à Formação Cricaré é representada por um pacote espesso, chegando até 500 metros, de folhelhos escuros com alto teor de COT (Carbono Orgânico Total), variando, na maioria das vezes, de 2% a 6%, e com índices de hidrogênio de até 900 mgHC/gCOT. Dados de petrografia orgânica revelaram o domínio de matéria orgânica amorfa, que, juntamente com o índice de hidrogênio, indicam que esta rocha geradora é composta por querogênio Tipo I (GLAGLIANONE *et al.*, 1987). Esta rocha geradora somente foi amostrada, com espessura significativa, por poucos poços na parte norte da bacia (e.g., 1- BAS-18A).

GLAGLIANONE *et al.* (1987) caracterizaram a acumulação do 1-BAS-48 como um óleo com alto conteúdo de saturados (65%) e grau API 29°. Esta configuração geoquímica mostra uma boa correlação com os extratos orgânicos dos folhelhos

lacustrinos da Formação Cricaré. Estes dados, corroborados com parâmetros de maturidade de biomarcadores, mostram um grau de evolução térmica moderado (DPC & ASSOC., 2000).

Rocha Reservatório, Selo e Trapa

Os reservatórios relacionados a esta acumulação são os arenitos fluviais neocomianos da Formação Cricaré. O mecanismo de trapeamento é essencialmente estrutural, associada a falhas normais com blocos escalonados e anticlinais formados por compactação diferencial, e as rochas selantes são os folhelhos lacustrinos pertencentes a esta mesma formação (Figura 12).

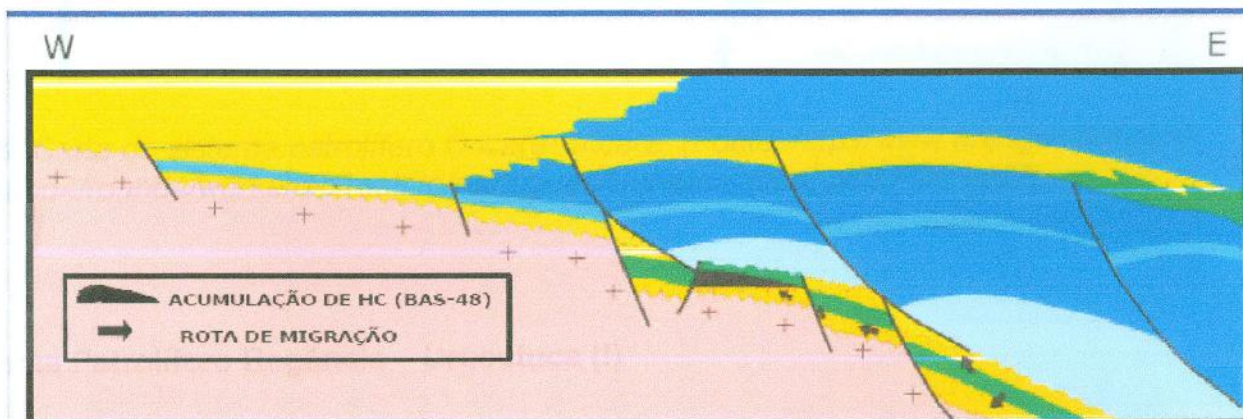


Figura 12: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF).

Geração e Migração

A integração de dados de reflectância de vitrinita providas de diversos poços (GLAGLIANONE *et al.*, 1987) indica que o topo da janela de óleo na Bacia de Cumuruxatiba varia de 1.500 metros, perto da linha de charneira cretácea, até mais de 3000 metros, na parte oceânica distal. Com isto, na parte norte da bacia, as rochas geradoras atingiram o estágio de evolução termal maduro (porção distal da plataforma),

enquanto, na parte centro-sul, estas rochas estão bastante soterradas e provavelmente atingiram o estado sobrematuro. A migração deve ter sido facilitada por contatos laterais e através de falhas Riftes (DPC & ASSOC., 2000).

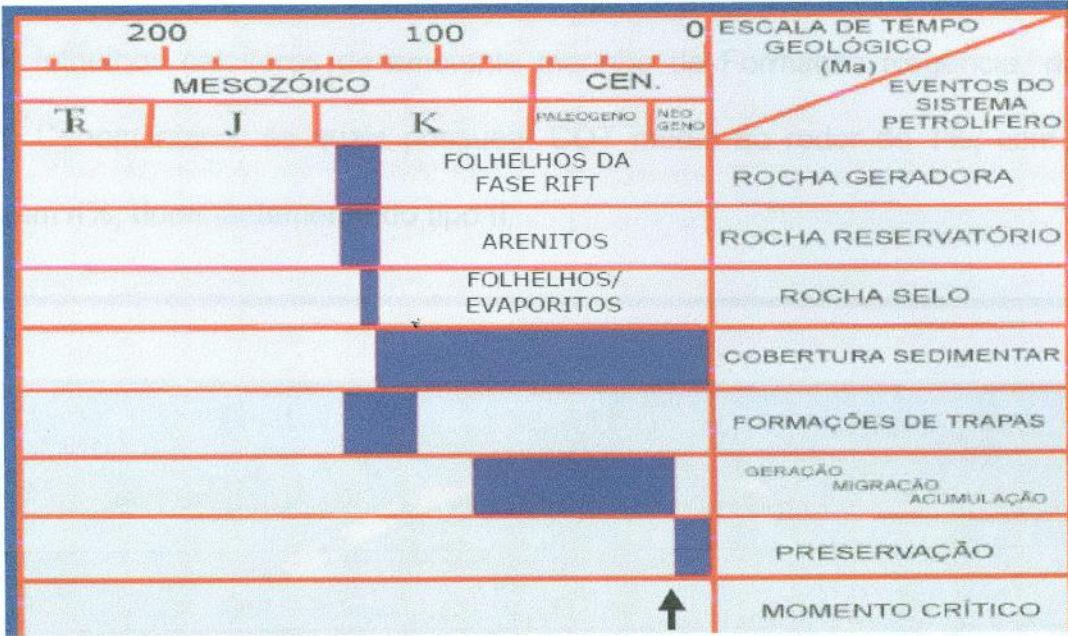


Figura 13: Carta do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-lands/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF ANP).

Sistema Petrolífero Regência – Urucutuca (!)

O sistema Regência – Urucutuca (!) inclui as rochas geradoras formadas por margas e folhelhos calcíferos de ambiente marinho da Formação Regência, que possui idade albiana a cenomaniana, e os reservatórios turbidíticos da Formação Urucutuca, datada do Paleoceno. A ocorrência deste sistema é comprovada pela acumulação do Campo de Arraia, descoberto pelo poço 1-BAS-11, e pela área do 1-BAS-104 (Figura 14). A ocorrência deste sistema petrolífero está restrita, com os estudos realizados até o momento, à porção sul da bacia (DPC & ASSOC., 2000).

Rochas Geradoras

As rochas geradoras mais importantes, em termos de volume gerado, são as margas e folhelhos calcíferos de ambiente marinho da Formação Regência, de idade Albiana a Cenomaniana, as quais possuem COT médio ao redor de 1%, com valores máximos em 4%, predominantemente do tipo II.

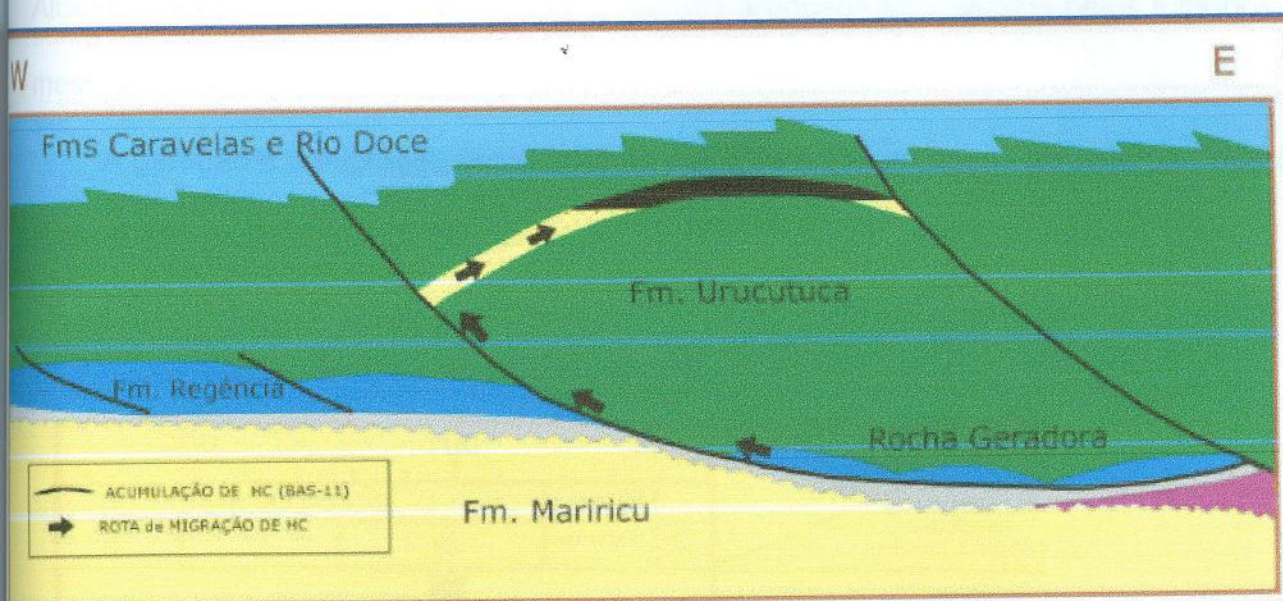


Figura 14: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Regência-Urucutuca. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF.)

Rocha Reservatório, Selo e Trapa

Os principais reservatórios deste sistema petrolífero são os turbiditos da Formação Urucutuca (fase Drifte) com porosidade variando de 20 a 25 % e permeabilidade de 10 a 200 mD, depositados desde o neocretáceo até o mesoterciário (Figura 14). Os selos para os reservatórios da Formação Urucutuca são os próprios folhelhos desta formação intercalados aos arenitos turbidíticos. Na acumulação do Campo de Arraia, os hidrocarbonetos são trapeados essencialmente por mecanismos estruturais (halocinese e

fechamento associado às falhas lístricas), mas também podem estar associados ao mecanismo estratigráfico (*pinch out* contra flanco de domo de sal e preenchimento de canais e lobos turbidíticos).

Além destes, os arenitos das formações Mariricu e Cricaré (Aptiano) são também considerados objetivos exploratórios. Constituem reservatórios secundários os arenitos da Formação São Mateus e os calcarenitos da Formação Regência (Grupo Barra Nova – Albiano). Na Formação Cricaré, os reservatórios arenosos são selados pelos folhehos da mesma formação.

A geração e a migração deste sistema petrolífero são análogas ao sistema Cricaré – Cricaré (!).

