



Salomão Alencar Serra Nunes

**Mapeamento Sísmico 3D de Rochas Magmáticas na Região da
Plataforma Continental da Bacia do Espírito Santo**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2018



UFRJ

Salomão Alencar Serra Nunes

**Mapeamento Sísmico 3D de Rochas Magmáticas na Região da Plataforma
Continental da Bacia do Espírito Santo**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi

João Paulo Miranda Oliveira

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2018

Serra Nunes, Salomão Alencar

Mapeamento Sísmico 3D de Rochas Magmáticas na Região da Plataforma Continental da Bacia do Espírito Santo:

Salomão Alencar Serra Nunes - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2018.

xi, 59 p.: il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2018.

Orientadores: Leonardo Borghi, João Paulo Miranda Oliveira

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Mapeamento Sísmico 3D de Rochas Magmáticas na Região da Plataforma Continental da Bacia do Espírito Santo.

Salomão Alencar Serra Nunes

MAPEAMENTO SÍSMICO 3D DE ROCHAS MAGMÁTICAS NA REGIÃO DA
PLATAFORMA CONTINENTAL DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi
João Paulo Miranda Oliveira

Aprovada em:

Por:

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

Profª. Dra. Cícera Neysi de Almeida (UFRJ)

Geólª. Cristina Almeida (Lagesed-UFRJ)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de forma direta, ou indireta, contribuíram com a realização desse trabalho de conclusão de curso;

A Deus e toda a minha família por sempre estarem ao meu lado, principalmente durante as maiores adversidades;

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED) da UFRJ pela infraestrutura. Graças ao laboratório eu não apenas consegui executar este trabalho, mas também ganhei ânimo e disposição para concluir minha graduação;

À ANP/BDEP pelo dado sísmico e de perfilagem geofísica de poço;

À empresa Oil and Natural Gas Corporation Limited – ONGC pela oportunidade de trabalhar em um projeto de iniciação científica, tornando assim possível a realização desse trabalho;

À Schlumberger por fornecer licenças acadêmicas do *software* Petrel utilizado nesse trabalho;

Ao meu orientador João Paulo Miranda Oliveira por todo o apoio. Desde o início do Projeto Delta II, ele sempre se mostrou paciente, amigo e um excelente coordenador;

Ao meu orientador Leonardo Borghi por estar sempre atento e interessado com o desenvolvimento dos bolsistas de graduação, e com a consequente evolução do laboratório;

Aos meus companheiros de laboratório pelo companheirismo, pelas conversas, e por todo apoio durante as pesquisas.

Às minhas amigas de graduação Carla Felix e Taís Cidade por terem me acompanhado nessa jornada desde os tempos do Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra;

Esses são meus sinceros agradecimentos a todos!

“Que Deus perdoe essas pessoas ruins.”
Adriano Leite Ribeiro

Resumo

Serra Nunes, Salomão Alencar. **Mapeamento Sísmico 3D de Rochas Magmáticas na Região da Plataforma Continental da Bacia do Espírito Santo**. 2018. xi, 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A bacia do Espírito Santo registra eventos tectonomagmáticos bem representativos, como o magmatismo de idade barremiana referente à Formação Cabiúnas, relacionado à abertura do Atlântico Sul, e outro que se instalou durante o Cenozoico, associado à Formação Abrolhos. Este estudo tem como objetivo o mapeamento e a caracterização sísmica 3D de rochas magmáticas, na região centro oeste da bacia do Espírito Santo, parte *offshore* plataformal, adjacente à desembocadura do paleocânion de Fazenda Cedro. Para este estudo, foram selecionados dois poços e um volume sísmico, que passaram pelo seguinte fluxo de trabalho: (1) análise e integração de dados sísmicos e de poços, incluindo amarração sísmica-poço; (2) interpretação estrutural e estratigráfica dos principais sismo-horizontes regionais; (3) interpretação do corpo magmático alvo de estudo; (4) geração de mapas de contornos estruturais, e (5) cálculo de área e volume do corpo magmático através do método *geobody*. Na primeira etapa, foram observados refletores de alta amplitude nos dados sísmicos, que através das informações dos poços, como variações presentes nos perfis, descrição cronoestratigráfica e interpretações de topos de formações, puderam ser calibrados e interpretados como a superfície de descolamento do sal, apresentando-se delgada na área de estudo; a discordância Pré-Urucutuca, responsável pela escavação dos principais paleocânions da bacia, associada aos carbonatos do topo da Formação Regência, o corpo magmático, foco deste estudo, e a discordância Paleoceno, facilmente observada na sísmica e nos poços. O corpo magmático interpretado é caracterizado por um refletor de alta amplitude, segmentado, que apresenta características petrofísicas como a redução abrupta do perfil de raios-gama, aumento do perfil resistividade, e um aumento dos perfis densidade e conseqüente redução no sônico. Com relação à geologia estrutural, as principais falhas reconhecidas foram as falhas lítricas associadas à superfície de descolamento do sal. Além das principais falhas, também foram reconhecidas feições sub-verticais, as quais foram interpretadas como caminhos preferenciais do material magmático, ou seja, os condutos. A partir do mapa de contorno estrutural do corpo magmático observou-se também que esses possíveis condutos possuem uma orientação diferente das falhas lítricas reconhecidas e se encontram verticalizados, em alguns momentos interceptando as falhas, que se mostram mais antigas do que as possíveis ocorrências intrusivas. Foi extraído também o *geobody* desse corpo magmático, o que possibilitou o reconhecimento de sua dimensão e expressão e, conseqüentemente, sua área. Ao relacionar o corpo magmático com as superfícies e discordâncias interpretadas, é possível discutir sua relação com os principais eventos magmáticos da bacia e seu caráter intrusivo ou extrusivo.

Palavras-chave: Interpretação sísmica 3D; Eventos magmáticos, Bacia do Espírito Santo.

Abstract

Serra Nunes, Salomão Alencar. **3D Seismic Mapping of Magmatic Rocks in the Continental Platform Region of the Espírito Santo Basin**. Ano. 2018, 59 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Espírito Santo basin records tectonomagmatic events which are very representative, such as the barremian magmatism related to the Cabiúnas Formation, linked to the opening of the South Atlantic, and another that was installed during the Cenozoic, associated to the Abrolhos Formation. This study aims to map and characterize a magmatic rock from 3D seismic, in the western central region of the Espírito Santo basin, offshore shelf part, adjacent to the Fazenda Cedro paleocanyon outfall. For this study, two wells and a seismic volume had been selected, which included the following workflow: (1) analysis and integration of seismic and well data, including seismic-well tie; (2) structural and stratigraphic interpretation of the main regional horizons; (3) interpretation of the magmatic body focus of this study; (4) structural contours maps generation, and (5) calculation of area and volume of the magmatic body through the geobody method. In the first step, high amplitude reflectors were observed in the seismic data, which through the information of the wells, such as variations in the logs, chronostratigraphic description and formations tops interpretations, could be calibrated and interpreted as the salt detachment surface, the Pré-Urucutuca unconformity, responsible for the excavation of the main paleocanyons of the basin, associated to the top of the Regencia Formation (carbonates), the magmatic body, focus of this study, and the Paleocene unconformity, easily observed in seismic and in wells. The interpreted magmatic body is characterized by a high amplitude and segmented reflector, which presents petrophysical characteristics such as the abrupt reduction on the gamma-ray and sonic logs and increase in the resistivity and density logs. Regarding the structural geology, the listric faults were mapped, associated to the salt detachment surface. Besides the main faults, sub-vertical features were also recognized, which were interpreted as preferential paths of the magmatic material, in other words, the conduits. From the structural contour map of this material, it was also observed that these possible conduits have a different orientation, compared with the listric, and they are vertical, eventually intercepting the faults, which are older than those possible intrusive occurrences. The geobody of this magmatic body was extracted, which allowed the recognition of its size and scope and, consequently, its area. By relating the magmatic body to the other surfaces and unconformities interpreted, it is possible to discuss about the important magmatic events in the basin, besides its intrusive or extrusive pattern.

Key-Words: 3D Seismic interpretation; Magmatic events; Espírito Santo basin.

Lista de figuras

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. O quadro tracejado mostra a localização do bloco de sísmica 3D, material do estudo. Em lilás o limite norte com a bacia de Mucuri e em vermelho o limite sul com a bacia de Campos, considerado neste estudo o EDVE. E em verde a feição do paleocânion de Fazenda Cedro.....	3
Figura 2 - Mapa de localização do volume sísmico, com destaque para as seções inlines, crosslines e arbitrárias, que serão apresentadas neste estudo. Observe que essas seções interceptam os dois poços obtidos, com exceção da seção In003.	6
Figura 3 - Padrões de terminação de reflexões/estratos nos limites superior e inferior de uma sequência sísmica/sequência deposicional (fonte: EMERY & MYERS, 1996).....	7
Figura 4 - Esquemas de padrões de configurações de fácies sísmicas (fonte: MITCHUM JR et al., 1977).....	8
Figura 5 - Geometrias externas características de algumas unidades de fácies sísmicas (fonte: MITCHUM JR et al., 1977).....	9
Figura 6 - Fluxo de trabalho do tecVA (fonte: modificado de BULHÕES & AMORIM, 2005).	10
Figura 7 - Fluxograma de trabalho.	12
Figura 8 - Principais superfícies identificadas na sísmica e seus comportamentos nos poços, através de perfis geofísicos e dados cronológicos. Setas em lilás indicam a superfície de descolamento do sal. O perfil composto (a) indicando a discordância Paleoceno pertence ao poço 78 e os outros dois perfis compostos (b e c) pertencem ao poço 49.....	13
Figura 9 - Predições de porosidade através da equação de tempo médio de Wyllie em (A) sedimentos (calcáreos), (B) basaltos oceânicos. A curva empírica se adequa para (C) sedimentos e (D) basaltos oceânicos. A equação de Wyllie superestima a porosidade através de uma ampla variedade de valores (fonte: BRERENTON & MCCANN, 1990)	15
Figura 10 - Subdivisão da província Mantiqueira, sendo o segmento setentrional correspondente à Faixa Araçuaí, que representa as rochas do embasamento da bacia do Espírito Santo (fonte: HEILBRON et al., 2004).....	17
Figura 11 - Diagrama estratigráfico da bacia do Espírito Santo. Indicados pelas caixas em lilás os principais eventos magmáticos registrados na bacia do Espírito Santo. Representados pelas linhas em roxo, verde e laranja, os principais sismo-horizontes reconhecidos nos poços e na sísmica (fonte: FRANÇA <i>et al.</i> , 2007)	19
Figura 12 - Esquema com as divisões de fácies para a Formação Abrolhos, bacia do Espírito Santo. Observe as fácies (A) cone, (B) proximal e (C) distal (fonte: MIZUSAKI et al., 1994).	22
Figura 13 - Perfil composto do poço 49. Observa-se uma diminuição na média do padrão de resposta dos perfis raios-gama e sônico, e um aumento no perfil densidade, na mudança dos siltitos da Formação Urucutuca para os carbonatos da Formação Regência. Linha em vermelho indicando a discordância Pré-Urucutuca (topo do Albiano – topo da Formação Regência).	25
Figura 14 - Perfil composto do poço 49 cortado para dar maior detalhe à rocha basáltica. Observa-se uma mudança (redução) do perfil sônico e aumento da resistividade, além de um abrupto aumento na densidade.	26
Figura 15 - Perfil composto do poço 78 editado para dar maior detalhe à discordância Paleoceno. Observa-se uma redução no perfil sônico, conseqüente de um aumento na densidade.	27

Figura 16 - Seção sísmica <i>dip</i> W-E com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus <i>welltops</i>	28
Figura 17 - Seção <i>dip</i> W-E com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase). Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus <i>welltops</i>	28
Figura 18 - Seção sísmica <i>dip</i> W-E, interpretada. Na figura é possível identificar os sismo-horizontes referentes à superfície de descolamento do sal (em lilás), discordância Pré-Urucutuca (verde), rocha basáltica (roxo) e discordância Paleoceno (laranja). Presença do poço 49 amarrado e seus <i>welltops</i>	29
Figura 19 - Seção sísmica <i>dip</i> W-E com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus <i>welltops</i>	30
Figura 20 - Seção <i>dip</i> W-E com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), sem interpretação.	31
Figura 21 - Seção sísmica <i>dip</i> W-E, interpretada, cortada para melhor visualização das falhas de crescimento. Em roxo representado o sismo-horizonte correspondente ao Aptiano e em verde escuro o sismo-horizonte correspondente ao Albiano.	32
Figura 22 - Seção sísmica <i>dip</i> NE-SW com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus <i>welltops</i>	33
Figura 23 – Seção arbitrária NE-SW com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), sem interpretação.	34
Figura 24 - Seção arbitrária NE-SW apresentando a rocha basáltica intrusiva (em roxo) interpretada e sua aparente relação com possíveis diques (linhas pontilhadas), que podem ter sido importantes para a condução desse material magmático.	35
Figura 25 - Mapa de contorno estrutural da unidade magmática interpretada, em planta, onde é possível identificar superfícies de falhas interpretadas através dos retângulos tracejados. O retângulo tracejado em vermelho indica a interferência de um possível dique, o qual pode ter servido como alimentador da rocha magmática interpretada. Na legenda, as cores frias indicam regiões mais baixas, enquanto as cores mais quentes indicam regiões mais altas.....	36
Figura 26 - Geobody (em verde). Os eixos presentes na figura representam a área da sísmica estudada. Em vermelho o poço 78 e em azul o poço 49. O retângulo tracejado em vermelho indicada a região onde se encontra um possível conduto da rocha magmática (dique alimentador). Visão em planta.....	38
Figura 27 - a) soleira interpretada; b) seção interpretada por Oreiro et al. (2008) mostrando feições intrusivas como diques alimentadores, e plano de falha preenchido por rochas ígneas, sendo um possível conduto; c) seção NE-SW com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), interpretada neste trabalho, na qual foram reconhecidos pelo menos duas sismofácies intrusivas, as soleiras indicadas pela letra S e os diques alimentadores, indicados pelas setas brancas.	40

Lista de quadros

Quadro 1 - Seções pertencentes ao volume sísmico 0258_3D_SPEC_BE49.3D.MIG_FIN.9 apresentadas neste trabalho, com exceção da In001, que foi importante para o reconhecimento dos sismo-horizontes a partir do poço 78.	4
Quadro 2 - Poços utilizados no trabalho, com suas respectivas profundidades (<i>Measured Depth</i> – MD) e os códigos que serão utilizados no decorrer do texto.	5
Quadro 3 - Checkshot do poço 78, mostrando a profundidade medida (<i>Measured Depth</i> - MD), em metros, e o tempo simples de trânsito da onda elástica (<i>One Way Time</i> - <i>OWT</i>), em milissegundos.	5

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vii
<i>Abstract</i>	viii
Lista de figuras	ix
Lista de quadros.....	xi
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo	2
1.1.1 Objetivos específicos	2
1.2 Área de estudo	2
1.3 Materiais	3
1.4 Métodos	6
1.4.1 Sísmico de reflexão	6
1.4.2 Atributos sísmicos.....	9
1.4.3 Análise dos dados sísmicos.....	11
1.4.4 Características petrofísicas de rochas magmáticas.....	14
2 Contexto geológico.....	16
2.1 Evolução tectonossedimentar	18
2.2 Eventos magmáticos	20
3 Resultados.....	24
3.1 Interpretação regional dos dados	24
3.2 Interpretação estrutural	30
3.3 Área do corpo magmático.....	37
3.4 Discussão	38
4 Conclusões.....	43
Referências bibliográficas	44

1 INTRODUÇÃO

A separação entre América do Sul e África, processo que ocorreu aproximadamente entre o Neojurássico e Eocretáceo, foi acompanhada e sucedida por diversos eventos magmáticos (MIZUSAKI *et al.*, 1992). A bacia do Espírito Santo, em específico, registra pelo menos dois eventos magmáticos regionais. O magmatismo Paraná-Etendeka, de idade Cretáceo Inferior, o qual impulsionou o rifteamento e a abertura do Atlântico Sul, que está relacionado à Formação Cabiúnas (MIZUSAKI, *et al.* 1994). E o magmatismo Abrolhos, de idade Paleoceno/Eoceno, que é caracterizado por um evento magmático associado às falhas transformantes, formadas durante a abertura do oceano Atlântico, que ao se reativarem geraram fusão parcial da astenosfera, assim, se manifestando através de magmatismos na região de plataforma continental (MIZUSAKI *et al.*, 1992), representado pela Formação Abrolhos (MIZUSAKI *et al.*, 1994).