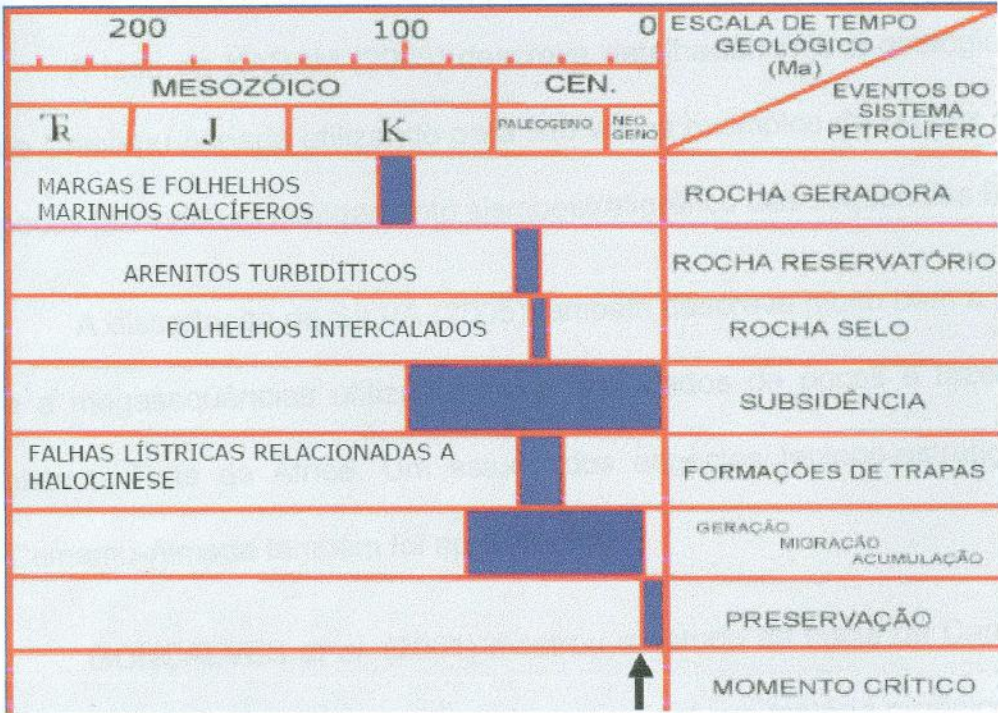


Figura 15: Carta do sistema petrolífero Regência-Urucutuca. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF)

4 MÉTODO

Para escrever esta monografia foram pesquisados os trabalhos de NETTO *et al.* (1991 e 1994) tornou-se uma grande referência no estudo da bacia de Camamu-Almada visto que os outros autores citam os trabalhos deles. NETTO *et al.* (1994) descreveram a geologia estrutural e estratigráfica fornecendo as respectivas cartas estratigráficas utilizando dados de poços. NETTO & SANCHES (1991) descreve a geologia histórica da bacia do Almada, o arcabouço estrutural apresentando seções geológicas da mesma. Apresenta a estratigrafia em mapas geológicos e carta estratigráfica (Figura 6). E mostra um roteiro passo-a-passo para quem quiser conhecer a bacia do Almada.

O Livro de BIZZI *et al.*, 2003 da CPRM traz uma descrição geológica das bacias litorâneas brasileiras inclusive as de Camamu-Almada.

A tese de KARAM (2005) descreve detalhadamente a geologia estrutural da bacia de Camamu-Almada utilizando para isto vários exemplos de seções sísmicas e dados de poços fazendo um mapeamento sismoestratigráfico das seqüências Rifte.

A dissertação de SILVA (2005) também descreve muito bem a geologia desta bacia e a megaseqüências utilizando para isso dados de poços e fazendo analogia com o sistema Rifte da África. Um estudo dos aspectos tectono-estratigráficos da bacia da Camamu-Almada também foi apresentado.

GONÇALVES *et al.* (2001) mostrou o estudo da bacia de Camamu-Almada voltada para a deposição dos sedimentos lacustre ricos em matéria orgânica que deram origem a rocha geradora de hidrocarbonetos propondo modelos de formação de rochas geradoras lacustres. Para tanto, fez uso de parâmetros geoquímicos e geológicos para reconstrução da evolução paleoambiental dessas bacias.

LIMA *et al.* (2003) também descrevem a geologia estrutural da bacia de Camamu e fizeram um estudo fossilífero da mesma.

MILANI *et al.* (2000) apresentam o potencial petrolífero das bacias litorâneas brasileiras dentre as quais estão as bacias de Camamu-Almada e a evolução tectono-sedimentar.

A apostila de CASTRO (2004) apresenta um resumo da geologia das principais bacias brasileiras e seu potencial petrolífero.

PETRI (1983) faz uma descrição detalhada sobre as formações da Bacia Jequitinhonha e, portanto, contribuiu para uma descrição estrutural e geológica mais específica.

SANTOS (1994) descreve as extensões desta bacia e comenta algumas formações, enriquecendo o texto.

A tese de CASTILHO (2005) realiza um estudo sobre a bacia de Jequitinhonha e suas megasequências além de tecer comentários sobre o potencial petrolífero da área.

KÜNCHLE (2005) forneceu informações sobre as fases evolutivas de Jequitinhonha além de uma discussão sobre a mesma.

5. MÉTODO GRAVIMÉTRICO

5.1.Introdução do Método Gravimétrico

A partir dos princípios de Isaac Newton sobre a lei da gravidade, outros cientistas começaram a analisar os fenômenos gravitacionais que ocorriam no nosso planeta. Os conhecimentos já existentes sobre o efeito da altitude e latitude nos movimentos pendulares ficaram facilmente explicáveis, utilizando-se os princípios newtonianos. Notou-se, porém, que não era só o afastamento em relação ao centro de gravidade terrestre que afetava as medições. Havia a influência da densidade das rochas presentes nas áreas de investigação, que modificavam as oscilações pendulares. O efeito das rochas sobre a gravidade variava de acordo com a sua natureza: as rochas ígneas de alta densidade apresentavam anomalias positivas; as rochas sedimentares de baixa densidade provocavam anomalias negativas sobre os valores esperados.

Geralmente, as influências das rochas que perturbavam os cientistas localizavam-se, invisíveis, no subsolo. Era fundamental conhecer-se a geologia ou, pelo caminho inverso, com as anomalias de gravidade podia-se inferir a geologia. Tal idéia foi estabelecida por um francês, Pierre Bouguer que, após uma expedição científica aos Andes do Peru em 1749, criou os princípios básicos da gravimetria.

O uso da gravimetria na exploração para petróleo foi feito inicialmente na Europa, mais propriamente na Hungria e na antiga Tcheco-Eslováquia na primeira década século XX, principalmente com o objetivo de identificar domos salinos que pudessem estar associados a acumulações de petróleo. O primeiro campo descoberto através do uso da gravimetria foi o de Egbeil na Bacia de Viena, entre 1915 e 1916. Nos Estados Unidos, a gravimetria só fez a sua estréia, experimentalmente, em 1922, na região do Golfo do México e, em 1924, foi responsável pela descoberta de um campo petrolífero no Texas, também associado ao domo de sal. Após os resultados favoráveis iniciais, a gravimetria passou a ser utilizada intensivamente, sendo responsável por um grande número de descobertas de petróleo em todo o mundo.

5.2-Fundamentos

A força que atrai todos os corpos para a Terra é o campo de gravidade, que é um exemplo do fenômeno generalizado de atração entre as massas. A lei de Newton descreve que a força de atração entre dois pontos de massas, m_1 e m_2 separados por " r " é:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (5.1)$$

A força por unidade de massa, F/M_2 define o campo gravitacional, que é a aceleração gravitacional, g , quando M_1 é a massa da Terra e r é o raio da Terra, R_t . A constante gravitacional G é: $6,67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

$$g = \frac{F}{M_2} = \frac{GM_T}{r^2} \quad (5.2)$$

A aceleração gravitacional no equador é em torno de $9,8 \text{ (m s}^{-2}\text{)}$ ou 980 cm s^{-2} (Em quase todos resultados de prospecção gravitacional são apresentados em unidade c.g.s ao invés da unidade S.I). Em c.g.s a unidade de aceleração ($1,0 \text{ cm s}^{-2}$) é chamada de gal (abreviação de Gallileo). A subunidade convencional para as prospecções é o miligal, mgal, $10^{-3} \text{ cm s}^{-2}$. Outra unidade que tem sido utilizada é a unidade gravitacional, gu, que é definido como 10^{-6} m s^{-2} ou 0,1 mgal.

Usando medidas experimentais de G, g e do raio da Terra, consegue-se estabelecer a massa da Terra como $5,976 \times 10^{24} \text{ kg}$.

A Terra não é uma esfera perfeita e é muito parecida com a forma que um fluido girando teria. Devido a rotação, a Terra é achatada. Alguma seção ao longo do eixo de rotação é uma elipse, onde o eixo menor é o diâmetro polar e o eixo maior é o diâmetro equatorial. Devido ao achatamento da Terra, a força e a aceleração exercidas sobre o corpo variam ao longo da superfície. Ambas crescem a partir do equador, em direção aos pólos, a variação da aceleração causada pela variação do raio é cerca de $1,6 \text{ cm/s}^2$. O achatamento é descrito pelo seguinte parâmetro:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (5.3)$$

Onde “a” é o raio equatorial (6 378 137 m) e “b” o raio polar (6 356 752 m) da Terra.

Medidas de f são feitas geodesicamente, que é medido através da variação do comprimento da superfície com o grau de latitude. Medidas mais precisas são feitas utilizando satélites.

As medidas de aceleração gravitacional são realizadas de duas maneiras, quais sejam:

- Gravidade Absoluta, onde a medida é realizada sob condições de laboratório, usando experimentos que utilizam dois métodos possíveis: corpo em queda e pêndulo. Esta medida é utilizada para fornecer valores absolutos da aceleração da gravidade (g) como padrões nacionais;
- Gravidade Relativa, na maioria das aplicações baseadas neste método, somente a variação da gravidade relativa a uma estação principal é necessária. As medidas são gravadas em estações secundárias, para que as diferenças relativas sejam bem conhecidas.

5.2.1- Campo Gravitacional Terrestre

Segundo Kellogg em 1954, todos os corpos esféricos completamente homogêneos do ponto de vista da densidade ou formados por camadas esféricas homogêneas exercem atração equivalente a que seria exercida se toda a sua massa estivesse concentrada no seu centro. Com isso, a massa da Terra pode ser tomada como se estivesse concentrada no seu centro, nos estudos de atração de massas. Portanto, os corpos submetidos às proximidades da superfície terrestre são atraídos com uma aceleração:

$$a = \frac{GM}{r^2} \quad (5.4)$$

Como a distribuição de densidade no interior da Terra não é perfeitamente homogênea, é mais preciso substituir a equação acima por :

$$a = G \int_V \frac{dM}{r^2} \quad (5.5)$$

Estando perfeitamente de acordo com a lei da atração para corpos de grandes dimensões.

A Terra está sujeita a uma força centrífuga devido ao seu movimento de rotação e ao referencial de observação. Esta força depende do raio de rotação “l” e da velocidade angular de rotação “w”. A aceleração centrífuga associada a esta força é:

$$a_c = w^2 l \quad (5.6)$$

Um corpo situado na superfície da Terra está sujeito às acelerações de atração e centrífuga. Sendo que elas têm sentidos contrários, enquanto a atração é orientada para o centro da Terra, a centrífuga é para fora. Sabendo que a intensidade de atração é muito maior que a centrífuga, o corpo é atraído para o centro da Terra com uma aceleração resultante denominada de gravidade, cuja intensidade é:

$$g = G \int_V \frac{dM}{r^2} - w^2 l \cos(\lambda) \quad (5.7)$$

As atrações lunar e solar também influenciam na variação do valor da gravidade terrestre, porém, seu efeito é pequeno e periódico.

5.3- Densidade das Rochas

As anomalias observadas nos levantamentos de prospecção gravimétricos estão ligadas às variações laterais da densidade dentro do ambiente geológico.

Como cada tipo de rocha ou de depósito mineral não é caracterizado por um único valor de densidade, mas por faixa de valores, que, apesar de pequenas, superpõe-se, tornando-se difícil identificar as rochas ou os depósitos minerais. Por isso, o método gravimétrico é ambíguo.

Apesar da superposição nos valores de densidade, considerando valores médios, observa-se que, como regra geral, as rochas ígneas e metamórficas são mais densas do que as sedimentares.

5.4- Contribuição dos materiais para o valor da gravidade

O valor da gravidade é influenciado por todos os materiais da Terra. A menor parte da contribuição, é dada pelos materiais da crosta . A maior contribuição vem do núcleo e do manto, com isso deve-se

retirar o efeito (regional) destes na interpretação, pois a prospecção mineral e petrolífera só está interessada nas anomalias da crosta.

É necessário que os instrumentos utilizados nos levantamentos de prospecção tenham sensibilidades de pelo menos 0,1 mGal, pois as estruturas e corpos geológicos, objetivos da prospecção gravimétrica, produzem variações nos valores de “g” da ordem 0,001%. Na prospecção de petróleo, as anomalias estão em volta de 10 mGal, enquanto que os corpos de minério raramente produzem anomalias superiores a 5 mGal.

5.5-Correção dos dados gravimétricos

Observando-se a equação (5.7) percebe-se que o valor da gravidade terrestre varia com a quantidade de massa que existe até o centro da Terra (relacionada à topografia: maior quantidade de massa nas elevações), com a latitude, com a distância até o centro da Terra (relacionado às elevações). E ainda devido ao efeito da atração lunar e solar (efeito de marés). Uma variação adicional é introduzida pelos instrumentos de medida, a qual é inerente ao seu funcionamento (efeito instrumental). Com isso, os valores de gravidade não podem ser diretamente comparados logo após sua observação, quando a finalidade for identificar anomalias de densidade. Pode-se, porém, com precisão remover a maior parte dos fatores que mascaram as anomalias gravimétricas de interesse para a prospecção geológica.

Nota-se, entretanto que, mesmo após as correções, os valores da gravidade apresentam algumas variações quando comparadas ponto a ponto. Estas variações estão relacionadas à distribuição irregular da densidade na subsuperfície, devido à presença de estruturas geológicas de várias amplitudes, como armadilhas estruturais de hidrocarbonetos, concentrações de minerais-minério e intrusões.

5.5.1-Correção de latitude

O valor da gravidade normal diminui à medida que nos afastamos dos pólos em direção ao equador, ao longo dos meridianos. Com isso, valores obtidos em latitudes diferentes não podem ser comparados, sem que antes sejam corrigidos. Esta correção se faz necessária porque a Terra não possui uma forma esférica perfeita. Sua forma resulta de um balanço entre a força gravitacional, que tende a mantê-la na forma esférica, e a força centrífuga, causada pela rotação da Terra, que tende a achatá-la. A fórmula mais utilizada para o cálculo do valor teórico da gravidade é:

$$\Delta g_{lat} = 978031,8 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2 \varphi), \quad (5.8)$$

Onde φ corresponde à latitude.

5.5.2- Correção de elevação ou ar-livre

Esta correção é aplicada apenas para retirar o efeito da diferença de altitude entre o ponto observado e o geóide ou um nível de referência arbitrário, pois a gravidade varia inversamente com o quadrado da distância da fonte. A massa existente entre esses dois pontos, observado e o geóide, não é considerada, por isso a correção de elevação também é chamada de correção de ar-livre. A fórmula

utilizada neste cálculo corresponde à variação esperada do valor de gravidade com a variação de altitude (h), em relação à superfície de referência:

$$\Delta g = 0,3086 h. \quad (5.9), \text{ onde } \Delta g \text{ em mGal, } h \text{ em metros}$$

5.5.3- Correção Bouguer

Esta correção é utilizada para retirar o efeito da massa localizada entre o ponto observado e o geóide ou um nível de referência arbitrário. Soluciona-se este problema, calculando-se a atração de um cilindro de raio infinito, altura igual à altitude da estação no terreno (mesma aplicada na correção de ar-livre) e de densidade, ρ , igual à do material que localiza-se entre o geóide e o ponto de observação. Pode ser expressa matematicamente como o produto da densidade do material, a altura relativa do nível do mar (ou outra superfície de referência) e uma constante em mGal:

$$\Delta g_{\text{boug}} = 2 \pi \rho G h = 0,04193 \rho h, \quad (5.10)$$

Onde “ ρ ” é a densidade do material em kg/m^3 e “h” a altura para a superfície de referência em metros.

5.5.4-Correção de Topografia ou de Terreno

A fórmula descrita na correção Bouguer considera uma topografia plana nas vizinhanças da estação de medição, desprezando o efeito do material localizado em cotas acima ou a falta de material em cotas abaixo. A aplicação da Correção de Terreno (g_{ter}) se faz necessária nestes casos.

Se a estação está próxima a região com alto relevo, há uma força extra para cima atuando no gravímetro, que reduz a leitura. Se a estação está próxima a um vale, existe uma ausência de massa que tende também a diminuir o valor medido. Em ambos os casos, a correção efetuada possui sinal positivo.

5.5.5- Correção de Eotvos

O modelo da Terra utilizado para as correções anteriores assume que o ponto de observação é fixo em um local específico. Esta suposição é violada em levantamentos marinhos, aéreos e orbitais, porque a plataforma de observação possui uma velocidade angular diferente da prevista pelo modelo da Terra para aquela latitude. Este fenômeno causa grandes erros somente se a plataforma utilizada possuir uma componente de velocidade na direção leste – oeste. Caso a plataforma se mova na direção norte – sul, a trajetória será realizada acompanhando a rotação da Terra. A fórmula para a correção de Eotvos:

$$E = 7,508 V \cos \lambda \sin \alpha + V^2 / R, \quad (5.11)$$

onde V é a velocidade da plataforma em nós, λ é a latitude em graus, α a direção da plataforma em graus a partir do norte e R é o raio da Terra em metros para aquela latitude.

5.5.6- Correção de Maré

A mudança da posição da Terra em relação ao Sol e à Lua causa perturbações nos valores da gravidade que podem ser observadas dentro de um período de 24 horas. A magnitude dessas perturbações varia com a posição geográfica do ponto de observação e com a época do ano. Em um mesmo ponto, seus valores variam de modo senoidal, apresentando amplitude máxima pico-a-pico inferior a 0,3 mGal. Esta variação, embora muito pequena em relação ao valor da gravidade normal, deve ser eliminada, pois o valor de sua magnitude pode atingir a ordem de grandeza de anomalias comumente encontradas em levantamentos para prospecção geológica.

A variação da gravidade causada pelo Sol e pela Lua é responsável pelo fenômeno das marés oceânicas e da crosta terrestre. Por esse motivo, a correção que compensa este efeito é denominada de correção de maré.

As perturbações solares e lunares podem ser teoricamente calculadas para cada minuto de todos os dias do ano, em qualquer posição geográfica, através de fórmulas matemáticas especialmente desenvolvidas para este fim. Para facilitar a aplicação desta correção, os valores das perturbações são pré-calculados e apresentados sob a forma de tabelas ou calculados por meio de programas de computadores.

5.5.7- Correção da variação instrumental

Ao se realizarem medidas gravimétricas em um ponto fixo durante certo período de tempo, verifica-se que, após a remoção do efeito de maré, persiste uma variação aproximadamente linear. Essa variação, inerente ao instrumento, é causada basicamente por fadiga da mola que compõe a unidade de atração do equipamento. Mudanças de temperatura e movimentos bruscos ou choques mecânicos, ocasionados por quedas durante o transporte do instrumento entre as estações, também causam variações instrumentais; estas, entretanto, não são lineares.

A variação instrumental pode ser corrigida se duas medidas são realizadas na mesma estação, dentro de período curto do tempo. O procedimento consiste em presumir uma variação linear entre as medidas dentro do intervalo de tempo tomado entre a primeira e a segunda medida. As variações positivas são subtraídas, enquanto as negativas são somadas.

5.6-Anomalias de Ar Livre e Bouguer

A Anomalia de Ar Livre (g_{AL}) é calculada subtraindo-se a correção de latitude (Δg_{lat}) da gravidade observada (g_{obs}) e adicionando-se uma correção para a elevação da estação de medição (correção de ar livre, Δg_{fa}):

$$g_{AL} = g_{obs} - \Delta g_{lat} + \Delta g_{fa} \quad (5.12)$$

Quando todas as correções citadas acima forem aplicadas para a leitura da gravidade observada, obtém-se o valor da Anomalia Bouguer para a estação:

Anomalia Bouguer=Gravidade Observada – Modelo da Terra Corrigido

$$g_B = g_{obs} - (\Delta g_{lat} + \Delta g_{fa} - \Delta g_{boug} + \Delta g_{ter}) \quad (5.13)$$

Deve-se inserir nesta fórmula a correção de Eotvos, quando necessário.

5.7- Gravímetros

Os gravímetros são os instrumentos mais comumente empregados nos levantamentos gravimétricos. Sua precisão nominal atinge a 0,01 mGal, permitindo portanto detectar variações muito pequenas no valor da gravidade.

Os valores medidos são somente relativos, o que está de acordo com o necessário na prospecção, em que se deseja localizar as distribuições anômalas de densidade relacionadas aos corpos mineralizados e às estruturas geológicas.

Os gravímetros podem também ser empregados nos levantamentos cujo objetivo é determinar a gravidade absoluta, combinando o seu uso com o de instrumentos que medem valores absolutos da gravidade.

Nos gravímetros absolutos são medidas duas grandezas fundamentais (tempo e distância) enquanto que nos gravímetros relativos é medida uma grandeza fundamental (distância) e usada uma grandeza derivada (aceleração). Isto significa que os gravímetros relativos fornecem a diferença de aceleração entre os pontos medidos. Assim, para se determinar a aceleração nesses é necessário iniciar a medição num ponto onde se conheça a aceleração, denominado base gravimétrica.

Os gravímetros absolutos (geralmente explorando queda livre) são usados para estabelecer a base das medidas relativas. Os gravímetros relativos (geralmente explorando sistemas elásticos) são usados nos trabalhos rotineiros de gravimetria.

Os gravímetros são essencialmente balanças, em que uma massa é suspensa por uma mola. Segundo lei de Hooke, a força restauradora na mola que sustenta a massa é dada por:

$$F = \delta(l - l_0) = mg \quad (5.14)$$

sendo “m” a massa, sigma (δ) o coeficiente de elasticidade da mola e $(l - l_0)$ a elongação da mola. Como “m” e sigma são constantes, qualquer mudança no valor de “g” causará uma variação proporcional na elongação da mola. As variações na elongação da mola são reduzidíssimas e necessitam ser amplificadas. Em geral, são empregadas técnicas óticas, mecânicas ou elétricas em sua amplificação.

Os gravímetros são sensíveis a influências externas tais como: temperatura, pressão, vibrações provocadas por ondas sísmicas e, em se tratando de gravímetros com mola metálica, campos magnéticos. As ondas sísmicas produzem vibrações na mola, semelhantes à vibração observada nos detectores sísmicos. Enquanto as ondas sísmicas estiverem chegando ao gravímetro é impossível medir-se o valor da gravidade.

Os efeitos de temperatura e pressão são eliminados através de compensadores acoplados ao sistema elástico. O efeito magnético é eliminado por meio de blindagem.

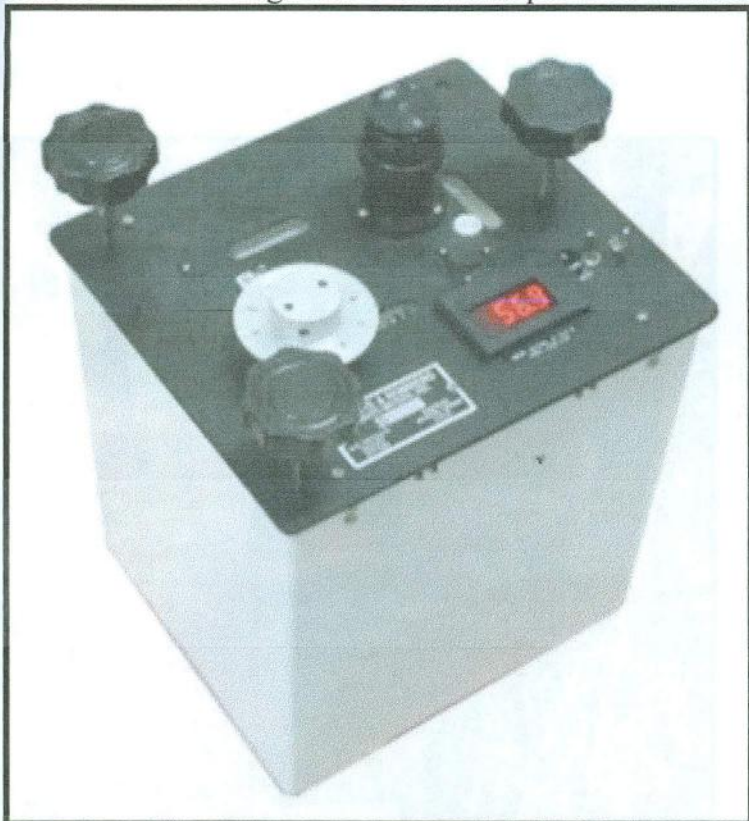


Figura 16- Gravímetro

5.8-Levantamentos

Os levantamentos gravimétricos podem ser efetuados diretamente na superfície terrestre, no fundo ou na superfície dos mares e, também, no ar (aéreos).

5.8.1-Levantamento terrestre

Antes do início de um levantamento deve-se escolher uma estação base, que servirá de referência para as outras medidas da área. A estação base deve ser escolhida em um lugar onde o terreno esteja isento de vibrações. O vento, as árvores e o tráfego das estradas são alguns dos elementos que provocam vibrações no solo.