Esses eventos magmáticos já foram bem estudados, no entanto, ainda existem algumas regiões as quais possuem pontuais manifestações magmáticas que não foram inseridas nos contextos dos magmatismos já conhecidos na bacia, como os associados às formações Cabiúnas e Abrolhos, podendo até mesmo pertencer a eventos de menores proporções, restritos e de caráter intrusivo, os quais podem ser interpretados como pertencentes a uma fase tardia do magmatismo de Abrolhos (SOBREIRA, 1997 *apud* SOBREIRA & SZATMARI, 2001).

Com isso, o presente trabalho tem o interesse de caracterizar, através de sísmica 3D, rochas magmáticas observadas na porção centro oeste da bacia do Espírito Santo, na região *offshore* plataformal em frente à desembocadura do paleocânion de Fazenda Cedro, visando uma discussão dos principais eventos magmáticos, além de verificar o possível caráter intrusivo ou extrusivo e expressão dessa unidade.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo principal o mapeamento e a caracterização sísmica 3D de rochas magmáticas na porção centro oeste da bacia do Espírito Santo, na região *offshore* plataformal, em frente à desembocadura do paleocânion de Fazenda Cedro, visando uma discussão dos principais eventos magmáticos registrados na bacia.

1.1.1 Objetivos específicos

- Interpretar os principais sismo-horizontes regionais e a unidade magmática, gerar mapa de contorno estrutural da mesma e verificar o seu possível caráter intrusivo ou extrusivo, incluindo a interpretação de possíveis condutos;
- Calcular a área da ocorrência magmática com a finalidade de compreender a expressão desse corpo magmático na área estudada.

1.2 Área de estudo

Este estudo foi realizado na porção centro oeste da bacia do Espírito Santo, na região *offshore* plataformal em frente à desembocadura do paleocânion de Fazenda Cedro, em uma área com aproximadamente 535,22 km² (Figura 1). A bacia do Espírito Santo tem como limite, a norte, a bacia de Mucuri (FRANÇA *et al.*, 2007). As bacias do Espírito Santo e Mucuri foram individualizadas preferencialmente com base em critérios geográficos, divisa Espírito Santo-Bahia (VIEIRA *et al.*, 1994). Como limite, a sul, as bacias do Espírito Santo e Campos são individualizadas através do alto de Vitória, proposto por França *et al.* (2007), ou

ainda através do Enxame de Diques Vitória-Ecoporanga (EDVE), segundo Aristizábal (2013), que foi utilizado neste trabalho (Figura 1).

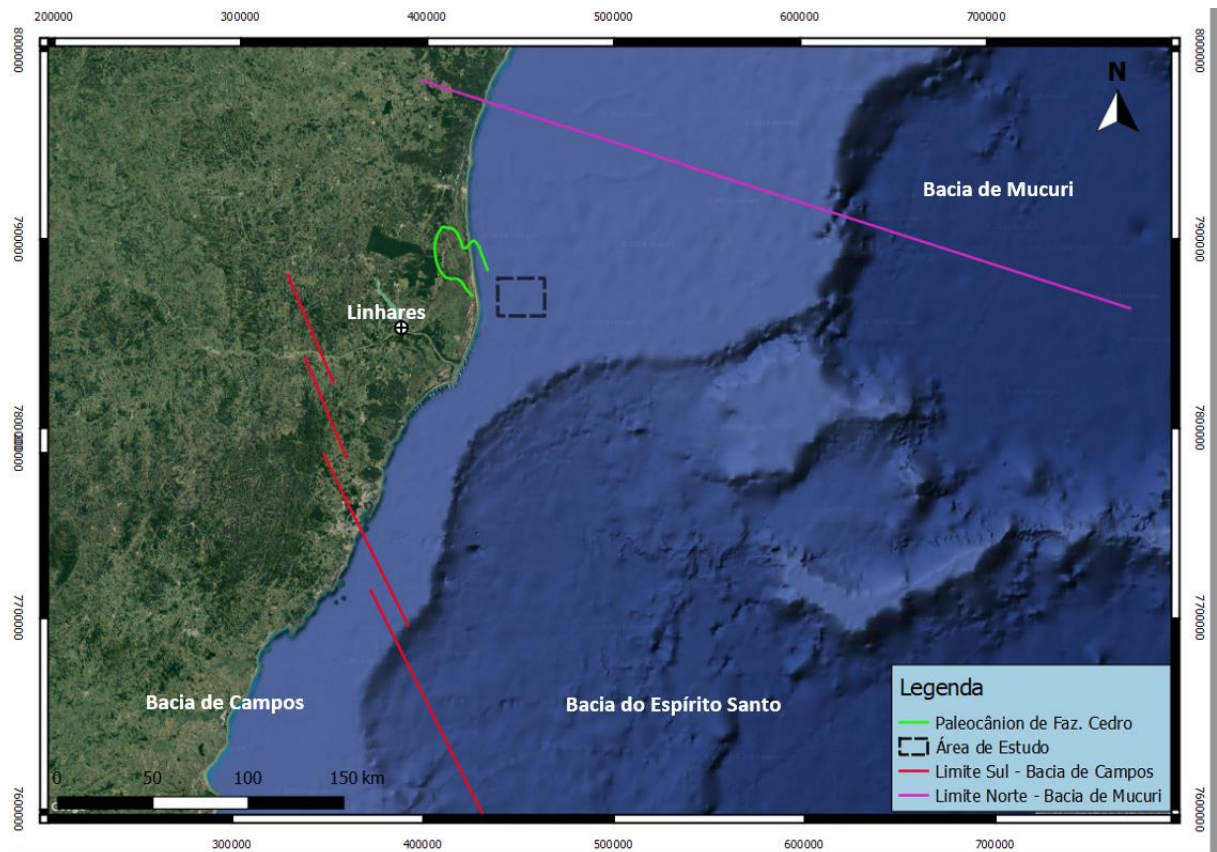


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. O quadro tracejado mostra a localização do bloco de sísmica 3D, material do estudo. Em lilás o limite norte com a bacia de Mucuri e em vermelho o limite sul com a bacia de Campos, considerado neste estudo o EDVE. E em verde a feição do paleocânion de Fazenda Cedro.

1.3 Materiais

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do Banco de Dados de Exploração e Produção da Agência Nacional do Petróleo (BDEP/ANP), obtidos pelo Projeto Delta II, intitulado “Geoarquitetura do Complexo Deltaico do Rio Doce e seu papel na transferência sedimentar para águas profundas: um análogo moderno à acumulação dos arenitos

reservatórios de Parque das Conchas” (ONGC/COPPETEC/Lagesed-UFRJ), através da política de obtenção de dados públicos como usuário eventual, com ofício de número PED 7919/BR9302.

Para realização do trabalho foi selecionado um volume sísmico, no formato SEG-Y, processado (*pos-Stacking*), com área de 535,22 km². Não foi feito nenhum tipo de processamento nos dados, apenas um controle de qualidade antes da interpretação. Neste trabalho, serão apresentadas três seções sísmicas, duas seções *inlines*, uma linha arbitrária (Quadro 1, Figura 2), por representarem melhor os principais sismo-horizontes regionais interpretados e a presença de rochas intrusivas, além de estarem posicionadas próximas aos poços utilizados. Com relação aos poços, foram utilizados dois poços, 78 e 49 (Quadro, Figura 2). O poço 78 apresenta perfil composto, com descrição cronoestratigráfica, *checkshot*, que consiste em um dado que determina o tempo de trânsito da onda sísmica em relação às formações contidas no poço, (Quadro 3) em tempo simples (*One Way Time – OWT*) e curvas básicas no formato LAS, tais como raios-gama (RG), sônico (DT), densidade (RHOB), resistividade e porosidade neutrão (NPHI). Já o poço 49 apresenta apenas perfil composto, como informações cronoestratigráficas.

Quadro 1 - Seções pertencentes ao volume sísmico 0258_3D_SPEC_BE49.3D.MIG_FIN.9 apresentadas neste trabalho, com exceção da In001, que foi importante para o reconhecimento dos sismo-horizontes a partir do poço 78.

Inline	Linha Arbitrária
In001	R001
In002	-
In003	-

Quadro 2 - Poços utilizados no trabalho, com suas respectivas profundidades (*Measured Depth – MD*) e os códigos que serão utilizados no decorrer do texto.

Prefixo	Código	Profundidade (m)
1-BRSA-78-ESS	78	4162,0
1-ESS-0049-ES	49	5407,0

Quadro 3 - Checkshot do poço 78, mostrando a profundidade medida (*Measured Depth - MD*), em metros, e o tempo simples de trânsito da onda elástica (*One Way Time - OWT*), em milissegundos.

MD (m)	OWT
1500.0	591.5
1944.0	723.7
1998.0	738.6
2040.0	776.4
2394.0	858.2
2844.0	991.0
2970.0	1026.2
3240.0	1097.0
3492.0	1158.0
3516.0	1163.8
3650.0	1197.2
3750.0	1220.6
3815.0	1236.0
3860.0	1247.1
3880.0	1251.3
3915.0	1260.6
4000.0	1280.7
4055.0	1293.8
4100.0	1303.7
4145.0	1314.5

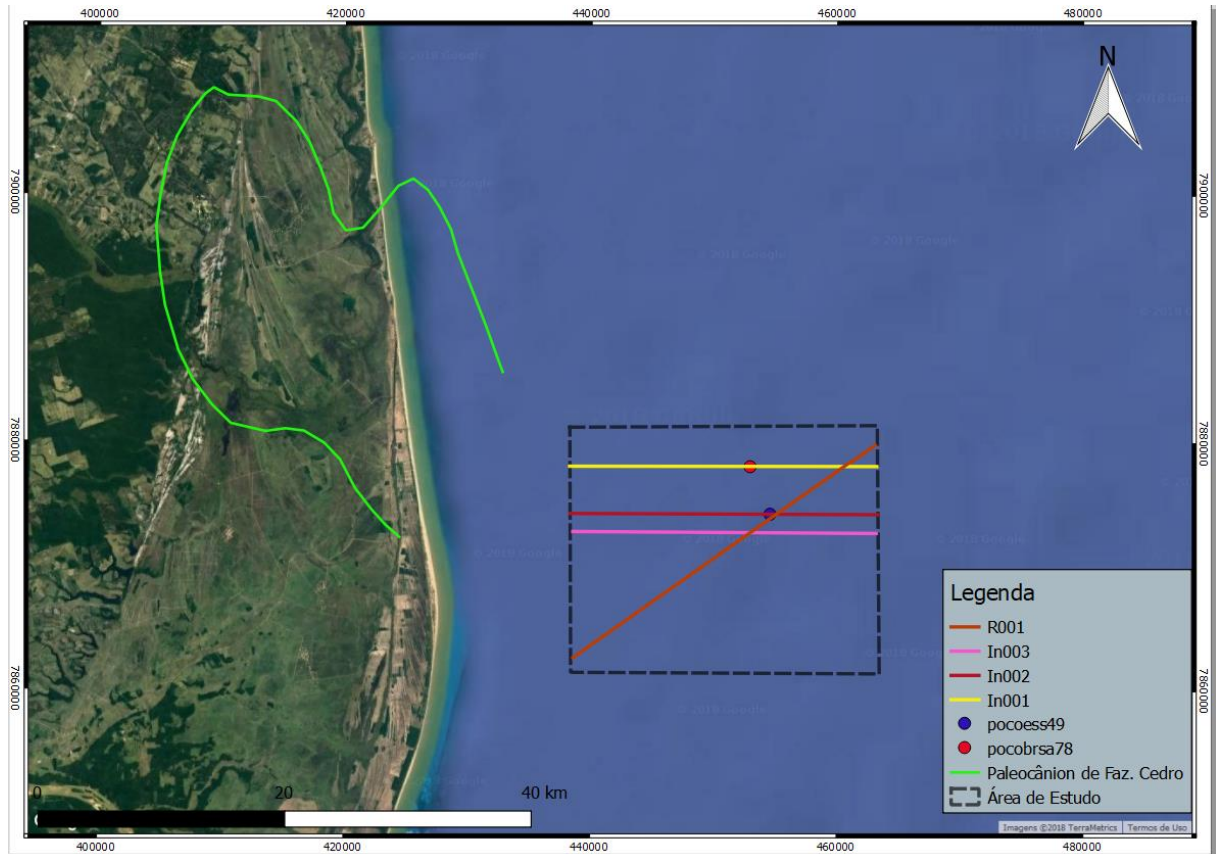


Figura 2 - Mapa de localização do volume sísmico, com destaque para as seções inlines, crosslines e arbitrárias, que serão apresentadas neste estudo. Observe que essas seções interceptam os dois poços obtidos, com exceção da seção In003.

Tanto os dados sísmicos quanto os de poços foram carregados, correlacionados e interpretados nas suítes PETREL® (Schlumberger), versão 2016.3. Os mapas de localização foram gerados utilizando o programa QGis 2.18.8.

1.4 Métodos

1.4.1 Sísmica de reflexão

Como um dos mais utilizados métodos de prospecção geofísica, a sísmica de reflexão se mostra importante e útil em estudo de subsuperfície, na determinação de estruturas e superfícies geológicas (SHERIFF, 2002). O método sísmico utiliza ondas elásticas geradas

artificialmente, as ondas que são refletidas em interfaces presentes em subsuperfície geram refletores através de um contraste de impedância, que é o produto entre a velocidade e a densidade do meio (TELFORD *et al.*, 1976). Os refletores que apresentam uma boa continuidade lateral são excelentes para demarcação de sismo-horizontes, assim, sendo possível estabelecer superfícies estratigráficas que separam camadas com impedância distinta (SHERIFF, 2002).

A interpretação sísmica consiste em reconhecer e demarcar as terminações dos refletores sísmicos. Os padrões de terminações mais reconhecidos e utilizados são: *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncamento erosivo e por falha. (EMERY & MYERS, 1996) (Figura 3).