A coleta de dados gravimétricos consiste em realizar-se uma medida na estação base, ao iniciar o dia de trabalho, anotando-se a hora que a medida foi efetuada; depois, são efetuadas medidas nas demais estações, registrando-se sempre a hora de cada medida.

Ao final de 2 a 3 horas de trabalho, deve-se realizar novas medidas na estação base, a fim de se obter um controle da variação temporal.

Durante as medidas, o gravímetro é colocado ao nível do solo, sobre um suporte que facilita o seu nivelamento.

O levantamento gravimétrico terrestre deve ser acompanhado de levantamento altimétrico, que possibilitará a redução dos dados (correção ar-livre, Bouguer e topográfica)

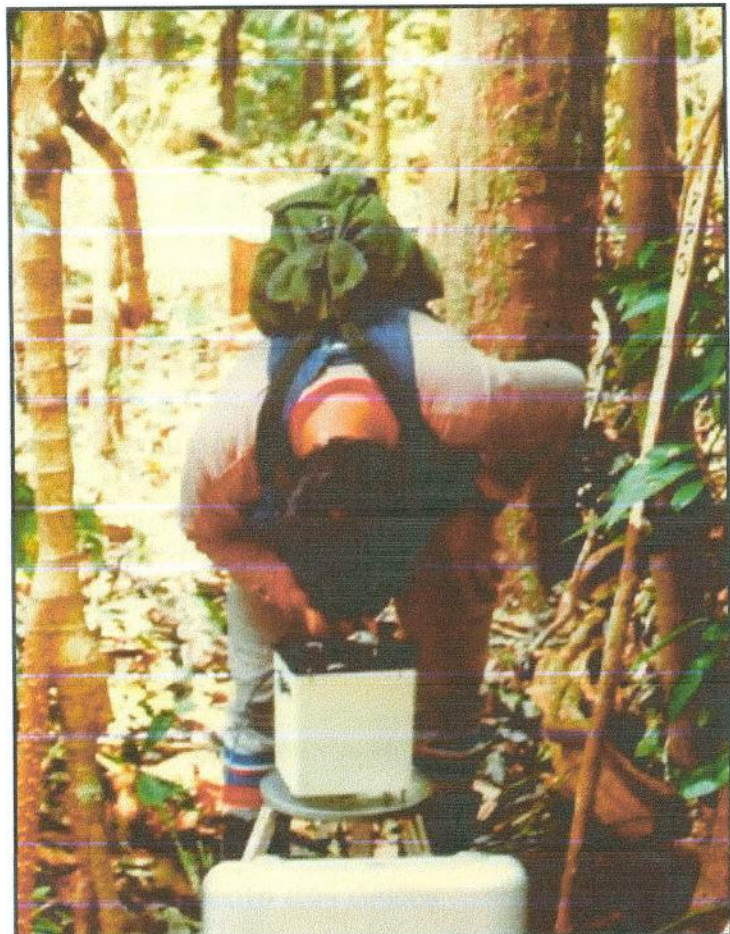


Figura 17- Levantamento terrestre

As coordenadas plani-altimétricas devem ser conhecidas com grande exatidão, pois, por exemplo, um erro de 50 cm na elevação de uma estação, resulta em variações da gravidade da ordem de 0,1 mGal.

5.8.2- Levantamento marinho

Em áreas cobertas por água, as medidas de gravidade podem ser realizadas no fundo ou na superfície das águas. Os levantamentos que o gravímetro desce até o fundo das são muito mais lentos que aqueles que permanecem na superfície. Porém, as medidas de fundo são cerca de 10 vezes mais precisas que as realizadas na superfície.

A grande diferença entre esses dois levantamentos é que no levantamento de bordo, leituras contínuas de gravidade são obtidas com o navio em movimento e, em decorrência da mobilidade da plataforma de medida, a velocidade e rumo do navio devem ser conhecidos com exatidão a fim de se efetuar a correção do Efeito Eotvos, pois as medidas de gravidade efetuadas numa Terra em rotação

em torno de seu eixo vertical são afetadas pela aceleração centrífuga deste movimento. Sabendo que a correção é positiva se o navio for no sentido leste e negativo no sentido oeste.

Para efetuarmos correções com uma exatidão de 1 mGal, é necessário que a velocidade do navio seja conhecida em torno de 0,1 nó.

As principais dificuldades na obtenção da informação gravimétrica útil com gravímetro de bordo são os movimentos horizontais e verticais do navio, os quais podem ocasionar acelerações que podem ser da ordem de 100.000 mGal ou mais. Os efeitos horizontais são controlados por acelerômetros instalados numa plataforma estabilizada por giroscópios, enquanto que as verticais são removidas através de um sistema de amortecimento que atua como um filtro passa-baixa, suprimindo frequências associadas ao movimento do navio e deixando passar aquelas frequências associadas às fontes em subsuperfície.

5.8.3- Levantamento aéreo

Os mesmos problemas encontrados nos levantamentos marinho de superfície são encontrados no levantamento aéreo. O efeito do balanço da aeronave é minimizado com o uso de plataformas estabilizadoras. O efeito Eotvos é muito mais intenso, pois a velocidade de navegação (em torno de 200 nós) é bem maior. Adicionalmente, variações na altura de vôo produzem efeitos que necessitam ser corrigidos.

Medidas aerogravimétricas têm sido realizadas com sucesso na indústria do petróleo e mineral.

5.9- Tratamento dos dados

A primeira etapa do tratamento de dados gravimétricos consiste na aplicação das correções descritas nos itens 5, com a obtenção da anomalia Bouguer.

Por outro lado, como as medidas de gravidade realizadas nos trabalhos de prospecção podem refletir o somatório do efeito produzido por mais de uma fonte (falha, intrusões, arqueamentos, corpos mineralizados, afloramentos e variações na espessura na camada de intemperismo, por exemplo), antes de se interpretarem os dados gravimétricos deve-se eliminar os efeitos das fontes indesejáveis.

As pequenas heterogeneidades no terreno, que ocorrem próximo à superfície (afloramentos, compactação diferencial, variações na espessura da camada de intemperismo), fazem com que os valores medidos oscilem muito mais frequentemente do que os valores produzidos por heterogeneidades maiores e mais profundas. É dito, então, que os primeiros produzem efeitos com altas frequências em relação aos efeitos dos demais. A frequência de oscilação é aqui quantificada em ciclos por metro (frequência espacial), já que as oscilações são observadas ao longo de uma linha de medidas. Quanto maior e mais profunda a fonte, menor será a frequência espacial a ela associada.

Aplicando as técnicas de separação de sinais de frequência diferente (filtragem), é possível separar-se, em parte, o efeito das fontes indesejáveis, a fim de que se possa interpretar somente as fontes procuradas nos levantamentos. Os valores associados à estrutura profunda constituem o que é

denominado de regional. A remoção do regional, consiste em filtrar as frequências mais baixas (associadas às estruturas mais profundas), deixando somente as frequências associadas às fontes procuradas nos levantamentos. Os valores resultantes da filtragem constituem o que é denominado de residual. Embora seja possível separar-se parcialmente o efeito de algumas das fontes presentes através da filtragem, existem efeitos que são impossíveis de serem parcial ou totalmente separados, pois suas frequências se superpõem.

5.10-Interpretação

A interpretação geofísica é o procedimento que permite a obtenção de informação geológica a partir de medidas geofísicas. Na interpretação, dois conceitos são muito importantes: anomalia e modelo. Anomalia são os efeitos a serem interpretados (aqueles que podem revelar descontinuidade nas propriedades físicas causadas por feições de interesse) que mostram um desvio significativo do efeito padrão esperado. Modelos geofísicos são representações simplificadas das descontinuidades físicas do meio, inferidas a partir do modelo geológico e de medidas realizadas no campo e em laboratório.

Além disso, existem dois tipos de interpretação: a quantitativa e a qualitativa. Na interpretação qualitativa busca-se estabelecer, respectivamente, relações de igualdade/não igualdade e relações de desigualdades entre certas características das anomalias evidenciadas pelas medidas geofísicas, a fim de se separar diferentes padrões anômalos e associá-los aos corpos geológicos, obtendo informações sobre: localização, forma, mergulho, profundidade e propriedade física desse corpo.

A interpretação quantitativa consiste na estimativa dos valores quantitativos, principalmente profundidade, dos parâmetros de um modelo, cuja geometria seja próxima da geometria esperada para a fonte de anomalia. Ela pode ser realizada através dos métodos comparativo, direto e inverso.

A partir dos dados gravimétricos pode-se obter informações de diversos tipos de estruturas geológicas (falhas, horts, grabens, dobras, lineações e domos), assim como os corpos mineralizados.

As anomalias gravimétricas são provocadas por contrastes laterais de densidade. Com isso, uma camada de elevada densidade situada em subsuperfície entre duas de menor densidade, todas elas horizontais, não provocará anomalias em medidas realizadas na superfície. Contrastes laterais de 0,1 a 0,2 g/cm³ são suficientes para produzir anomalias detectáveis pelos gravímetros.

A ambigüidade é um problema do método gravimétrico, pois diversas distribuições de massa produzem a mesmo tipo de anomalia.

Na prática, a ambigüidade é minimizada usando-se informações adicionais fornecidas pelos dados geológicos e de outros métodos geofísicos.

É comum iniciar-se a análise quantitativa dos dados com modelos estabelecidos exclusivamente a partir de dados geológicos e modifica-los à medida que os dados gravimétricos indiquem essa necessidade.

5.11.Aplicações

O método gravimétrico é mais aplicado na exploração mineral e petrolífera, mas também pode ser utilizado na área da engenharia, ambiental, hidrologia, mapeamento geológico, etc.

5.11.1-Prospecção de Petróleo

O método gravimétrico é empregado para a localização e delimitação de armadilhas capazes de armazenar óleo e gás. Estas estruturas, normalmente, apresentam anomalias da ordem de dezenas de miligals, podendo ser identificadas até mesmo com levantamentos aéreos de baixa resolução.

O método gravimétrico é bastante utilizado na identificação de domos salinos. Estes penetram as camadas subjacentes, devido a sua baixa densidade e sua plasticidade, gerando excelentes armadilhas de hidrocarboneto.

A densidade do domo de sal (em torno de 2g/cm^3) é menor do que a densidade das rochas por ele perfuradas, causando uma redução local da gravidade, havendo, portanto, uma anomalia gravimétrica negativa.

Altos estruturais, como anticlinais, também podem acumular hidrocarboneto. Essas estruturas produzem quase sempre anomalias positivas, devido à alta densidade das rochas do embasamento.

Valores de gravidade com forte gradiente horizontal podem representar falhas. Estas são estruturas importantes para a migração do hidrocarboneto da rocha geradora para as rochas reservatório.

Na fase de exploração, o método gravimétrico é um dos primeiros métodos geofísicos aplicado, pois ele consegue delimitar os limites da bacia sedimentar (dimensões e profundidade) e localizar os altos estruturais.

5.11.2-Prospecção mineral

Uma grande parte dos minerais de importância econômica, principalmente os metálicos, têm densidade superior a 4g/cm^3 e ocorrem em rochas com densidades menores. Os levantamentos gravimétricos podem identificar esses minerais, devido a este contraste de densidade.

As anomalias gravimétricas obtidas na prospecção mineral têm amplitudes raramente inferiores a 2 mGal. Por este motivo, são requeridas medidas muito precisas, tanto na gravidade como nos valores de plani-altimetria usados nas correções.

6 - ESTUDO DE CASO

A tese de mestrado de José Guilherme de Castilho, **Integração de Dados de Métodos Potenciais e de Sensoriamento Remoto como Subsídio à Exploração Petrolífera Offshore nas Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha**, da pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, é um exemplo prático da aplicação do método gravimétrico.

6.1-Objetivos

O objetivo do trabalho é delimitar o arcabouço tectônico e identificar evidências na superfície do oceano de exsudações de óleo nas bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha, localizadas no sul do estado da Bahia. Exsudações de óleo e gás indicam a existência de sistemas petrolíferos ativos, que é uma informação útil para o desenvolvimento das atividades de exploração. A motivação do trabalho encontra-se na publicação escassa de trabalhos científicos nestas bacias, além do estágio incipiente do esforço exploratório empreendido na região até o presente.

Para cumprir os objetivos da pesquisa, foram utilizados os resultados da análise de dados de Sensoriamento Remoto e de Métodos Potenciais.

Através dos dados de Métodos Potenciais (gravimetria), propõe-se uma atualização dos mapas estruturais existentes na literatura, com o mapeamento de possíveis falhas ao nível do embasamento. Sobre a linha de falha, os valores de gravidade apresentam forte gradiente horizontal, caracterizado nos mapas por uma maior densidade de contornos ou por mudança brusca de gradiente. Os dados gravimétricos foram empregados também com o intuito de mapear o limite entre a crosta continental e a crosta oceânica nessas duas bacias, a partir do espessamento decorrente do contato entre as mesmas e suas diferenças de densidade. Foi ainda realizada uma modelagem nos dados gravimétricos, a fim de determinar a espessura aproximada dos sedimentos destas bacias e estimar a forma do rifte.

6.2-Metodologia

Os dados gravimétricos passaram por algumas etapas antes da interpretação e obtenção dos resultados. Primeiramente, é procedida a redução dos dados, que consiste em fazer com que os mesmos sejam corrigidos tendo em vista a posição geográfica e a altitude onde foram adquiridos, dentre outros fatores. Em seguida, os dados são tratados com o objetivo de realçar um determinado intervalo de profundidade que se deseja investigar.

Tal processamento inclui filtrações específicas, que individualizam anomalias de um determinado comprimento de onda. Também é utilizada a modelagem iterativa para determinação da forma regional da bacia em estudo. Os resultados obtidos são posteriormente inseridos em um SIG, juntamente com as feições relacionadas a exsudações de óleo interpretadas nas imagens de radar, para posterior análise e interpretação.

6.3-Tratamento e Interpretação dos Dados

Aplicou-se, nos dados gravimétricos, tratamentos que visavam a homogeneização dos mesmos, devido à utilização de diferentes levantamentos neste trabalho. Primeiramente, foi aplicada uma redução nos dados, que consiste em obter somente as variações de densidade na sub-superfície, afastando efeitos relacionados a latitude e elevação do levantamento, além da topografia dos terrenos adjacentes e das marés atuantes. Os três levantamentos foram em seguida uniformizados, integrados e realçados para interpretação.

6.3.1- Processamento dos dados Gravimétricos

Foram utilizados três levantamentos distintos neste trabalho, dois deles realizados pela Petrobrás: um terrestre, chamado Gravter Bahia, e um marítimo, denominado EG13. O levantamento Gravter Bahia abrange as bacias do Tucano, Jatobá e Recôncavo, bem como porções emersas das bacias de Jacuípe, Camamu-Almada e Jequitinhonha, além disso, recobre também uma pequena parte da porção central do Estado de Espírito Santo. O projeto EG13 inclui a porção marítima, até a isóbata de 400 metros, das bacias de Jacuípe, Camamu-Almada, Jequitinhonha, Cumuruxatiba, Mucuri e parte do Espírito Santo. A terceira fonte de dados refere-se ao satélite Geosat, cujo levantamento recobre todo o globo (Figura 18). Os dados representados na Figura 21 recobrem uma área de $1.977.000 \text{ km}^2$; a área de estudo possui aproximadamente 120.000 km^2 .

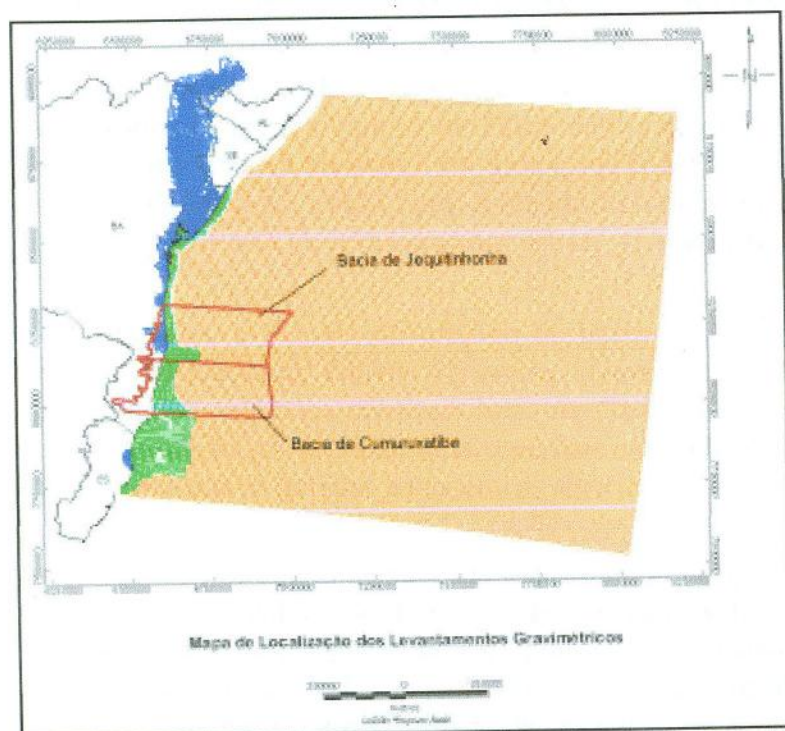


Figura 18- Encontram-se, respectivamente, em verde e azul os levantamentos gravimétricos marítimo (EG13) e terrestre (Gravter Bahia) realizados pela Petrobrás. Em laranja, são representados os dados gravimétricos adquiridos pelo satélite Geosat. A área de estudo está representada pelos polígonos em marrom.

6.3.2-Homogeneização e Tratamento dos Dados

Os três levantamentos gravimétricos utilizados passaram por um processo de uniformização antes de sua integração para interpretação. Os dados adquiridos pela Petrobrás foram usados em sua totalidade na região de estudo, enquanto que os dados Geosat foram recortados obedecendo ao limite *offshore* do levantamento marítimo da Petrobrás, ou seja, até a isóbata de 400 metros.

Primeiramente, foram subtraídos 15,1 mGals do valor da gravidade observada no levantamento terrestre feito pela Petrobrás, referentes à mudança das medidas gravimétricas do sistema Woollard Gravity Network (WGN) para o International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71), adotado mundialmente como datum oficial (Côgo de Sá, 1986). Ao levantamento marítimo da Petrobrás foi aplicado um nivelamento operacional através da subtração de 16,8 mGals da gravidade observada. Tal subtração difere das diferenças médias propostas por Côgo de Sá (1986), sendo utilizada pois se verificou que, no contato entre os levantamentos Gravter Bahia e EG13 permitia um melhor ajuste dos dados. Foi aplicada posteriormente aos dados a Correção de Latitude, a partir da fórmula de

1967, pois se observou que os levantamentos da Petrobrás estavam corrigidos pela fórmula de 1930. Em seguida, foram utilizadas as correções de Ar Livre e Bouguer. A densidade empregada na Correção Bouguer foi $2,67 \text{ g/cm}^3$, por ser uma média das densidades das rochas graníticas, gnáissicas e granulíticas que compõem o embasamento das bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha.

A correção de Terreno foi aplicada somente aos dados do Gravter Bahia, sendo utilizados os valores de correção presentes no próprio levantamento. Não foi necessário aplicar tal procedimento ao restante dos dados marítimos (EG13 e Geosat). A Correção de Eötvös foi previamente aplicada aos dados providos do satélite Geosat. Todos os dados gravimétricos foram ainda plotados e verificados, no intuito de se detectar valores de medição espúrios.

Após a redução dos dados correspondentes aos três levantamentos, valores discrepantes foram identificados na área de junção do EG13 com o Geosat. Foi observado que este valor discordante era aproximadamente constante em toda a região do contato, e que apresentava um valor médio de $14,1 \text{ mGals}$. Fez-se, então, um nivelamento operacional, adicionando tal valor aos dados de gravidade observada do levantamento Geosat, visando a uniformização dos levantamentos.

Neste trabalho, a escolha do método de interpolação foi feita com base nos principais métodos descritos na literatura: mínima curvatura, inverso do quadrado da distância e krigagem. De forma geral, todos os métodos oferecem bons resultados, destacando-se o método da Mínima Curvatura, que foi escolhido por produzir uma superfície estimada independentemente da distribuição dos dados e mais suave que as geradas pelos outros algoritmos.

As estruturas geológicas deixam sua assinatura no campo gravitacional terrestre, como resultado da contribuição simultânea de fontes rasas, de caráter mais local, e de fontes profundas ou mais regionais. Estas fontes possuem um comprimento de onda distinto, passíveis de serem realçados. Após a aplicação de todas as correções, o produto resultante é o Mapa de Anomalia Bouguer, Figura 19, que mostra a necessidade da separação de anomalias com grande comprimento de onda, de caráter regional, das anomalias locais, permitindo uma melhor visualização das estruturas de interesse.

Foram realizadas diferentes filtragens nos dados integrados com o objetivo de verificar qual das técnicas resultaria num melhor realce das feições de interesse. Os métodos utilizados foram: 2ª derivada vertical do campo gravitacional, sinal analítico e filtragem de comprimento de ondas. A partir de testes realizados, o método escolhido foi o de filtragem de comprimento de ondas, que se mostrou mais eficaz na separação das anomalias regional e residual. Esta técnica é aplicada transformando o dado para o domínio de número de onda (*wavenumber*) utilizando a transformada de Fourier bi-dimensional. São removidos (filtrados) certos componentes do número de onda e uma transformação inversa é aplicada para a reconstituição dos dados.

Normalmente, são removidos os pequenos números de onda (comprimento de onda = $1 / \text{número de onda}$) do conteúdo regional do dado, mas filtragens com intervalos específicos também são possíveis. Este procedimento é muito utilizado no tratamento de dados de métodos potenciais (Gravimetria e Magnetometria), porque possibilita a separação de anomalias apresentando distintos comprimentos de onda, relacionadas a fontes diferentes. Com a utilização da citada filtragem, pode-se retirar ou conservar intervalos de interesse através de filtros Passa Alta (filtra frequências baixas e médias), filtros Passa Baixa (filtra médias e altas frequências), e filtros Passa Banda (filtra altas e baixas frequências).

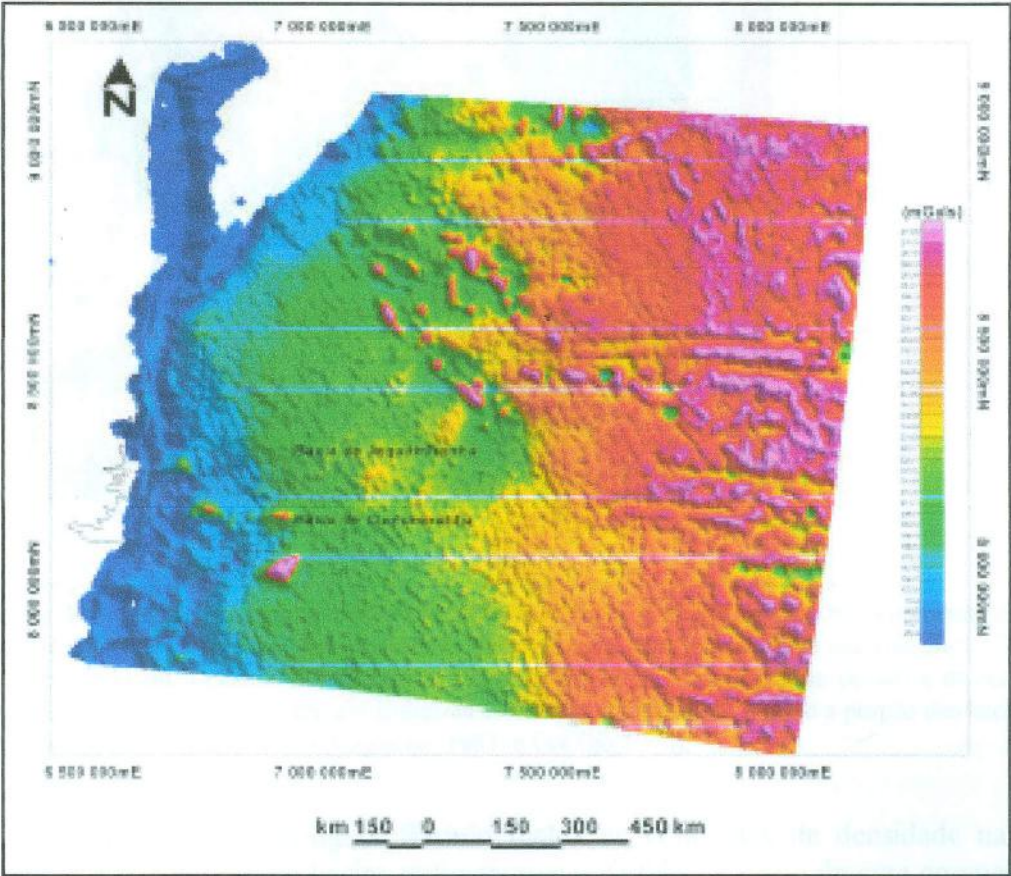


Figura 19 - Mapa de Anomalia Bouguer; a densidade utilizada na correção foi 2,67 g/cm3. Foi aplicado um sombreamento artificial, com 45° de azimuth e 45° de elevação da iluminação.