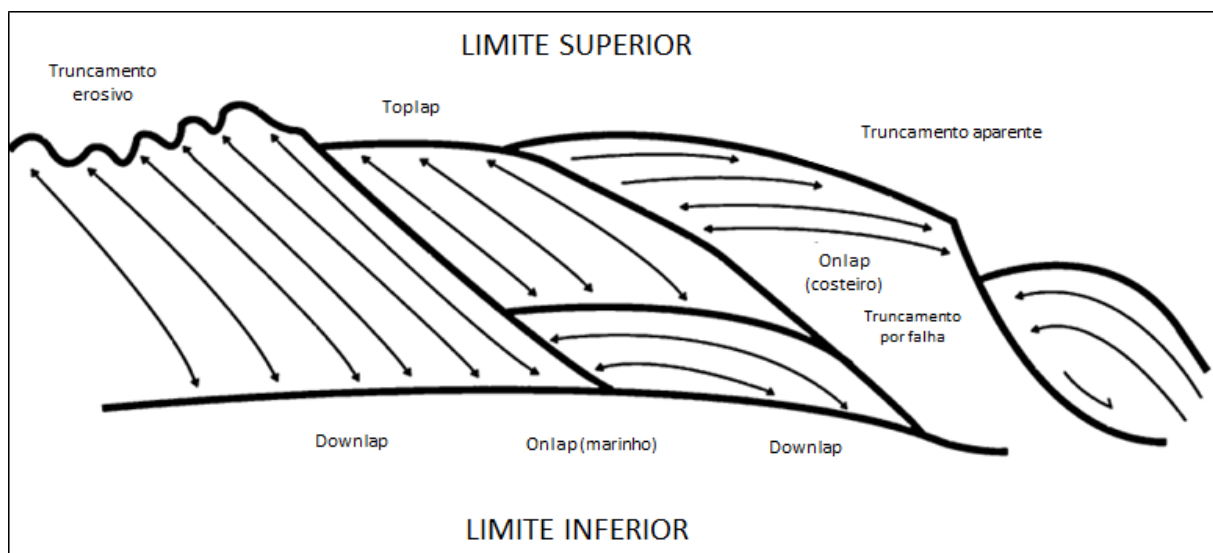


Figura 3 - Padrões de terminação de reflexões/estratos nos limites superior e inferior de uma sequência sísmica/sequência deposicional (fonte: EMERY & MYERS, 1996).

Os padrões de terminação de reflexões determinam não só os limites de uma sequência, mas representam superfícies que delimitam unidades sísmicas (EMERY & MYERS, 1996). As terminações podem auxiliar na delimitação de sequências sísmicas, que são subdivisões de uma seção sísmica em pacotes de reflexões concordantes, limitados por discontinuidades (SEVERIANO RIBEIRO, 2001), sendo possível definir unidades estratigráficas limitadas por discordâncias, as quais, ao serem mapeadas, são indispensáveis para o estudo estratigráfico de

bacias. Com o reconhecimento de sequências sísmicas é possível um reconhecimento e estudo mais detalhado de fácies sísmicas (OLIVEIRA, 2015).

As fácies sísmicas são unidades tridimensionais descritas a partir de parâmetros dos padrões de reflexão, tais como configuração, continuidade, amplitude, frequência e geometria (SEVERIANO RIBEIRO, 2001). Dentro deste trabalho a identificação de sismofácies foi feita com base nos padrões de amplitudes, terminação (Figura 3) e geometria dos refletores (Figuras 4 e 5), além da continuidade dos refletores, utilizando as informações dos poços para calibração, um método auxiliar à sísmica, o que possibilitou mapear os principais sismo-horizontes nas seções sísmicas.

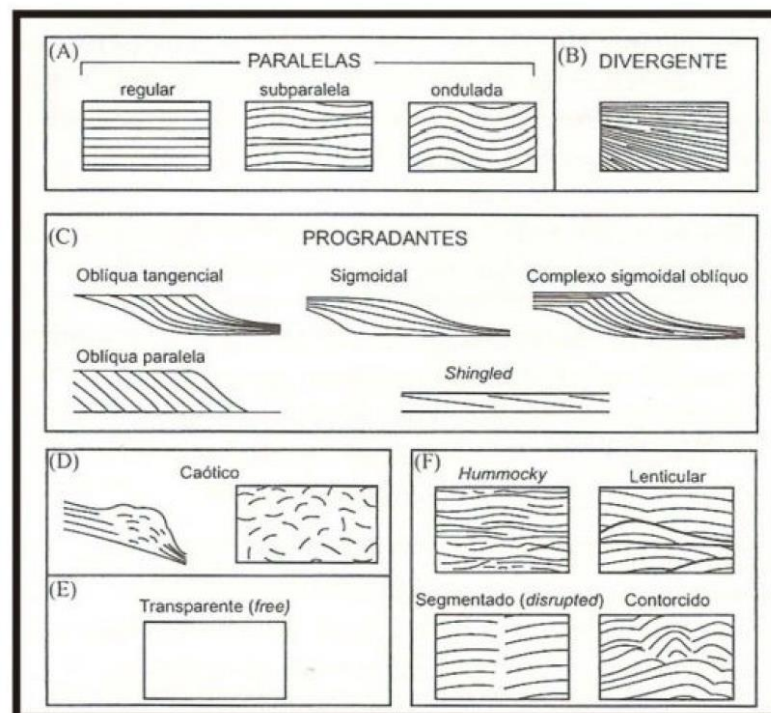


Figura 4 - Esquemas de padrões de configurações de fácies sísmicas (fonte: MITCHUM JR et al., 1977).

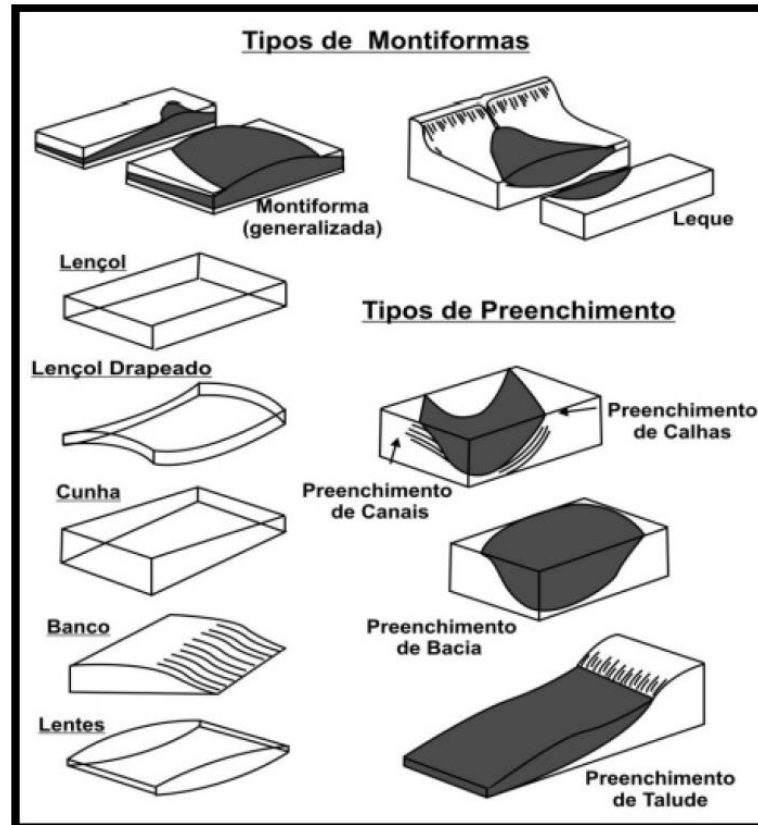


Figura 5 - Geometrias externas características de algumas unidades de fácies sísmicas (fonte: MITCHUM JR et al., 1977).

1.4.2 Atributos sísmicos

Atributos sísmicos são medidas, características ou propriedades derivadas de dados sísmicos (SCHLUMBERGER, 2011). De acordo com Barnes (2001), os atributos sísmicos quantificam características específicas, além de decompor dados sísmicos em atributos integrados.

Os atributos podem ser medidos em escalas pontuais ou em uma janela de tempo, e podem ser aplicados em superfícies ou extraídos de volumes sísmicos (ASTRATTI *et al.*, 2012). A aplicação de atributos é útil porque auxilia na extração de padrões, relações entre diferentes interfaces ou tratos que podem não estar aparentes. A dedução ou cálculo de atributos sísmicos tipicamente envolve o tratamento do dado, configurações de diferentes

janelas, suavização, aplicação de filtros, dentre outros (ASTRATTI *et al.*, 2012), o que aprimora a qualidade do dado durante a interpretação.

Dentre os atributos utilizados neste trabalho, destaca-se a Técnica Volume de Amplitudes (tecVA) de Bulhões & Amorim (2005), que se mostrou bastante eficaz para realçar as superfícies discordantes regionais, e as feições relacionadas à rocha magmática, que é de interesse deste trabalho.

A tecVA tem como objetivo a geração de mapas de amplitude e faz com que os dados sísmicos tenham a geologia em subsuperfície evidenciada. É bastante utilizado em trabalhos voltados para a área de exploração, para identificação de sequências sísmicas, unidades estratigráficas e discordâncias geológicas (BULHÕES & AMORIM, 2005). É uma técnica composta por três etapas, que consistem na aplicação de diferentes atributos: (1) *RMS Amplitude*; (2) *Remove bias* e (3) *Phase Shift* (Figura 6).

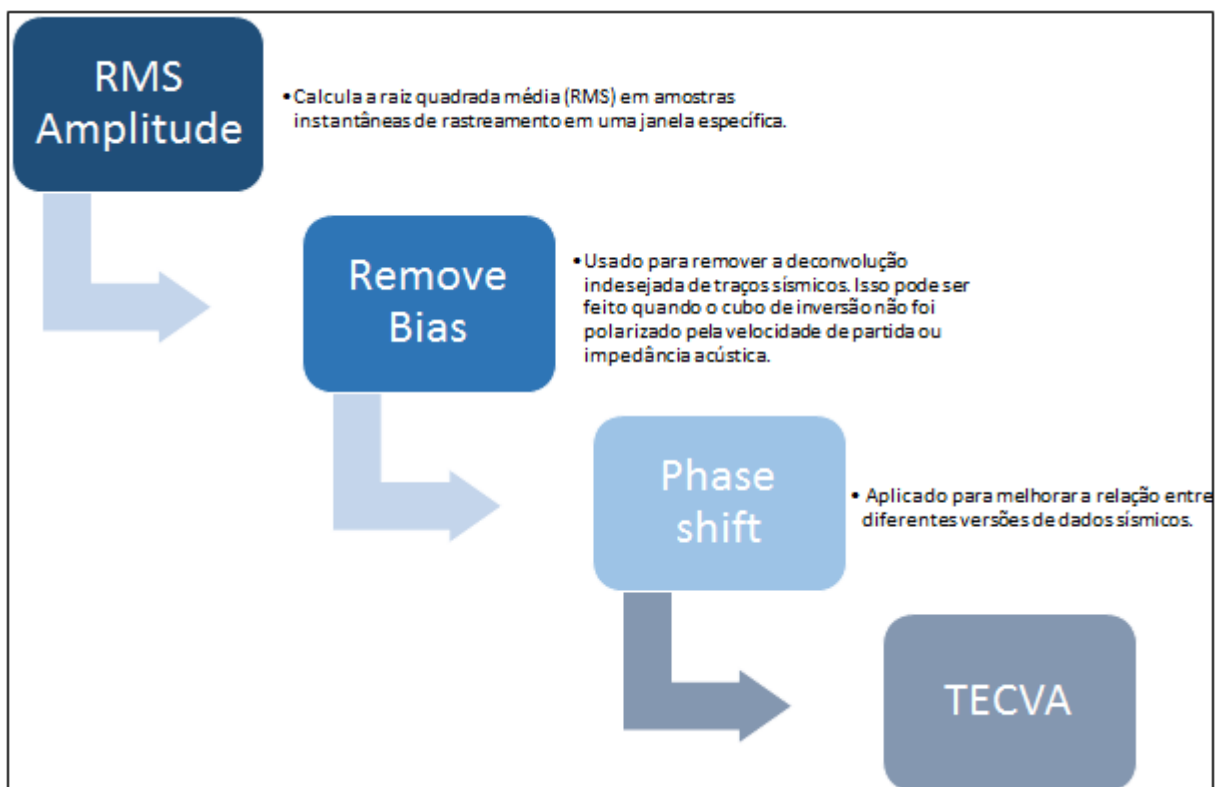


Figura 6 - Fluxo de trabalho do tecVA (fonte: modificado de BULHÕES & AMORIM, 2005).

A média RMS é usada com o objetivo de eliminar a frequência portadora, assim, apenas a informação desejada foi extraída, como por exemplo discordâncias e falhas. A rotação de fase foi aplicada para controlar a fase do dado sísmico, através disso é possível realçar os altos contrastes de impedância. Combinando esses dois atributos com o filtro *remove bias*, que remove a deconvolução indesejada da onda (ruídos) (BULHÕES & AMORIM, 2005).

No dado sísmico 3D analisado, o RMS Amplitude obteve um aprimoramento na visualização das amplitudes mais inferiores, as quais não são tão perceptíveis com o dado bruto, uma vez que ocorre uma perda natural da resolução à medida em que se alcança regiões mais profundas. O atributo *remove bias*, importante na remoção de ruídos, foi fundamental para diferenciar as feições ruidosas das feições com importância geológica. Já com *phase shift*, e seu conseqüente realce nos altos contrastes de impedância, foi possível melhorar a visualização de discordâncias, feições estratigráficas e estruturais, além das feições associadas à rocha magmática alvo deste estudo. A tecVA foi aplicada com uma rotação de 90°, fazendo com que o dado sísmico convencional se assemelhe a visão de afloramento, o que torna o reconhecimento dos sismo-horizontes muito mais prático.

Com a aplicação da tecVA, os refletores referentes à superfície de descolamento do sal, discordância Pré-Urucutuca, rocha magmática e discordância Paleoceno ganharam maior destaque e puderam ser melhor identificadas.

1.4.3 Análise dos dados sísmicos

O trabalho de análise e interpretação passou pelo seguinte fluxo de trabalho (Figura 7):
(1) análise e integração de dados sísmicos e de poços, incluindo amarração sísmica-poço e aplicação de atributo sísmico; (2) interpretação estrutural e estratigráfica dos principais sismo-

horizontes regionais; (3) interpretação da unidade magmática alvo do estudo e seus possíveis condutos; (4) geração de mapa de contorno estrutural da unidade vulcânica; e (5) cálculo de área da unidade magmática através do método *geobody*.