6.3.3-Analise Qualitativa

Foram utilizadas três filtragens Passa Banda, utilizando o algoritmo Gaussiano, para a identificação dos principais compartimentos tectônicos e de estruturas geológicas ao nível do embasamento, para a delimitação dos complexos vulcânicos existentes na região e para a determinação do limite entre a crosta continental e a crosta oceânica. A primeira filtragem foi um Passa Banda de 5 até 250 quilômetros, e teve como objetivo a identificação do arcabouço tectônico das duas bacias, da forma geral do rifte e de suas principais calhas sedimentares, Figura 20.

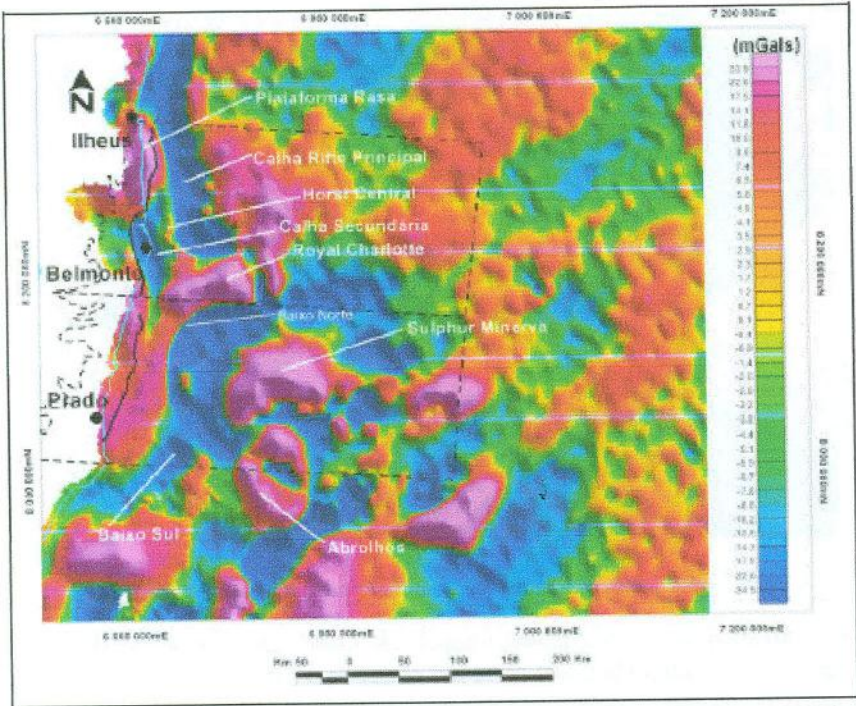


Figura 20 - Mapa de Anomalia Bouguer Filtrado – Passa Banda 5 – 250 km. Sombreamento artificial com 45° de azimuth e 45° de elevação da iluminação. A linha de costa está representada em azul claro. Os polígonos (tracejados) em preto indicam o posicionamento geográfico das bacias de Cumuruxatiba (a sul) e de Jequitinhonha (a norte); as linhas sólidas em preto representam linhas de charneira, que limitam a oeste a porção das bacias contendo sedimentos terciários sobre o embasamento (Gaglione, 1987, e Gontijo, 1996).

O mapa de anomalia Bouguer filtrado realça os contrastes de densidade na crosta, tendendo a acentuar a localização de bacias sedimentares e de feições flexuralmente compensadas como flancos de rifte e altos do embasamento. As principais feições gravimétricas positivas são associadas com blocos retos de grandes falhas de borda que limitam as bacias.

Observa-se na, Bacia de Jequitinhonha, Figura 21, a calha principal do rifte representada por um baixo gravimétrico de direção aproximada norte - sul. Esta calha principal possui cerca de 38 quilômetros de largura e 135 de extensão, sendo limitada a oeste pela linha de charneira descrita por Gaglione (1987) (na porção norte da bacia) e pelo horst central (na porção central da bacia). Limita-se ainda a sul com o Complexo Vulcânico de Royal Charlotte e a leste faz fronteira com um alto gravimétrico bem pronunciado (44 mGals), possivelmente associado a um alto do embasamento. Nota-se que o horst central, localizado na região centro-sul da bacia, limita uma outra calha a oeste, que provavelmente forma uma sub-bacia sedimentar com aproximadamente 25 quilômetros de largura e 85 de comprimento. Tal sub-bacia é representada por uma feição alongada norte-sul, consistindo de um baixo gravimétrico (-38 mGals). Na parte sul da bacia, pode-se identificar o complexo vulcânico de Royal Charlotte bem demarcado por um alto gravimétrico (147 mGals) e alongado na direção ENE-WSW.

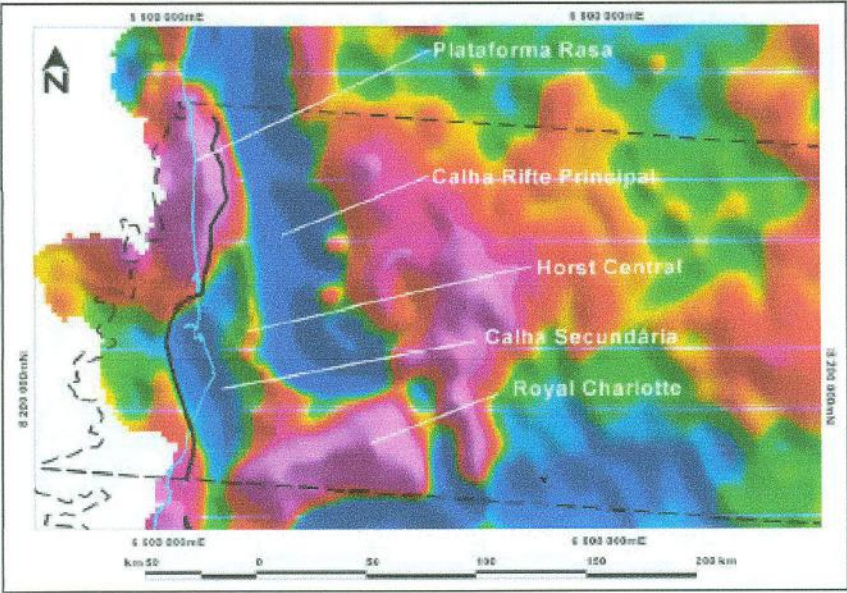


Figura 21 - Detalhe da Bacia de Jequitinhonha com seus principais compartimentos. A linha de costa esta representada em azul claro; o polígono em preto tracejado indica a localização geográfica da bacia; a linha sólida em preto representa a linha de charneira que limita a oeste a porção da bacia contendo sedimentos terciários sobre o embasamento (Gaglione, 1987). As especificações, bem como a escala de cores pode ser observada na figura anterior.

Na bacia de Cumuruxatiba, Figura 22, pode-se verificar a continuação da calha secundária da bacia de Jequitinhonha, que se atenua em direção a sul. Um alto gravimétrico (máximo de 25 mGals) se estende de norte a sul pela porção da bacia próxima à costa (Embasamento raso, Gontijo, 1996), avançando lateralmente cerca de 50 quilômetros em direção ao mar. Seguindo para leste deste platô gravimétrico, observa-se um baixo gravimétrico (chegando a -97 mGals) bem pronunciado em forma de arco, possivelmente representando uma grande espessura de sedimentos. Os complexos vulcânicos de Sulphur Minerva e Abrolhos estão bem caracterizados por altos gravimétricos proeminentes (150 e 62 mGals, respectivamente). O compartimento tectônico Baixo Sul, descrito por Gontijo (1996), está representado no mapa por um baixo gravimétrico de direção nordeste – sudoeste, com cerca de 110 quilômetros de extensão (adentrando a Bacia de Mucuri, a sul) e 25 quilômetros de largura, apresentando valores gravimétricos que chegam a -41 mGals. Algumas sub-bacias são identificadas na porção distal da bacia entre os complexos vulcânicos, podendo ter histórias de preenchimento sedimentar distintas.

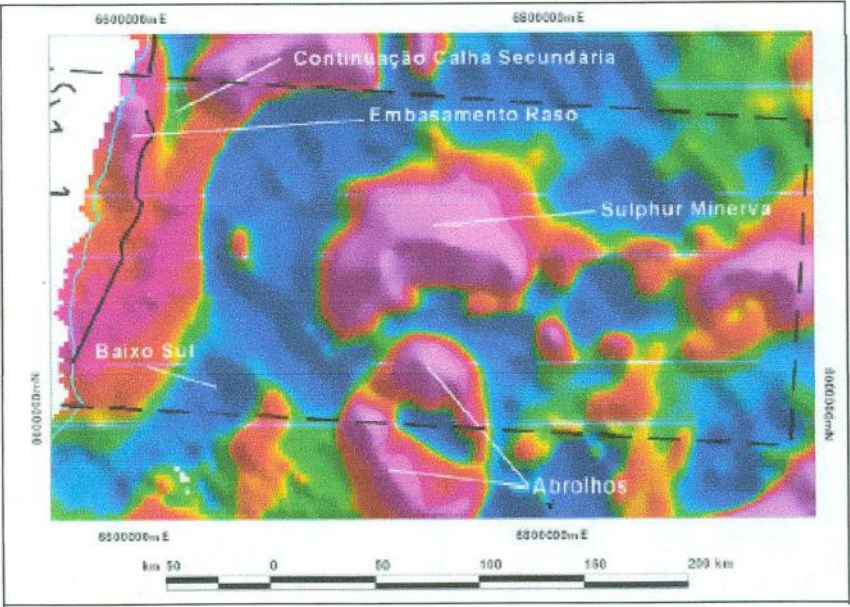


Figura 22 - Detalhe da Bacia de Cumuruxatiba com seus principais compartimentos. A linha de costa esta representada em azul claro; o polígono em preto tracejado indica a localização geográfica da bacia; a linha sólida em preto representa a linha de charneira que limita a oeste a porção da bacia contendo sedimentos terciários sobre o embasamento (Gontijo, 1996). As especificações, bem como a escala de cores pode ser observada na Figura 23.

6.3.4- Extração de Lineamentos

O mapa gravimétrico Bouguer foi em seguida realçado por um filtro Gaussiano Passa Banda com limites de 5 e 22 quilômetros. Este intervalo foi escolhido no intuito de filtrar tendências regionais nos dados, preservando as impressões geológicas referentes à estruturação da bacia e a seu embasamento, como também de eliminar os ruídos de alta frequência. Tomou-se o cuidado em não interpretar feições na parte mais *offshore*, onde somente os dados Geosat estão presentes, porque as especificações técnicas deste acervo informam que o limite de resolução é de 20 a 25 quilômetros. Também foram levados em consideração os efeitos de borda causados pela quebra da plataforma, que podem influenciar os dados gravimétricos. Os lineamentos interpretados nesta região podem ser afetados pelos efeitos de borda causados por este desnível batimétrico.

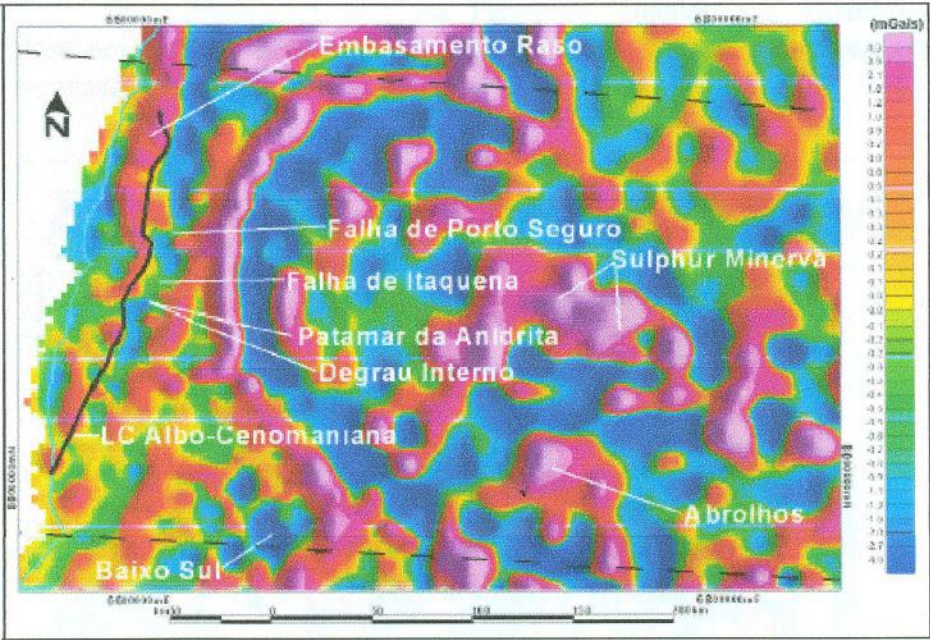


Figura 23 – Detalhe da Bacia de Cumuruxatiba com seus principais compartimentos. Foi utilizada uma filtragem Passa Banda de 5 até 22 km, assim como um sombreamento artificial com 45° de azimuth e 45° de elevação da iluminação. A linha de costa esta representada em azul claro; o polígono em preto tracejado indica a localização geográfica da bacia; a linha sólida em preto representa a linha de charneira que limita a oeste a porção da bacia contendo sedimentos terciários sobre o embasamento (Gontijo, 1996).

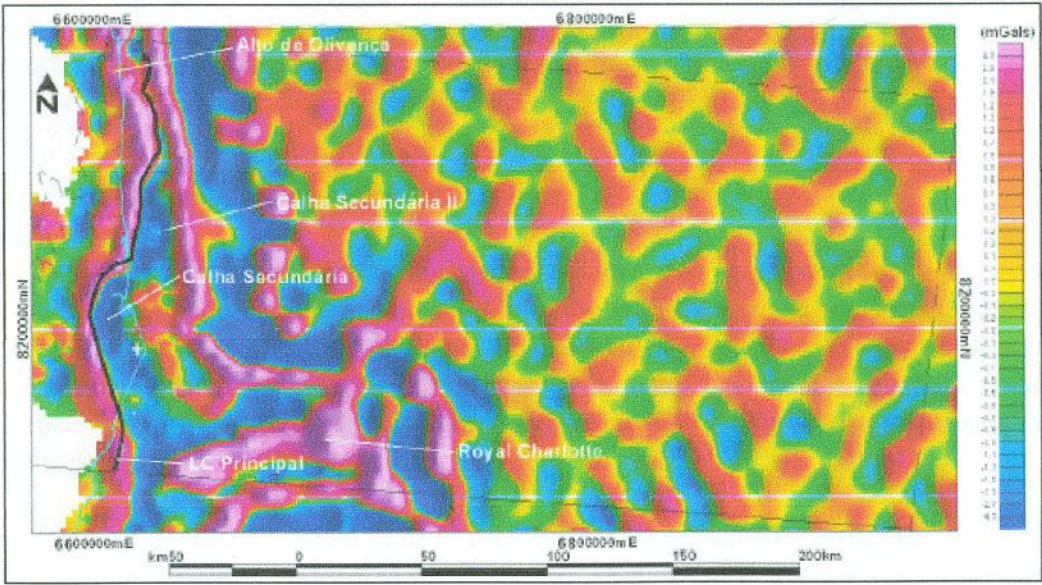


Figura 24 - Detalhe da Bacia de Jequitinhonha com seus principais compartimentos. Foi utilizada uma filtragem Passa Banda de 5 ate 22 km. Sombreamento artificial com 45° de azimuth e 45° de elevação da iluminação. A linha de costa esta representada em azul claro; o polígono em preto tracejado indica a localização geográfica da bacia; a linha sólida em preto representa a linha de charneira que limita a oeste a porção da bacia contendo sedimentos terciários sobre o embasamento (Gaglione, 1987). A cruz em branco mostra a foz do Rio Jequitinhonha.

O contato entre a crosta continental e a crosta oceânica pode ser associado a duas feições gravimétricas: (1) a uma anomalia dipolar atribuída ao espessamento crustal e a diferença de densidade decorrente do contato entre as duas crostas e, (2) a zonas de fratura causadas pela

movimentação diferencial da Placa Tectônica Sulamericana. Quando estes lineamentos regionais entram em contato com as anomalias dipolares, tem-se um ponto com maior segurança para a determinação do limite.

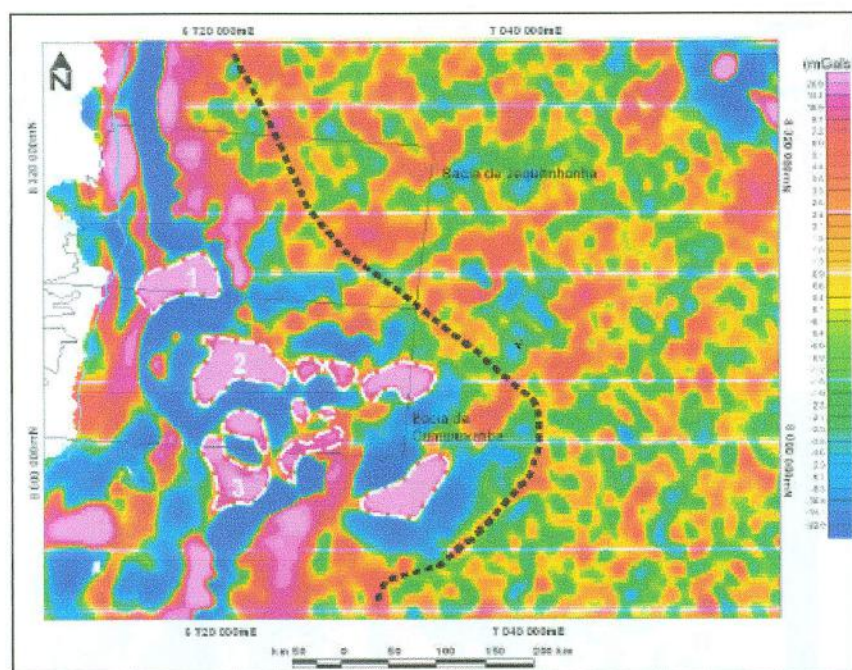


Figura 25 - Mapa de Anomalia Bouguer filtrado – Passa Banda 20 – 150 km (Policônica – Sad 69). Limite interpretado (linha preta tracejada) entre a Crosta Continental e a Crosta Oceânica. Complexos vulcânicos de Royal Charlotte (1), Sulphur Minerva (2) e Abrolhos (3)

6.3.5- Modelagem Gravimétrica

Seis perfis gravimétricos foram modelados (Figura 26), com o objetivo de estudar a geometria interna das bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Sabe-se que uma mesma anomalia gravimétrica pode resultar de distribuições distintas de densidades e geometrias dos corpos em sub-superfície. Para diminuir a ambigüidade na interpretação gravimétrica, foram utilizadas todas as informações existentes sobre a geologia da área, tais como densidade das rochas e geometria dos corpos, isto é, limitam-se os graus de liberdade.

Os valores de densidade média para as diferentes litologias foram empregados com base na literatura geológica disponível (Telford, 1990): manto ($3,5 \text{ g/cm}^3$), crosta oceânica ($3,0 \text{ g/cm}^3$), crosta continental (embasamento; $2,67 \text{ g/cm}^3$), rochas vulcânicas (Formação Abrolhos; $3,0 \text{ g/cm}^3$) e rochas sedimentares ($2,1 - 2,2 \text{ g/cm}^3$). Com a utilização destes parâmetros, construiu-se o modelo inicial que melhor se aproximou das informações geológicas e geofísicas disponíveis. O efeito gravimétrico referente ao modelo foi calculado e então comparado com a anomalia gravimétrica observada, para a posterior execução de ajustes.

O método utilizado para a modelagem foi o de Talwani (Talwani *et al.*, 1959), que calcula o efeito gravimétrico vertical e horizontal de um corpo bidimensional de forma arbitrária, aproximando-a de um polígono de n lados. A acurácia do método aumenta quanto maior for o número de vértices do polígono que melhor represente o corpo a ser modelado.

A escolha do posicionamento dos perfis foi feita de forma que os principais compartimentos tectônicos e calhas sedimentares fossem amostrados, Figura 26.

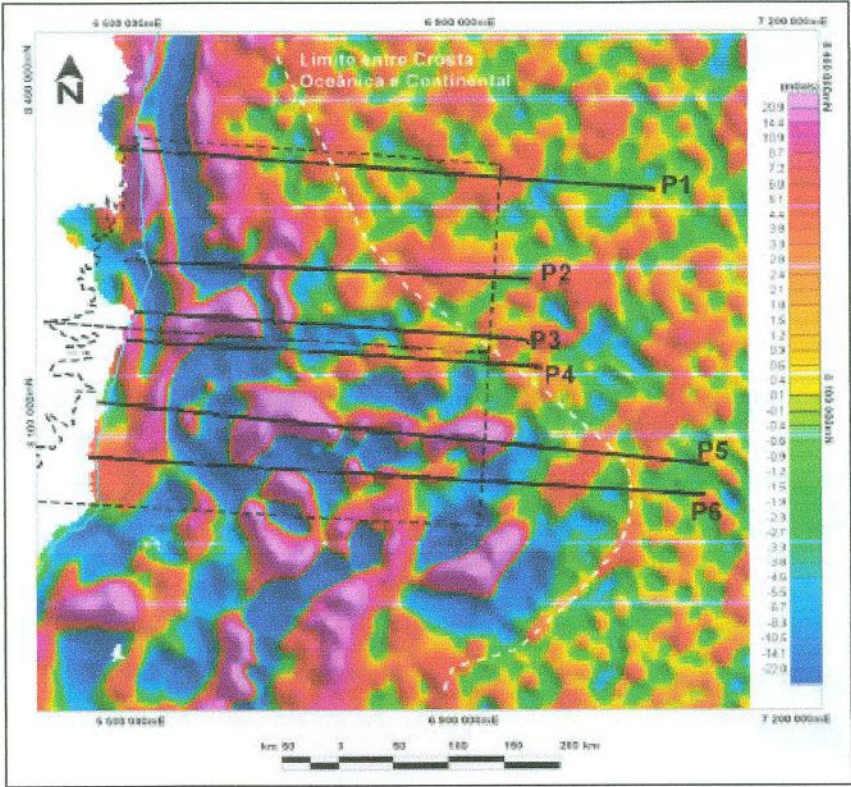


Figura 26 - Mapa de Anomalia Bouguer Filtrado Passa Banda 20 – 150 km (Policônica SAD69) incluindo a localização dos perfis gravimétricos modelados, P1 a P6. A linha preta tracejada representa a localização geográfica das bacias, a linha azul clara, a linha de costa; a linha branca tracejada, o limite entre a Crosta Continental e a Crosta Oceânica.

Todos os perfis modelados foram gerados a partir do Mapa de Anomalia Bouguer, Figura 4. Porém, foram plotados no mapa de Anomalia Bouguer Filtrado Passa Banda 20 – 150 km, somente para melhor visualização dos diferentes compartimentos de ambas as bacias, Figura 26.