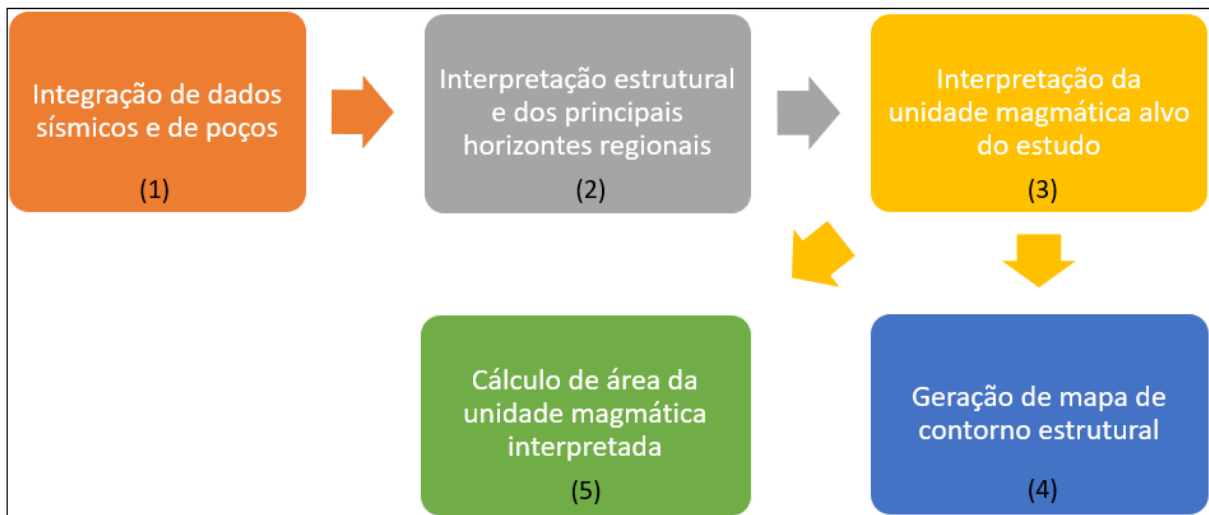


Figura 7 - Fluxograma de trabalho.

A primeira etapa consistiu em uma análise dos dados sísmicos, observando os refletores de maior amplitude e maior continuidade lateral. Com isso, foi feita uma análise nos perfis geofísicos dos poços, principalmente o sônico, que registra as diferentes leituras de tempo de trânsito entre uma emissão da onda e a detecção do primeiro sinal, assim tendo uma resposta parecida com as das ondas elásticas registradas no método sísmico de reflexão. O tratamento do dado sísmico a partir da aplicação de atributos sísmicos, como a tecVA, também fez parte da primeira etapa do fluxo de trabalho. Após isso, foi feita a calibração sísmica-poço, através do *checkshot* do poço 78 e da In001/X001. Por meio dessa calibração e da descrição cronoestratigráfica do poço, foi possível interpretar o sismo-horizonte associado à discordância Paleoceno. O poço 78 foi perfurado até a profundidade 4162.0, assim, não sendo possível identificar as amplitudes sísmicas mais profundas. A partir disso, o mapeamento da discordância Paleoceno foi repassada para as outras seções até atingir a In002/X001, onde se encontra o poço 49. Foi criado para esse poço um pseudo *checkshot*, associando as

discordâncias Pré-Urucutuca e Paleoceno às profundidades das unidades cronoestratigráficas descritas, uma vez que o poço 49 foi perfurado até a profundidade relacionada ao Albiano, sendo também possível identificar a presença das rochas magmáticas. A interpretação da unidade magmática foi realizada a partir das informações dos perfis compostos, associadas a um sismo-horizonte segmentado, de alta impedância, que são característicos dessa unidade interpretada. Como a superfície de descolamento do sal não é interceptada por nenhum poço dentro da área de estudo, ela foi interpretada principalmente pelo padrão de sismofácies, caracterizada por um refletor contínuo, lateralmente extenso e de alta impedância, associada à junção basal das falhas lítricas originadas pela movimentação do sal. Após essa etapa inicial foi possível preparar um quadro esquemático (Figura 8) com os principais sismo-horizontes identificados, perfis geofísicos de poços e idades, tomando como base critérios utilizados em trabalhos anteriores, como de Oliveira (2015) e Péron-Pinvidic *et al.*, (2007).

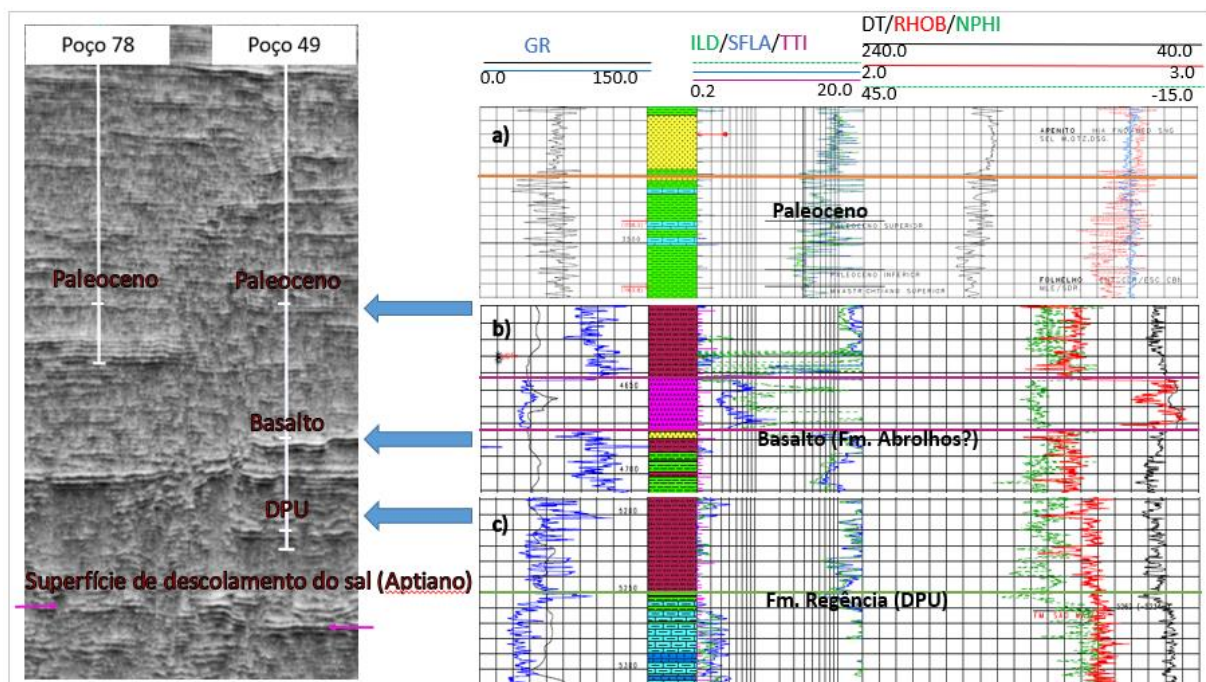


Figura 8 - Principais superfícies identificadas na sísmica e seus comportamentos nos poços, através de perfis geofísicos e dados cronológicos. Setas em lilás indicam a superfície de descolamento do sal. O perfil composto (a) indicando a discordância Paleoceno pertence ao poço 78 e os outros dois perfis compostos (b e c) pertencem ao poço 49.

Por último foi elaborado o mapa de contorno estrutural do sismo-horizonte referente à rocha magmática, o que possibilitou uma visão tridimensional em superfície, melhorando a compreensão das feições discordantes. Foi aplicado também o método *geobody*, que possibilitou o cálculo de área da rocha magmática, o que também evidenciou a sua extensão lateral e a espessura.

O método *geobody* foi aplicado seguindo as sugestões do próprio manual do software PETREL®. O *geobody* é um objeto extraído de um volume sísmico a partir, principalmente, de refletores de alta amplitude, sendo elaborado através da manipulação da opacidade, isolamento do corpo e extração. Para uma melhor extração do corpo foi utilizado o atributo sísmico *RMS Amplitude*, o mesmo que já foi explicado anteriormente na aplicação da tecVA.

1.4.4 Características petrofísicas de rochas magmáticas

Os diferentes tipos de rochas apresentam características petrofísicas diferenciadas, Segundo Rider (2002), as diferentes velocidades das ondas sônicas são importantes para se diferenciar rochas de naturezas diferentes, como por exemplo basaltos e as outras diversas rochas sedimentares. O perfil densidade, assim como a resistividade, tende a aumentar devido a uma maior compactação e à baixa porosidade da rocha magmática em relação às outras, tais como as siliciclásticas e carbonáticas (Figura 9).

As rochas magmáticas, dependendo de teores baixos ou elevados dos elementos urânio, tório e potássio, também podem apresentar variações no perfil de raios-gama. O mesmo acontece com o FeO, um maior enriquecimento não significa um maior teor, assim, não sendo possível estabelecer uma relação direta com os perfis de resistividade.

Os dados geofísicos de poços disponíveis não caracterizam fielmente as rochas magmáticas de acordo com suas características litogeoquímicas e mineralógicas, o que pode ser ainda menos preciso em casos de rochas geradas por diferentes graus de fusão parcial, o que é o caso do magmatismo Abrolhos (ARENA, 2008).

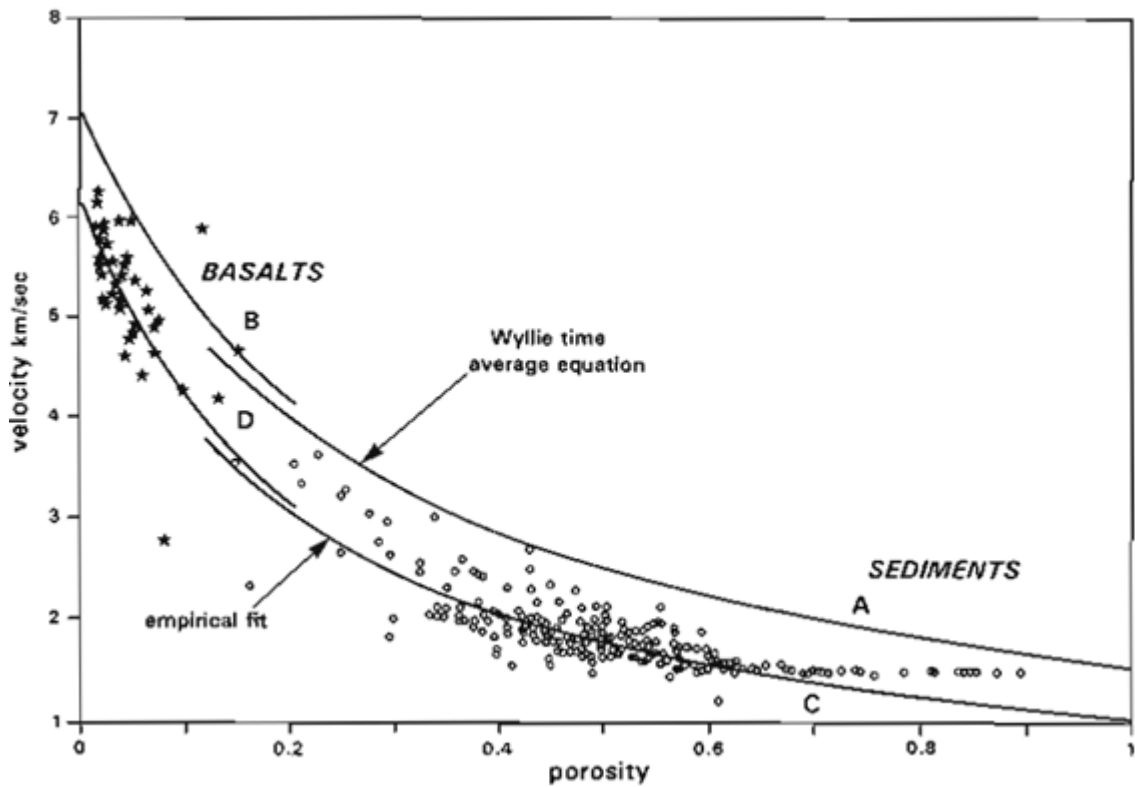


Figura 9 - Predições de porosidade através da equação de tempo médio de Wyllie em (A) sedimentos (calcáreos), (B) basaltos oceânicos. A curva empírica se adequa para (C) sedimentos e (D) basaltos oceânicos. A equação de Wyllie superestima a porosidade através de uma ampla variedade de valores (fonte: BRERENTON & MCCANN, 1990)

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia sedimentar do Espírito Santo está localizada na margem continental brasileira e tem sua evolução tectonoestratigráfica totalmente relacionada com as demais bacias de margem leste, a partir da ruptura do paleocontinente Gondwana (FRANÇA *et al.*, 2007).

A bacia está situada na região da Província Mantiqueira, tendo sua estruturação principal associada ao contexto da Faixa Araçuaí, setor setentrional da Província Mantiqueira, que representa a faixa de dobramentos que ocorreram durante o evento Panafricano-Brasiliano (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2007). Os cinturões de dobramento são caracterizados por estruturas de direção NE-SW na região da margem leste e sudeste brasileira, e bacias como a do Espírito Santo e Santos, associadas a uma zona transpressiva dextral, que se formou ao longo dessas estruturas reativadas durante a abertura do Atlântico Sul (RADAMBRASIL; 1983; SZATMARI *et al.*, 1984; COBBOLD *et al.*, 2001).

O embasamento é composto basicamente por rochas de natureza granito-gnáissica, como migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitoides (GUEIROS, 1977 e FRANÇA *et al.*, 2007), pertencentes à Faixa Araçuaí (Figura 10) (HEILBRON *et al.*, 2004). Essas rochas são de idade arqueana, e foram retrabalhadas parcialmente durante os ciclos Transamazônico e Brasiliano (FRANÇA *et al.*, 2007).

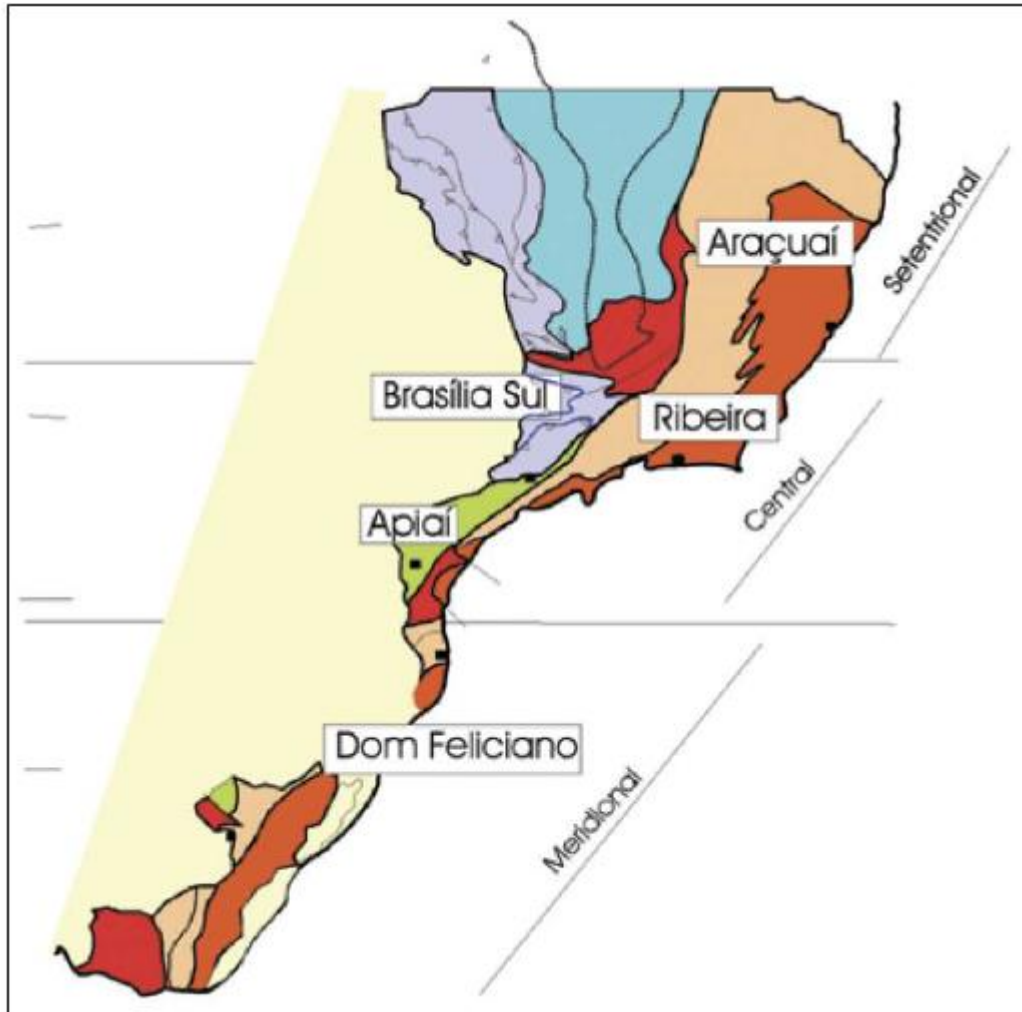


Figura 10 - Subdivisão da província Mantiqueira, sendo o segmento setentrional correspondente à Faixa Araçuaí, que representa as rochas do embasamento da bacia do Espírito Santo (fonte: HEILBRON et al., 2004).

Segundo Motoki *et al.*, 2007, as rochas metamórficas que compõem o embasamento também apontam sistemas de fraturas que possuem relação com zonas de cisalhamento que apresentam preferencialmente direções de N10-N30W, correspondentes ao enxame de diques vitória-ecoporanga e Faixa Colatina. Com ocasionais variações para NW-SE, esse conjunto de feições estruturais ocorrem por toda a bacia e podem ter exercido influência nas instalações desses enxames de diques.

2.1 Evolução tectonossedimentar

A evolução estratigráfica da bacia é dividida em 3 fases principais, seguindo o modelo e o diagrama estratigráfico (Figura 11) proposto por França, *et al.*, (2007). A fase rifte, do Valanginiano ao Aptiano Inferior, ocorreu, principalmente, deposição em ambiente lacustre com entrada de sedimentos fluviais e aluviais, nas bordas das falhas reativadas do embasamento Pré-cambriano, com estruturação preferencial de direção N-NE (CORDANI *et al.*, 1984), e de carbonatos depositados em altos estruturais. Pulsos tectônicos podem ser evidenciados a partir dos conglomerados sintectônicos formados nas bordas dessas falhas e através do magmatismo Paraná-Etendeka, associado à separação entre América do Sul e África, ambos representados pelas formações Cricaré e Cabiúnas, respectivamente, do Grupo Nativo.

Durante a fase Pós-rifte (Eo ao Mesoaptiano) houve a deposição de sedimentos siliciclásticos e evaporíticos, resultado das primeiras incursões na bacia, sendo esta fase composta pelos membros Mucuri e Itaúnas, da Formação Mariricu. Já na fase drifte, datada do Albiano ao Recente, ocorreram os depósitos mais espessos da bacia do Espírito Santo, típicos de ambiente marinho e marinho/continental, em um contexto onde o Atlântico Sul encontra-se já aberto. Ao longo dessa fase ocorreram diferentes eventos que culminaram em discordâncias regionais que são bem evidentes nos poços e em sísmica. Como exemplos, a discordância Pré-Urucutuca (DPU), que foi responsável pela escavação dos principais paleocânions presentes na bacia; a discordância Paleoceno, que demarca o limite inferior de uma sequência retrogradante e é facilmente identificável nos poços e seções sísmicas; e a do Pré-Eoceno Superior (DPES), que representa um importante evento eustático na bacia há cerca de 40 Ma (FRANÇA *et al.*, 2007).

Ainda nessa fase, devido às mudanças relevantes no estilo tectônico da bacia e à subsidência associada à redução do gradiente térmico, os sais solúveis sotopostos sofreram escorregamento e formaram as feições de “jangadas” (FRANÇA *et al.*, 2007). Tal movimentação do sal proporcionou uma tectônica extensional, gerando falhas listricas (MOHRIAK, 2003). Esta fase é representada pelo Grupo Barra nova e pelo Grupo Espírito Santo, que engloba o evento Cenozoico magmático de Abrolhos, sendo o primeiro composto pelas formações São Mateus e Regência, e o último pelas formações Urucutuca, Abrolhos, Caravelas e Rio Doce.

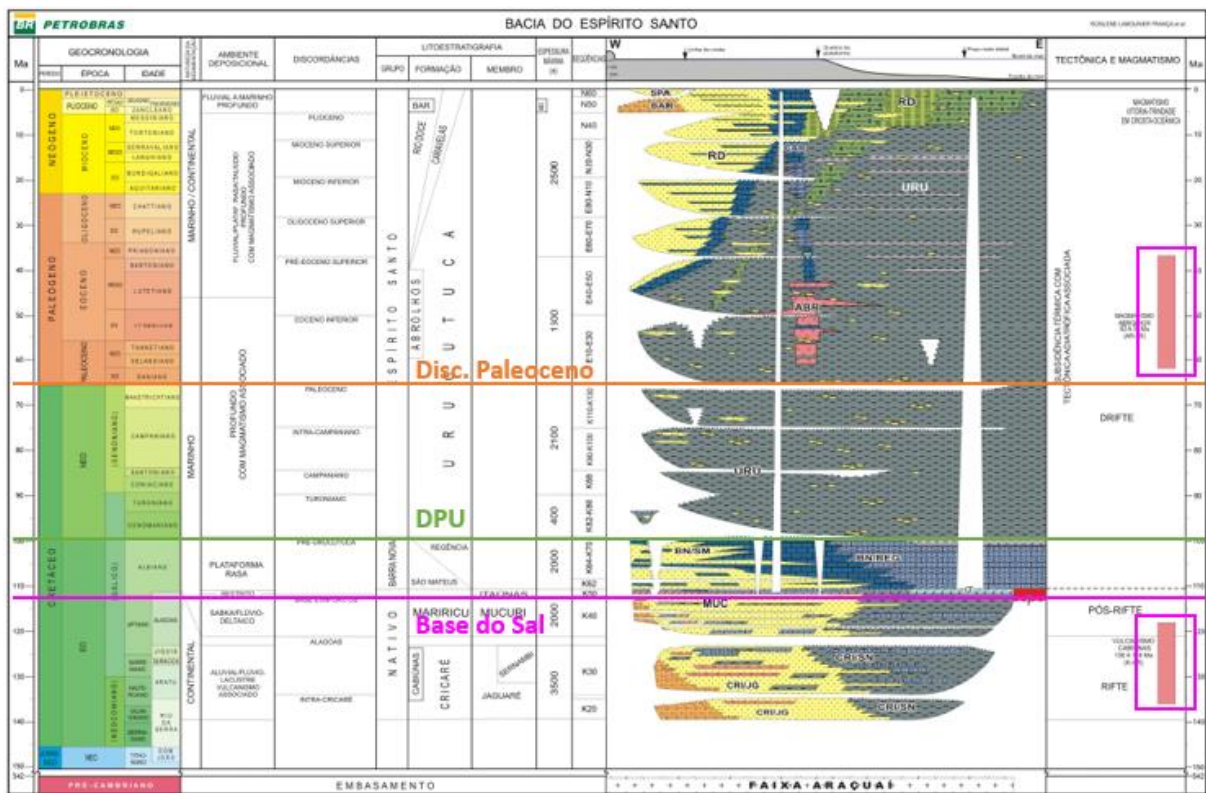


Figura 11 - Diagrama estratigráfico da bacia do Espírito Santo. Indicados pelas caixas em lilás os principais eventos magmáticos registrados na bacia do Espírito Santo. Representados pelas linhas em verde e laranja, os principais sismo-horizontes reconhecidos nos poços e na sísmica (fonte: FRANÇA *et al.*, 2007)

2.2 Eventos magmáticos

Segundo Mizusaki *et al.* (1994), através de análises mineralógicas, químicas e petrológicas elaboradas em testemunho e amostras de calha em poços da bacia do Espírito Santo, foi possível identificar e caracterizar pelo menos dois eventos magmáticos regionais. Um representado pela Formação Cabiúnas, de idade Cretáceo Inferior, relacionado ao Magmatismo Paraná-Etendeka, o qual impulsionou o rifteamento na região do Atlântico Sul. E o outro, representado pela Formação Abrolhos, de idade Paleoceno/Eoceno, que possui dois modelos geológicos. Segundo França *et al.* (2007) o vulcanismo Cabiúnas ocorreu na fase rifte e se manifestou principalmente através de derrames basálticos, vulcanoclásticas e tufos vulcânicos, que se intercalam com as unidades da Formação Cricaré. Datações feitas utilizando o método K/A indicam idades entre 118 e 136 Ma para os basaltos das intercalações (França *et al.*, 2007). No trabalho de Mizusaki *et al.* (1994), verificou-se que a Formação Cabiúnas ocorre principalmente na região *onshore* da bacia do Espírito Santo, contudo, não se tem uma estimativa real das dimensões regionais deste magmatismo. Os corpos ígneos são, geralmente, de seção tabular e constituídos de rocha ígneo-básica. Já na região *offshore* da bacia esse vulcanismo é representado por vestígios pontuais e pouco expressivos.

O vulcanismo de Abrolhos é caracterizado por um evento magmático de larga escala dentro da bacia, abrangendo cerca de dois terços da parte submersa da bacia do Espírito Santo (FRANÇA *et al.*, 2007). É um magmatismo do tipo intraplaca, de caráter alcalino a toleítico (SOBREIRA & SZATMARI, 2002; FRANÇA *et al.*, 2007). Datações, utilizando-se o método Ar-Ar, indicam idades entre 40 Ma e 60 Ma para esse intervalo de magmatismo (MOHRIAK, 2006).

De acordo com dados litogeoquímicos, para as rochas basálticas do Arquipélago de Abrolhos, as mesmas constituem uma série transicional de afinidade alcalina, definida, principalmente, com base nas razões de Nb/Y, que é considerada como índice de alcalinidade (ARENA, 2008). Com base nas razões $La/Yb(N) > 1$ e $La/Nb(N) < 1$ das amostras analisadas, com mesmo grau evolutivo, foi possível indicar que os basaltos analisados foram gerados por diferentes graus de fusão parcial de uma mesma fonte mantélica fértil, do tipo pluma (ARENA, 2008). Uma das fusões seria efetiva, gerando o Complexo Vulcânico de Abrolhos, e outras fusões remanescentes por concentração de calor na base da litosfera continental, gerando o magmatismo do Arquipélago de Abrolhos (ARENA, 2008). A partir das análises petrogenéticas realizadas no trabalho de Arena (2008) é possível indicar que a área do Arquipélago de Abrolhos esteve situada por um período prolongado sobre uma anomalia térmica de origem sublitosférica e fértil, do tipo pluma, sendo a pluma Trindade-Martins Vaz a melhor candidata, como já mencionado por Bizzi & Vidotti (2003), que afirma a formação do magmatismo Abrolhos através da passagem da pluma de Trindade, que migrou pela litosfera continental e oceânica, à medida em que a placa Sulamericana se movia.

Sobre a natureza intrusiva ou extrusiva das unidades da sucessão magmática do Arquipélago de Abrolhos, segundo características de campo e petrográficas, é pouco improvável a natureza extrusiva das rochas (ARENA, 2008). Seria típico de um magmatismo extrusivo, por exemplo, a presença de *pillow* lavas, vesículas, amígdalas, texturas vítreas, e isto não ocorre nas rochas do Arquipélago (ARENA, 2008).

O modelo geológico proposto por Sobreira (1996), o qual explica que as unidades magmáticas de Abrolhos são alimentadas por diápiros do manto e intrusões locais, sendo predominantes na região de plataforma continental, e o proposto por Parsons *et al.* (2001), que interpretam as rochas como vulcânicas e com fonte distante da área de ocorrência.

Os trabalhos de Asmus (1972) e Fainstein *et al.*, (1982) mostram a abrangência das rochas do vulcanismo Abrolhos ao longo da plataforma continental leste brasileira, e seus limites não bem definidos, até a quebra da plataforma. Também é característico desse evento magmático de Abrolhos a ocorrência de estruturas discordantes e concordantes, como diques e soleiras. Os diques são associados a condutos alimentadores do vulcanismo. O magmatismo se manifesta principalmente através de basaltos, mas também podem ocorrer rochas vulcanoclásticas e até mesmo ultrabásicas (SOBREIRA & SZATMARI, 2002; SOBREIRA & FRANÇA, 2006).

Para caracterizar as diferentes feições do evento magmático representado pela Formação Abrolhos, Mizusaki *et al.* (1994) elaboraram uma caracterização faciológica, dividindo-a e caracterizando-a em três fácies principais que foram denominadas informalmente de (A) cone, (B) proximal e (C) distal (Figura 12).

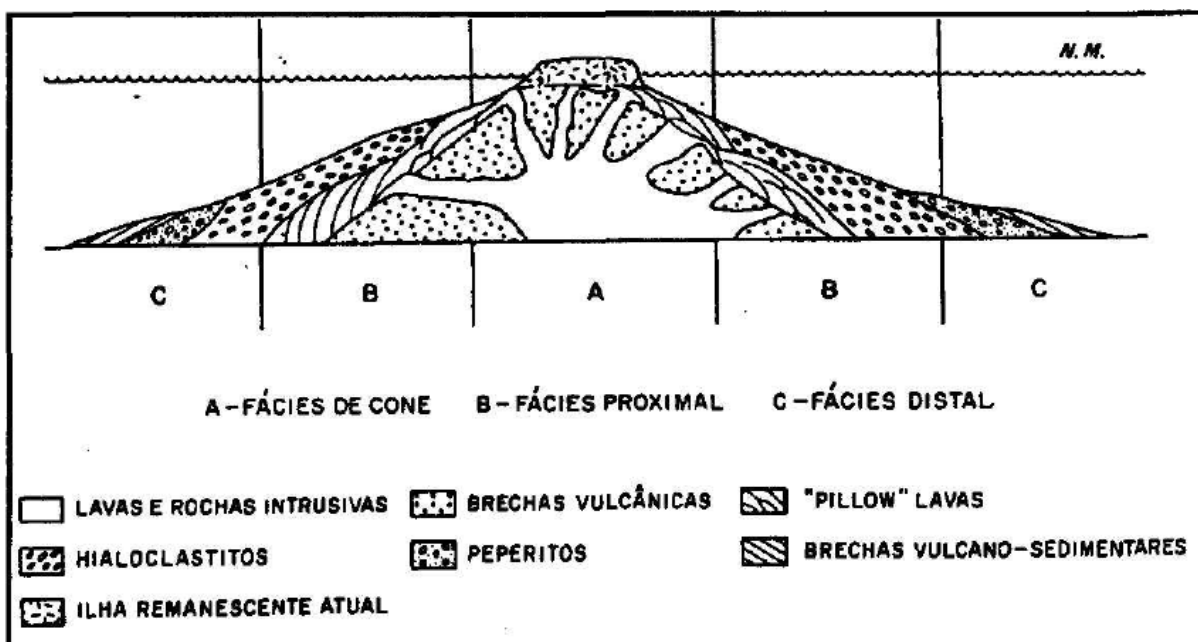


Figura 12 - Esquema com as divisões de fácies para a Formação Abrolhos, bacia do Espírito Santo. Observe as fácies (A) cone, (B) proximal e (C) distal (fonte: MIZUSAKI *et al.*, 1994).