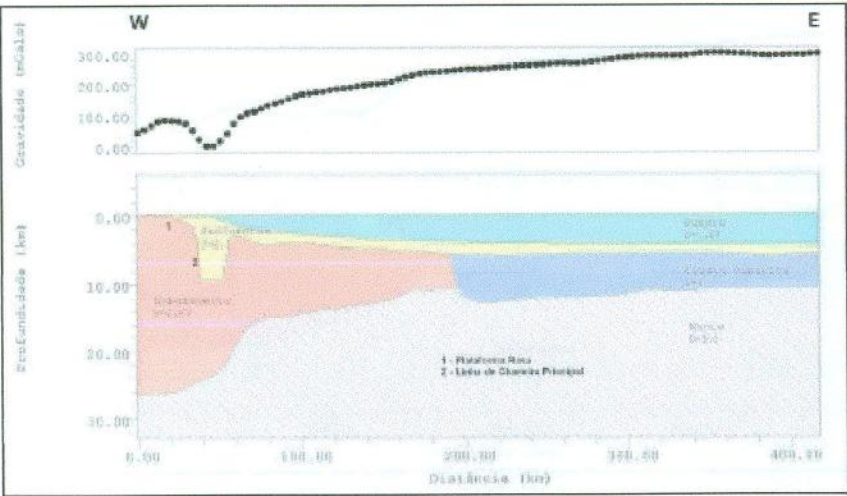


Figura 27 Perfil P1, onde os símbolos $\tilde{()}$ e $(-)$ referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 4.

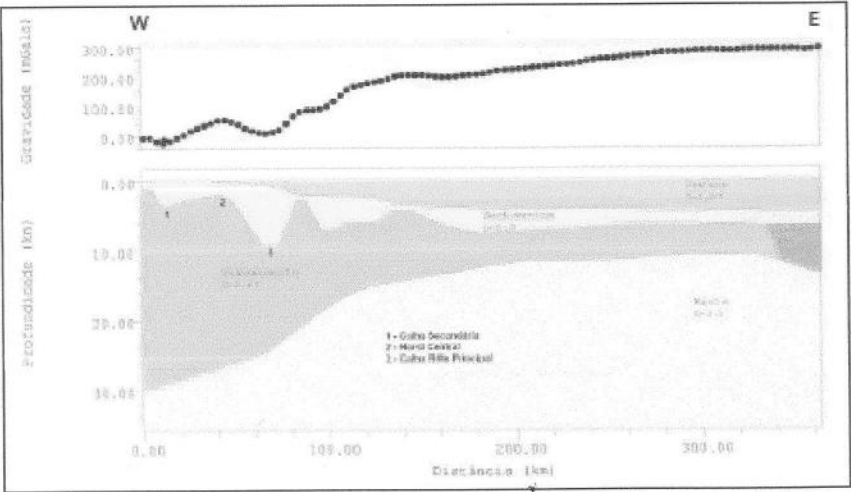


Figura 28 Perfil P2, onde os símbolos $\circ$ e (-) referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 4.

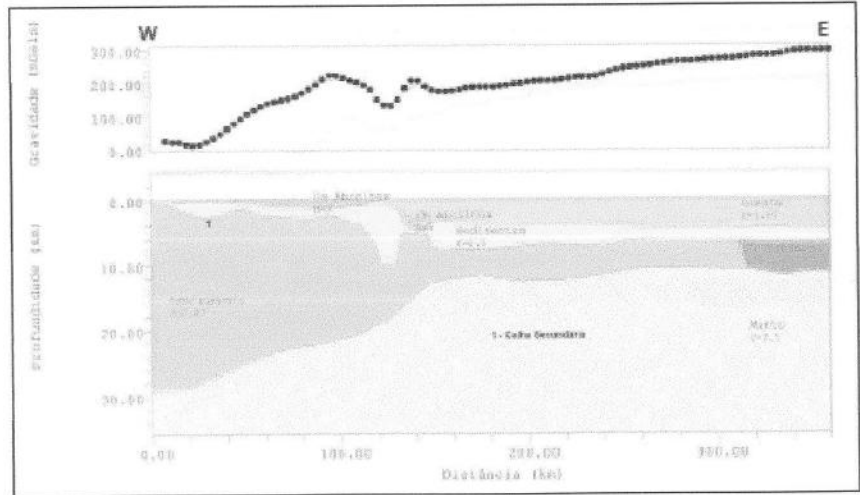


Figura 29 Perfil P3, onde os símbolos $\circ$ e (-) referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 4.

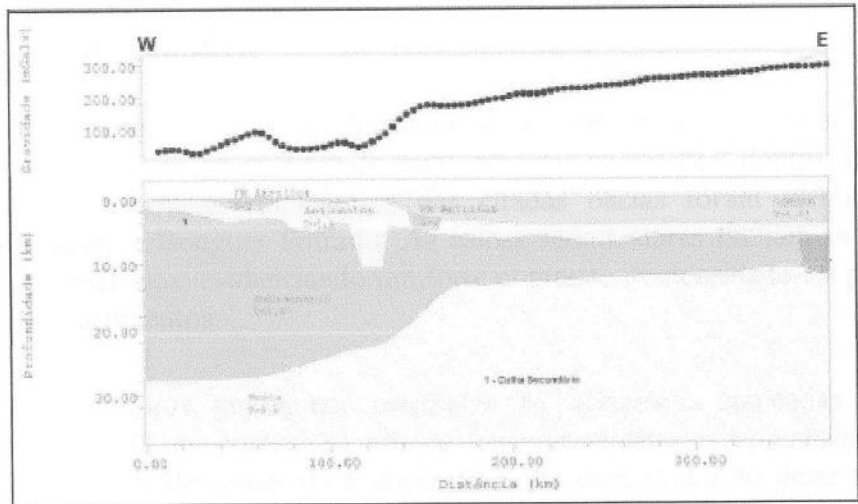


Figura 30 Perfil P4, onde os símbolos $\circ$ e (-) referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 4.

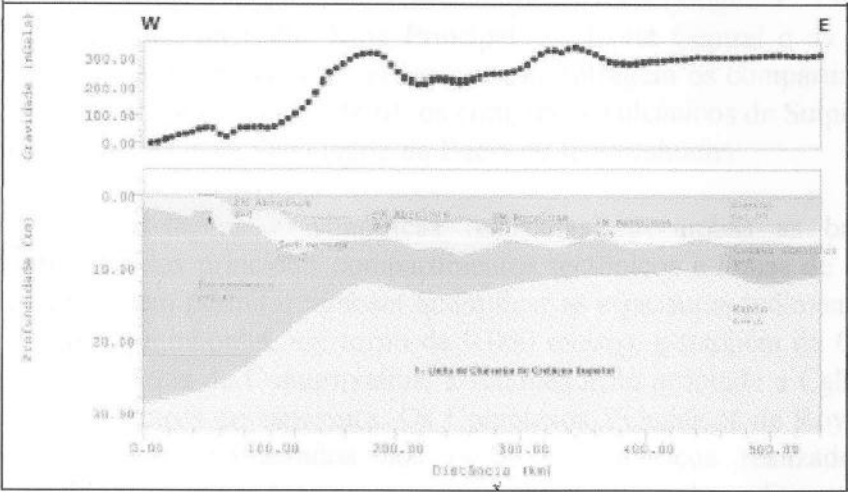


Figura 31 Perfil P5, onde os símbolos (•) e (-) referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 5.

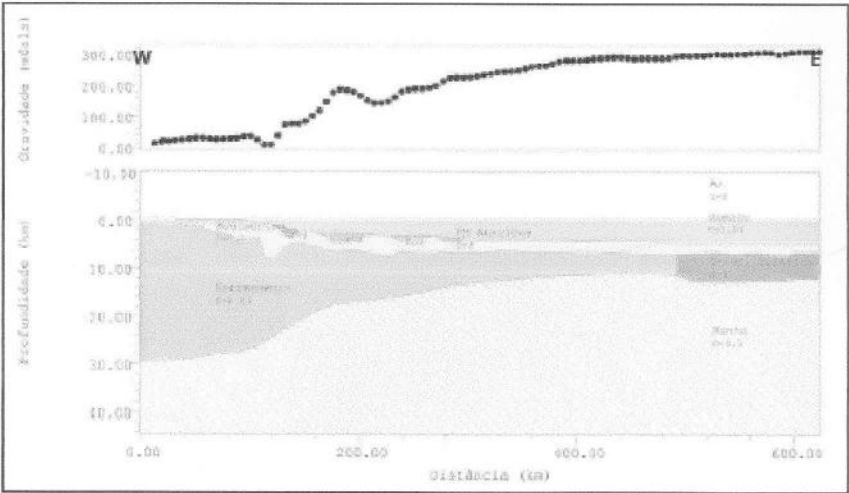


Figura 32 Perfil P6, onde os símbolos (•) e (-) referem-se ao valor de gravidade observado e calculado, respectivamente. Exagero Vertical = 4.

7- Conclusões

A integração dos três levantamentos gravimétricos utilizados neste trabalho possibilitou a caracterização geométrica da calha rifte das bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Os principais compartimentos sedimentares das citadas bacias foram identificados nos mapas de Anomalia Bouguer e Bouguer Filtrado. As calhas sedimentares limitam-se lateralmente por fortes gradientes gravimétricos, evidenciando um forte contraste de densidade e a presença de falhas confinando estes compartimentos.

As estruturas geológicas existentes na literatura, mapeadas através da sísmica de reflexão, apresentam boa correlação com os dados gravimétricos aqui analisados. Assim, fica demonstrada a importância de uma avaliação deste tipo previamente a uma campanha sísmica e tornam-se validadas as filtrações aplicadas ao Mapa de Anomalia Bouguer. A filtragem Passa Banda (5 – 250 quilômetros), aplicada ao Mapa de Anomalia Bouguer, foi utilizada para analisar qualitativamente a geometria de ambas as bacias. O resultado obtido na Bacia de

Jequitinhonha foi a identificação da Plataforma Rasa (Gaglione, 1987), do Complexo Vulcânico de Royal Charlotte, da Calha Rifte Principal, do Horst Central e da Calha Secundária. Na Bacia de Cumuruxatiba, foram caracterizados por esta filtragem os compartimentos tectônicos Embasamento Raso e Baixo Sul (Gontijo, 1996), os complexos vulcânicos de Sulphur Minerva e Abrolhos, além da continuação da Calha Secundária da Bacia de Jequitinhonha.

As seis modelagens gravimétricas realizadas em ambas as bacias também possibilitaram a identificação dos principais compartimentos tectônicos e linhas de charneira descritos na literatura. Esta abordagem permitiu também quantificar as espessuras sedimentares da Calha Rifte Principal da Bacia de Jequitinhonha, em torno de 9.000 metros, e também da Calha Secundária, 3.000 a 3.500 metros. Na Bacia de Cumuruxatiba, a sedimentação atribuída a Calha Rifte Principal varia de 7.000 até 10.000 metros de espessura. Os Complexos Vulcânicos de Royal Charlotte, Sulphur Minerva e Abrolhos foram amostrados nos perfis gravimétricos realizados e representaram anomalias gravimétricas positivas bem marcantes em relação as rochas adjacentes menos densas.

8 – Referências Bibliográficas

TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics**. 2.ed. Cambridge University Press, 1990.

SANTOS, C.F., et al. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p 185-190, 1994.

SANTOS, C.F., GONTIJO, R.C. Compartimentação e alinhamentos estruturais da Bacia de Cumuruxatiba (BA). In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 37., 1992, São Paulo. **Resumos**...São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, p 564.

MILANI, E. J., et al. Petroleum in the brazilian continental margin: geology, exploration, results and perspectives. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.18, n.3, p 352-396., 2000.

CASTILHO, J. G. Integração de dados de métodos potenciais de sensoriamento remoto como subsídio à exploração petrolífera offshore nas bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Disponível em: http://www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2005/Teses/CASTILHO_JG_05_t_M_int.pdf

Jequitinhonha

CARVALHO, 2005

Cumuruxatiba

INDA & BARBOSA (1978)

GONTIJO, 1996

SANTOS & GONTIJO, 1992

CUNHA (1985)

CARVALHO, 1965

MENDES, 1998

DPC & ASSOC., 2000

CARVALHO & GARRIDO (1965)

SANTOS *et al.* (1994)

ASMUS *et al.* (1971),

PEREIRA, 1974, citado por SANTOS *et al.*, 1994

MIZUSAKI, 1994

SZATIMARI & MOHRIAK (1994, citado por CONCEIÇÃO, 1994, citado por GONTIJO, 1996

HONG *et al.* (1990b

GLAGLIANONE *et al.*, 1987