A fácies de cone (A) representa o material remanescente do cone vulcânico, e é constituído por intercalação de brechas vulcânicas, brechas vulcano-sedimentares, lavas com

textura traquítica e intrusões (diques e soleiras). Algumas camadas de sedimentos argilosos podem ocorrer intercaladas neste sequência, o que indica períodos de quiescência na atividade vulcânica. Os cones vulcânicos possuem estreita ligação com condutos profundos identificados em sísmica de reflexão (MIZUSAKI *et al.*, 1994).

Já as rochas vulcanoclásticas depositadas nas proximidades dos cones vulcânicos pertencem à fácies proximal (B), que corresponde às lavas extravasadas do conduto e que deslizam pelos flancos laterais do cone vulcânico. A fácies proximal (B) grada lateralmente para a fácies distal (C), sendo esta última composta por brechas vítreas e brechas vulcanossedimentares. Essas litologias indicam maior influência da sedimentação siliciclástica, redução da contribuição vulcânica e atuação de processos epiclásticos (MIZUSAKI *et al.*, 1994).

3 RESULTADOS

3.1 Interpretação região dos dados

Os sismo-horizontes interpretados neste estudo foram: (a) superfície de descolamento do sal, (b) discordância Pré-Urucutuca (DPU), (c) rocha magmática e (d) discordância Paleoceno.

(a) superfície de descolamento do sal: é o único sismo-horizonte mapeado que não foi calibrado com os poços, pois nenhum poço estudado atingia essa superfície. Porém, trata-se de uma superfície nítida na bacia, principalmente na região de plataforma, devido ao escorregamento do sal através da ação gravitacional, o que gerou um refletor de alta amplitude, com boa continuidade lateral. A superfície de descolamento do sal foi importante durante a interpretação estrutural, pois está diretamente relacionada ao desenvolvimento das falhas lítricas, que se formam durante a remobilização do sal, as quais foram responsáveis pela deformação dos sedimentos do Grupo Barra Nova, além de ser uma superfície amplamente distribuída ao longo da bacia do Espírito Santo. A figura 17 apresenta o dado sísmico processado com o tecVA, já na figura 16 o mesmo é apresentado sem a tecVA aplicada. É notório o ganho em textura obtido pela aplicação da técnica, onde os principais sismo-horizontes se tornaram mais evidentes.

(b) discordância Pré-Urucutuca (DPU): na figura 13, observa-se uma variação na resposta dos perfis de raios-gama, sônico e densidade. O padrão desses perfis se altera devido à passagem dos pelitos da Formação Urucutuca para os carbonatos da Formação Regência, essa alteração está relacionada a maior concentração de elementos radiativos (Th, U, K) nas rochas pelíticas em relação às carbonáticas, no caso do perfil de raios-gama, e ao menor tempo de resposta das ondas sônicas, no caso do perfil sônico, devido ao aumento registrado no

perfil densidade, que pode ser resposta direta a uma maior compactação dos carbonatos da Formação Regência em relação aos pelitos da Formação Urucutuca.

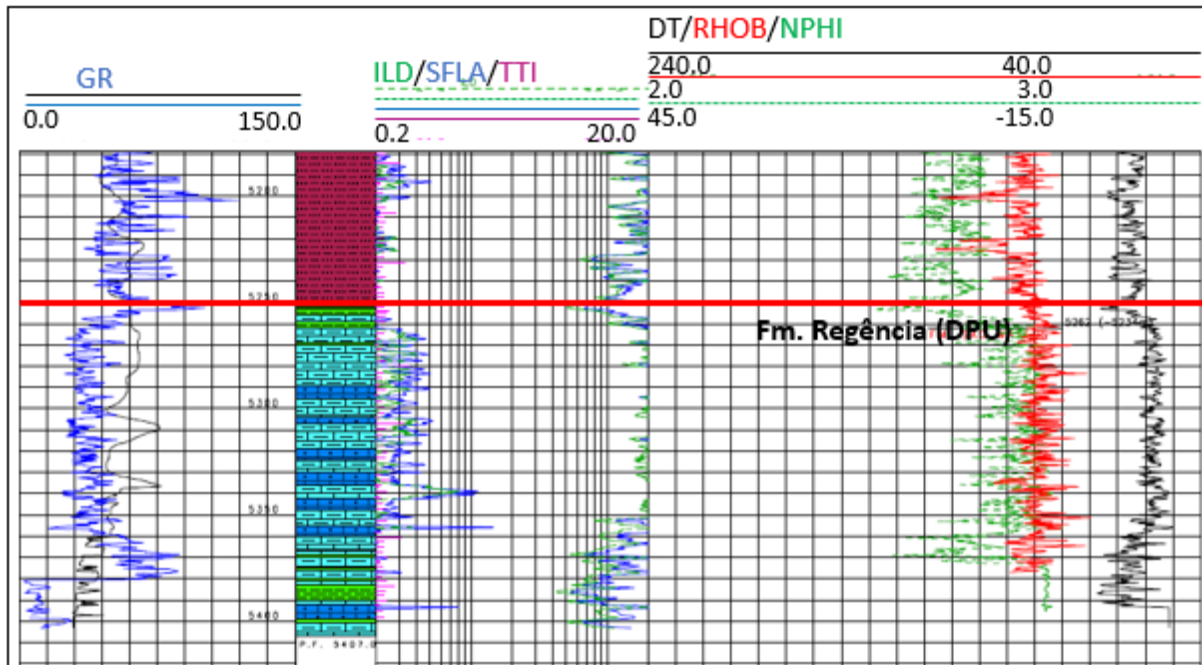


Figura 13 - Perfil composto do poço 49. Observa-se uma diminuição na média do padrão de resposta dos perfis raios-gama e sônico, e um aumento no perfil densidade, na mudança dos siltitos da Formação Urucutuca para os carbonatos da Formação Regência. Linha em vermelho indicando a discordância Pré-Urucutuca (topo do Albiano – topo da Formação Regência).

Na sísmica é caracterizada como um horizonte de alta amplitude, devido ao grande contraste de impedância entre os pelitos da Formação Urucutuca e os carbonatos da Formação Regência. O horizonte também se apresenta segmentado, o que pode ter relação direta com deformação oriundas da tectônica do sal, através das falhas lítricas interpretadas, e também das dobras em *rollover* (Figura 18). A DPU, que está associada ao topo do Albiano, é uma discordância muito significativa na área, associada a um evento erosivo de grandes proporções, principalmente, na região emersa e submersa (plataforma continental).

(c) unidade magmática: no poço 49, observam-se variações nas respostas dos perfis analisados no intervalo da descrição das rochas basálticas. O perfil sônico apresenta uma redução na média dos valores, já os perfis densidade e resistividade apresentam um aumento na média dos valores (Figura 14). Isso devido à compactação e à baixa porosidade desse tipo

de rocha, que fazem com que as velocidades sônicas sejam maiores, e conseqüentemente com tempo de trânsito (DT) menores. Na sísmica, essas características petrofísicas se refletem em refletores de alta amplitude, uma vez que a rocha magmática apresenta um grande contraste de impedância acústica quando comparado com as rochas sobrepostas e sotopostas (Figura 18).

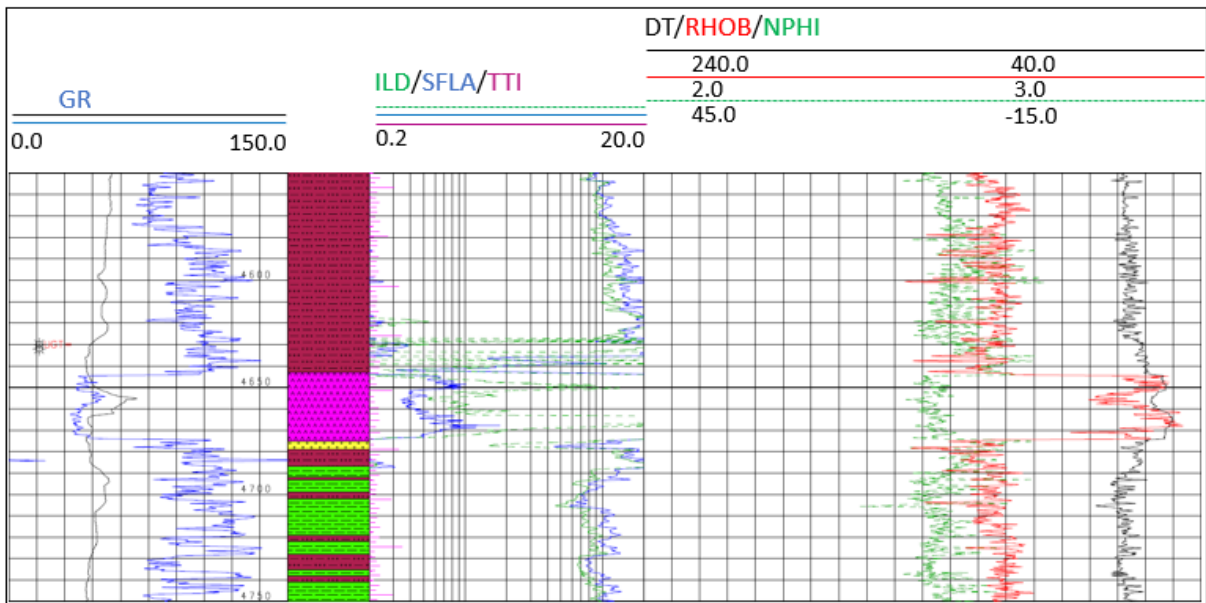


Figura 14 - Perfil composto do poço 49 cortado para dar maior detalhe à rocha basáltica. Observa-se uma mudança (redução) do perfil sônico e aumento da resistividade, além de um abrupto aumento na densidade.

(d) discordância Paleoceno: tanto o poço 78 como o 49 apresentam descrições cronoestratigráficas, com isso, foi possível observar que, na profundidade interpretada como representativa do Paleoceno, há um aumento nas respostas dos perfis sônico e uma redução no perfil densidade (Figura 15). Essa variação nos perfis marca a passagem do Cretáceo para o Paleógeno, representado por uma discordância que atingiu toda a bacia do Espírito Santo, o que provavelmente poderia gerar na sísmica um refletor de alta amplitude, marcado pelo contraste de impedância acústica entre os calcilitos, folhelhos e arenitos da Formação Urucutuca.

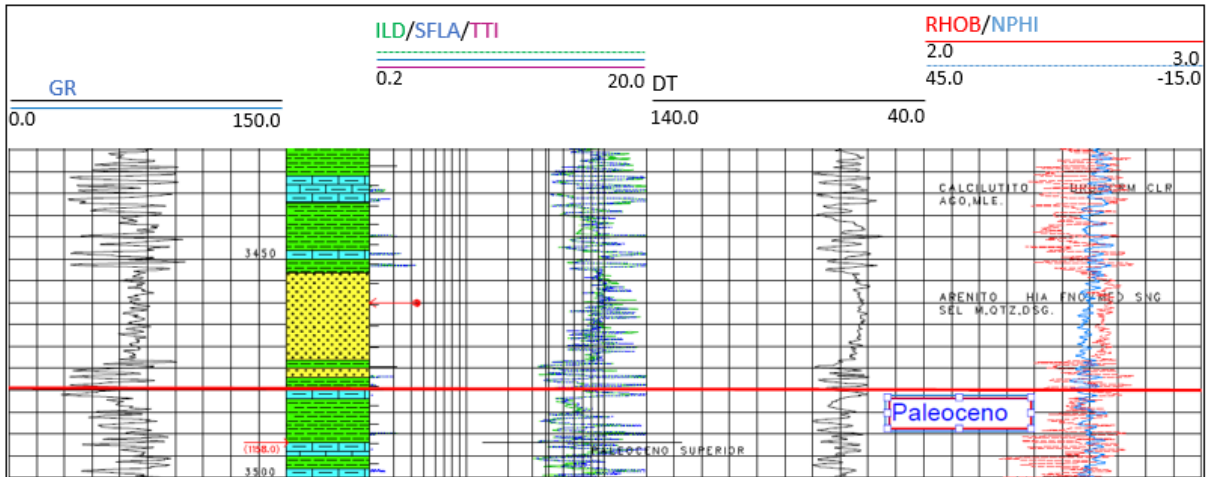


Figura 15 - Perfil composto do poço 78 editado para dar maior detalhe à discordância Paleoceno. Observa-se uma redução no perfil sônico, consequente de um aumento na densidade.

Na seção apresentada na figura 18, é possível identificar que a discordância Paleoceno apresenta-se como um refletor de alta impedância, com uma boa continuidade lateral, sendo facilmente mapeado.

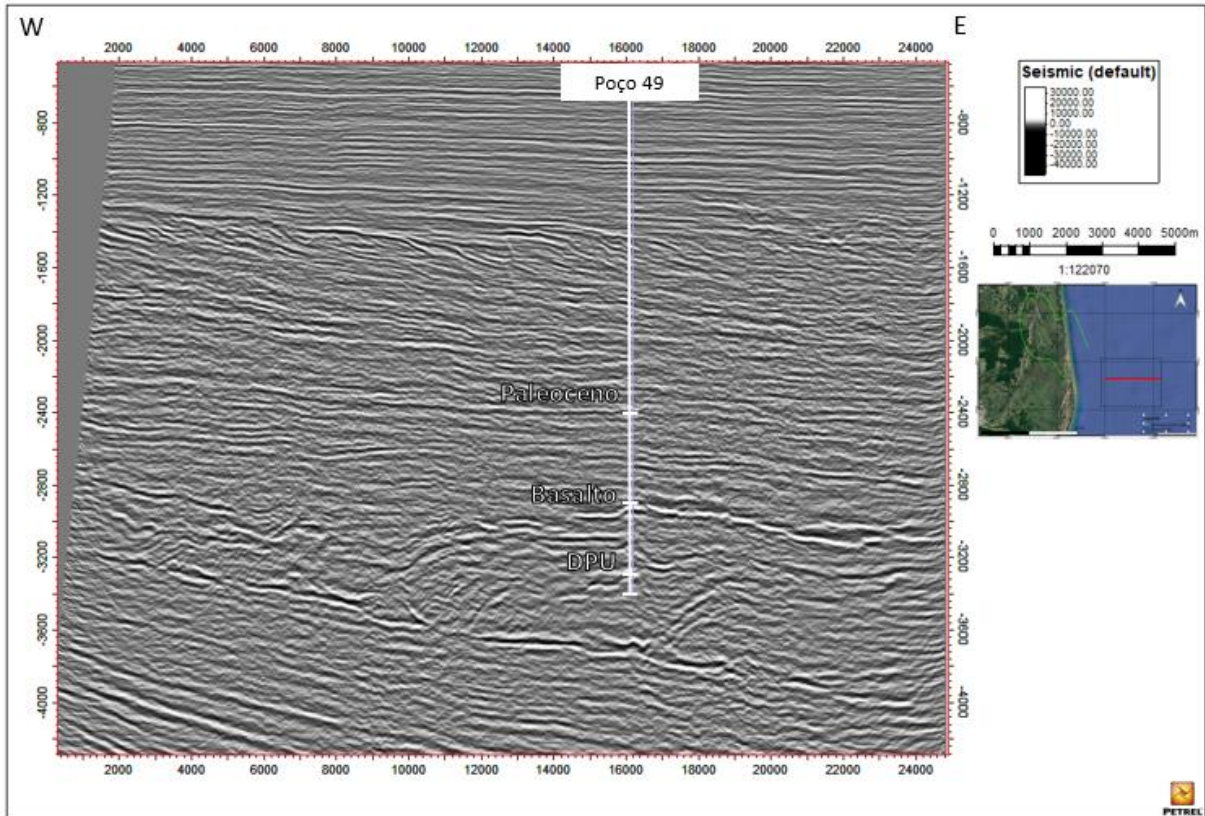


Figura 16 - Seção sísmica *dip* W-E com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus *welltops*.

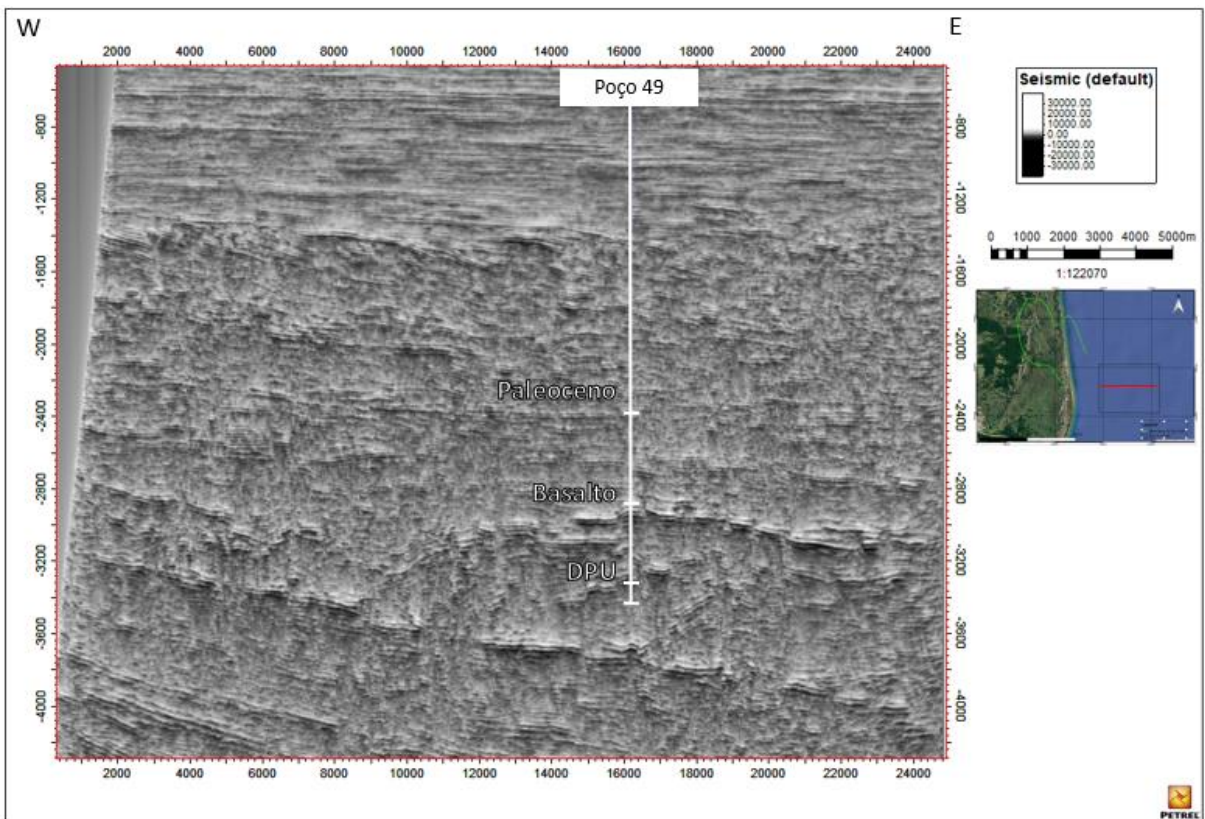


Figura 17 - Seção *dip* W-E com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase). Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus *welltops*.

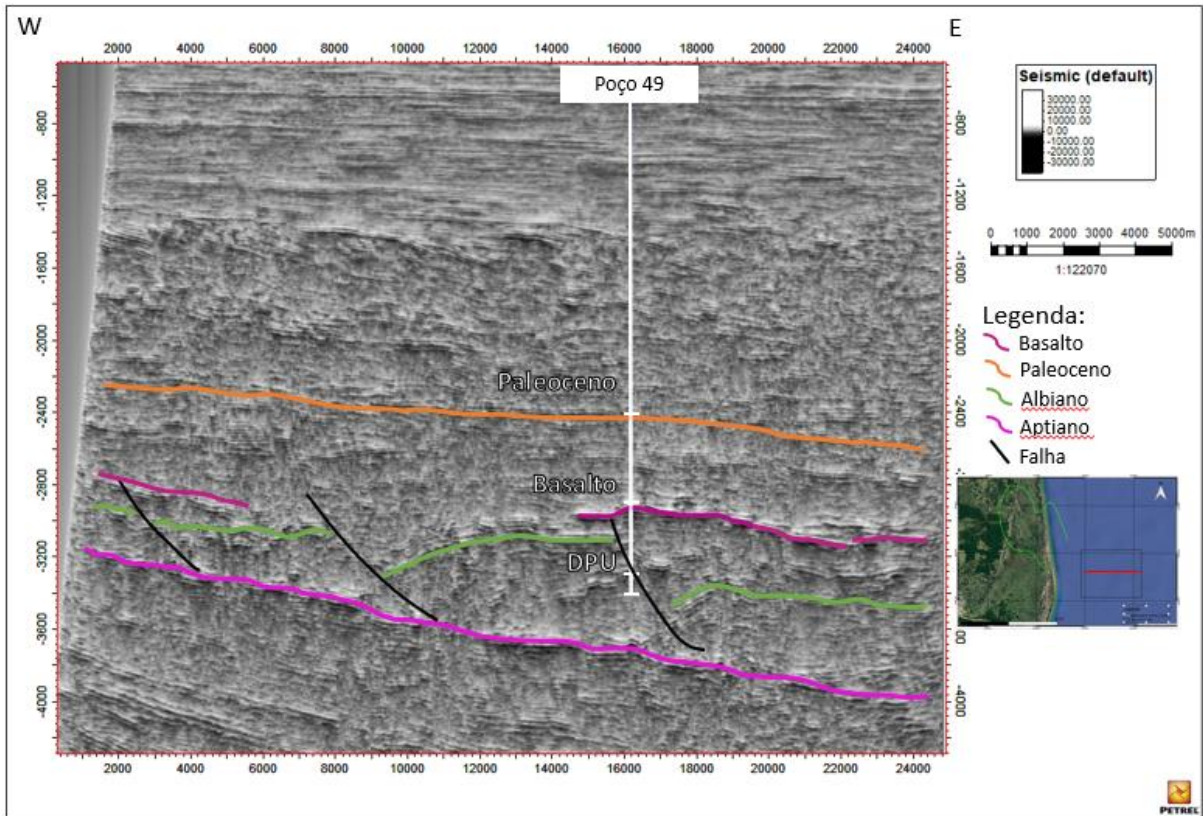


Figura 18 - Seção sísmica *dip* W-E, interpretada. Na figura é possível identificar os sismo-horizontes referentes à superfície de descolamento do sal (em lilás), discordância Pré-Urucutuca (verde), rocha basáltica (roxo) e discordância Paleoceno (laranja). Presença do poço 49 amarrado e seus *welltops*.

Os simo-horizontes reconhecidos neste trabalho cumprem o papel fundamental ao auxiliarem no posicionamento estratigráfico da rocha magmática dentro da bacia.

A unidade magmática, foco deste estudo, é observada entre os estratos acima da DPU, ou seja, acima do topo do Albiano, o que mostra que essa unidade pode pertencer ao Neocretáceo ou Cenozoico. Para restringir ainda mais a idade, a qual essa unidade magmática estaria associada, foi interpretado também a discordância Paleoceno, já descrita anteriormente. Com isso, foi possível estabelecer um intervalo de ocorrência da rocha magmática entre o Neocretáceo e o Paleoceno.

3.2 Interpretação estrutural

As principais falhas interpretadas foram as falhas lítricas associadas ao movimento do sal. É possível identificar (Figura 21) que essas falhas extensionais são curvas, sub-horizontais na base, e apresentam concavidade voltada para cima. Na figura 19, é possível observar o dado sísmico em sua amplitude original, já na figura 20 ele é apresentado com a tecVA aplicada. Na figura 21, é interessante ver como as falhas, discordantes em relação às outras camadas, tem seus contrastes realçados, principalmente nas porções mais inferiores. Sendo esse um benefício de se utilizar a tecVA para o reconhecimento de falhas e estruturas discordantes em geral.

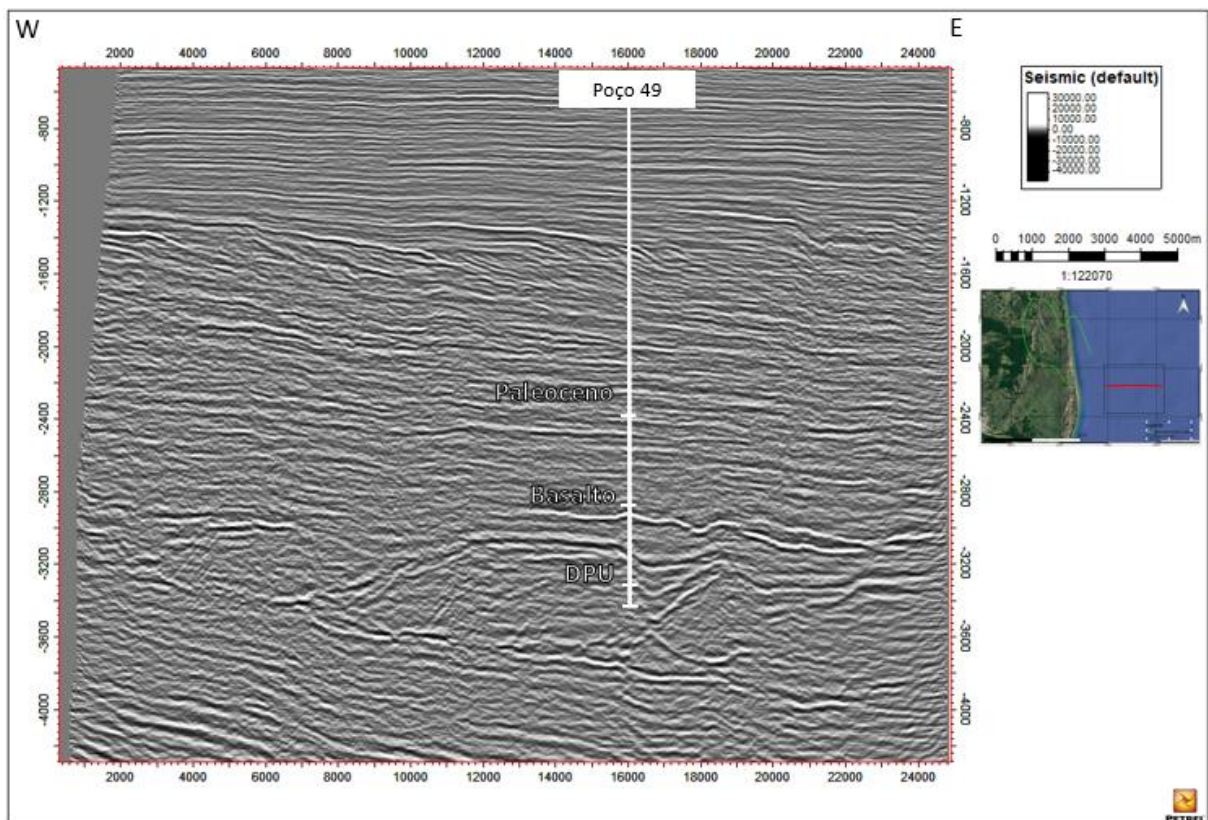


Figura 19 - Seção sísmica *dip* W-E com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus *welltops*.

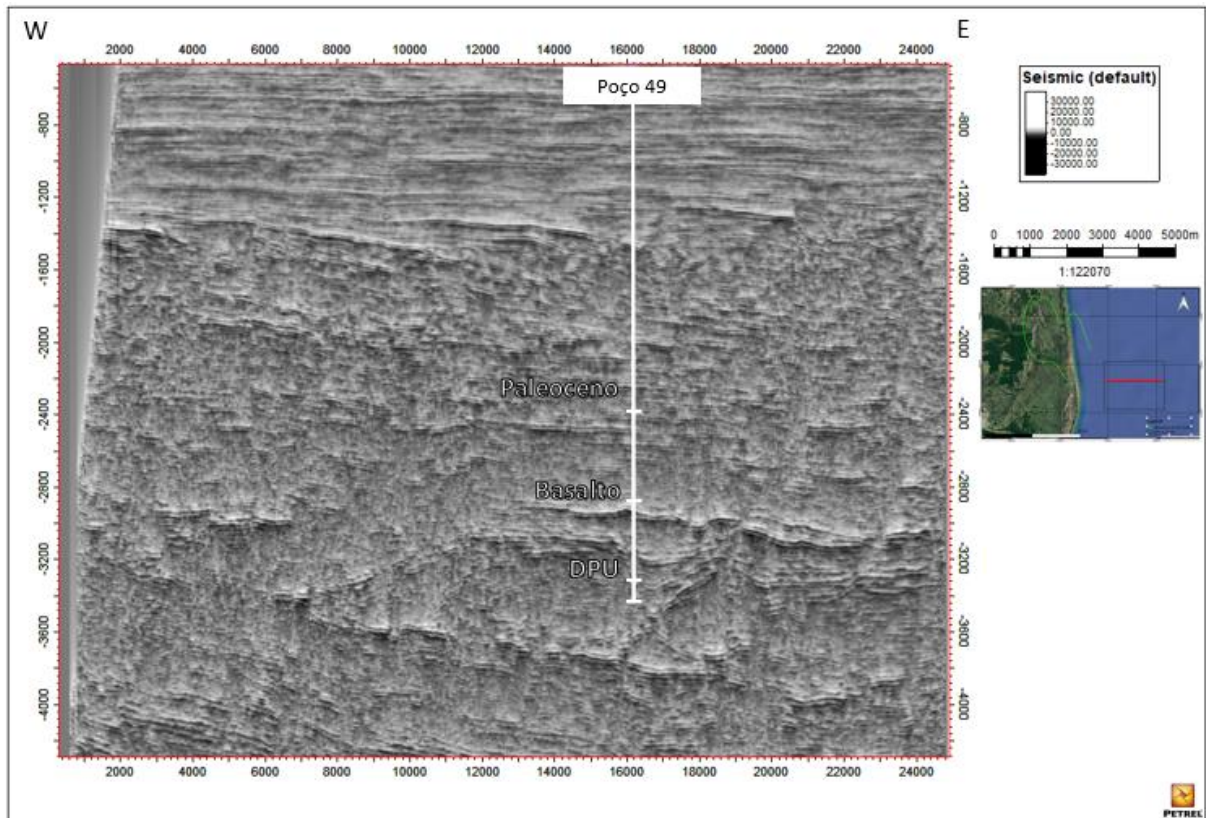


Figura 20 - Seção *dip* W-E com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), sem interpretação.

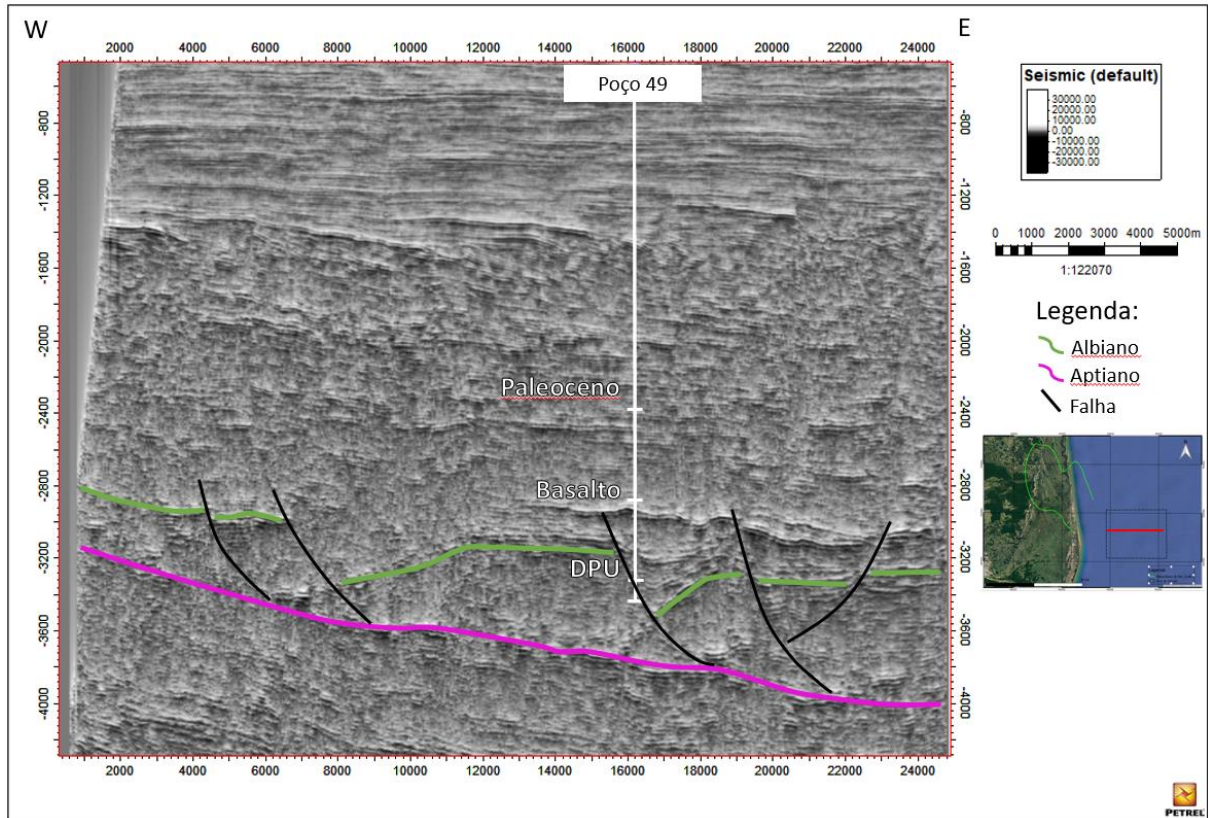


Figura 21 - Seção sísmica *dip* W-E, interpretada, cortada para melhor visualização das falhas de crescimento. Em roxo representado o sismo-horizonte correspondente ao Aptiano e em verde escuro o sismo-horizonte correspondente ao Albiano.

Como observado na figura 21, a região da capa da falha (parte acima do plano de falha) apresenta estratos mais espessos do que a lapa (parte abaixo do plano de falha), sendo essas características importantes, que se desenvolvem à medida em que ocorre a sedimentação. Também são nítidas as estruturas de dobras em *rollover*, que são dobras de arrasto da capa, que mostram uma inflexão contra o plano de falha. Outra questão a se observar é a relação entre as falhas lítricas e a superfície de descolamento do sal, que possuem um contato sub-horizontal entre si. O deslocamento da capa é mais acentuado na parte verticalizada do que na parte horizontalizada, o que ocorre devido ao maior atrito nessa região (WINGE, 2001).

Outras feições que também foram interpretadas e demonstram ter uma relação estreita com a rocha magmática presente nos poços, são os possíveis diques que serviram de conduto para a mesma. Como é possível observar na figura 24, o material magmático aparenta ter utilizado essas estruturas verticalizadas como caminhos preferenciais, discordantes em relação

às sucessões sedimentares. Essas feições interpretadas são sub-verticais e possuem uma assinatura mais clara do que as encontradas nas outras interfaces que essa estrutura intercepta. Esses possíveis diques alimentadores foram reconhecidos apenas na seção processada com a tecVA, a qual realçou as amplitudes mais profundas, permitindo assim a visualização dessas estruturas mais delgadas em maiores profundidades. Na figura 22 é possível observar o dado sísmico em sua amplitude original, já na figura 23 ele é apresentado com a tecVA aplicada.

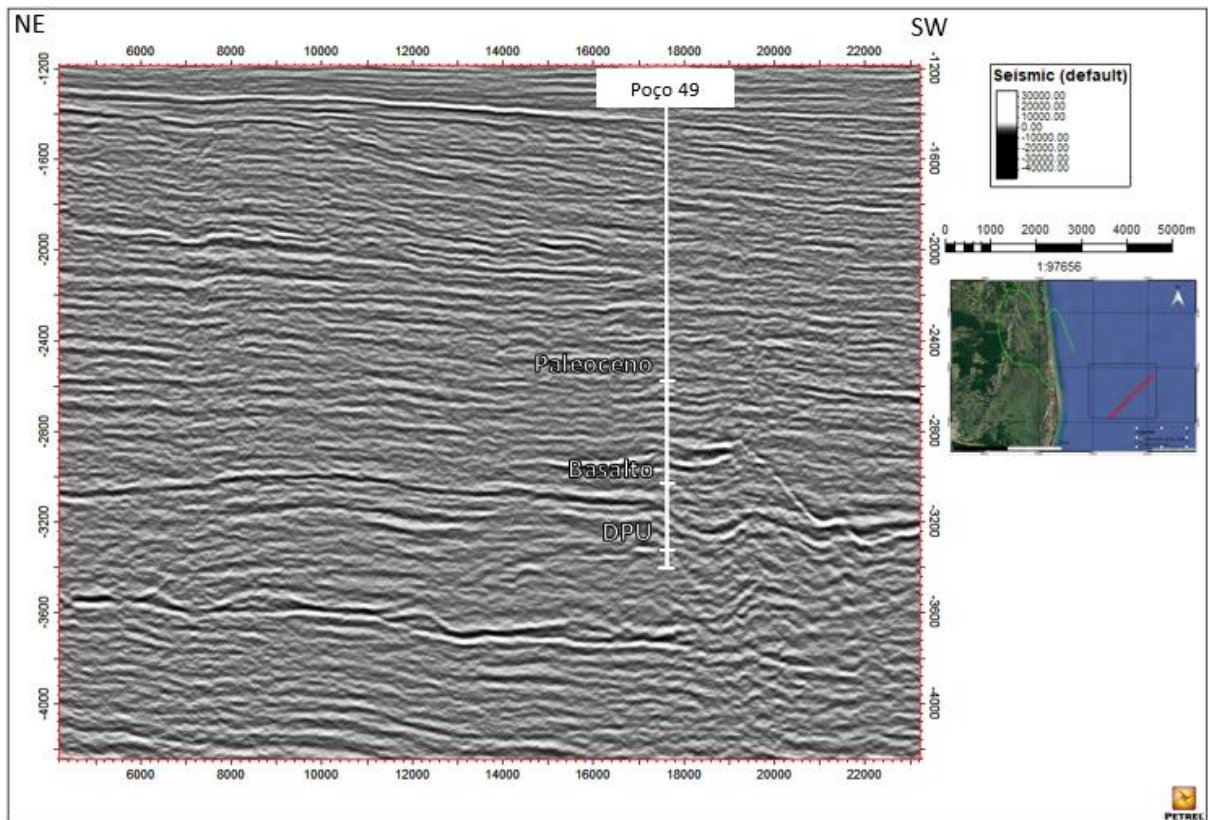


Figura 22 - Seção sísmica *dip* NE-SW com amplitude original. Detalhe para o poço 49, que está amarrado, e seus *welltops*.

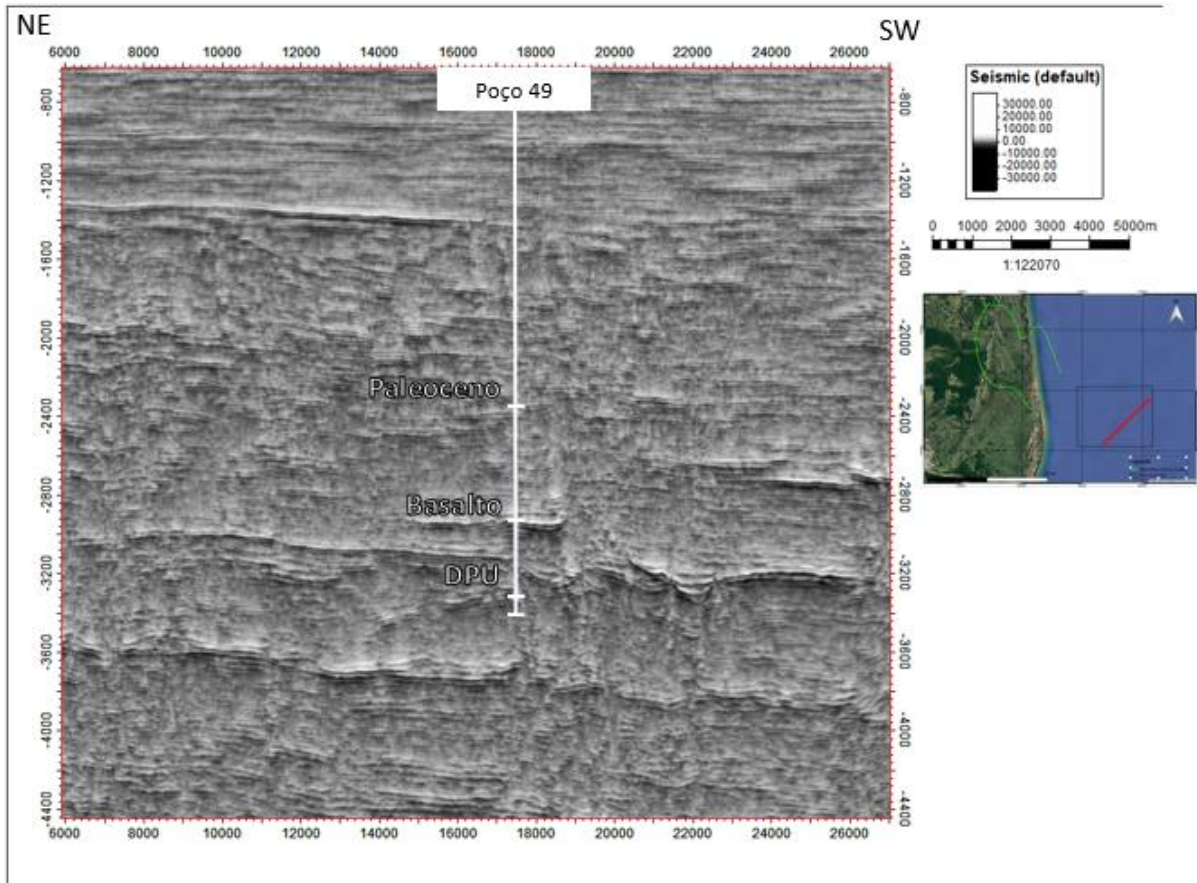


Figura 23 – Seção arbitrária NE-SW com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), sem interpretação.

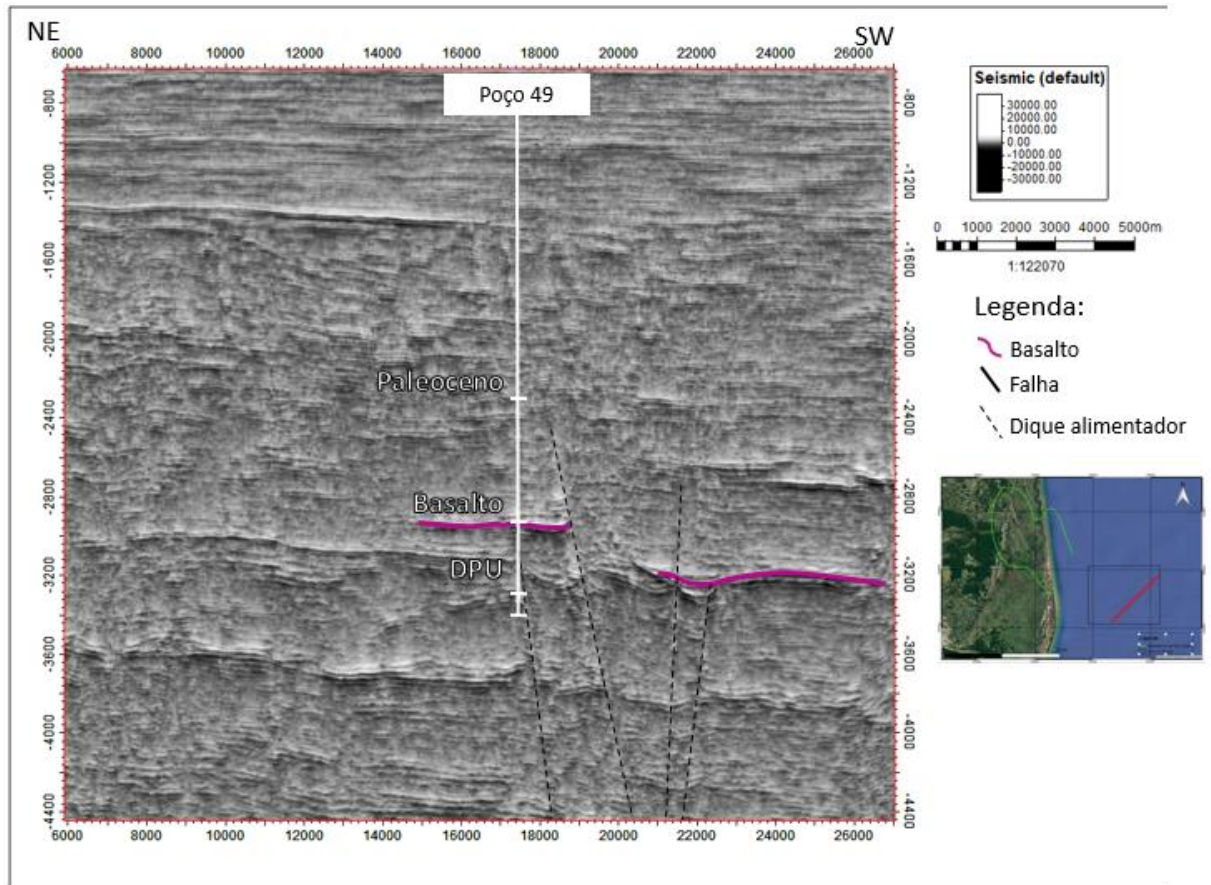


Figura 24 - Seção arbitrária NE-SW apresentando a rocha basáltica intrusiva (em roxo) interpretada e sua aparente relação com possíveis diques (linhas pontilhadas), que podem ter sido importantes para a condução desse material magmático.

Para uma melhor visualização e compreensão da influência estrutural e da abrangência desse corpo magmático, foi elaborado um mapa de contorno estrutural a partir do sismo-horizonte interpretado (Figura 25).

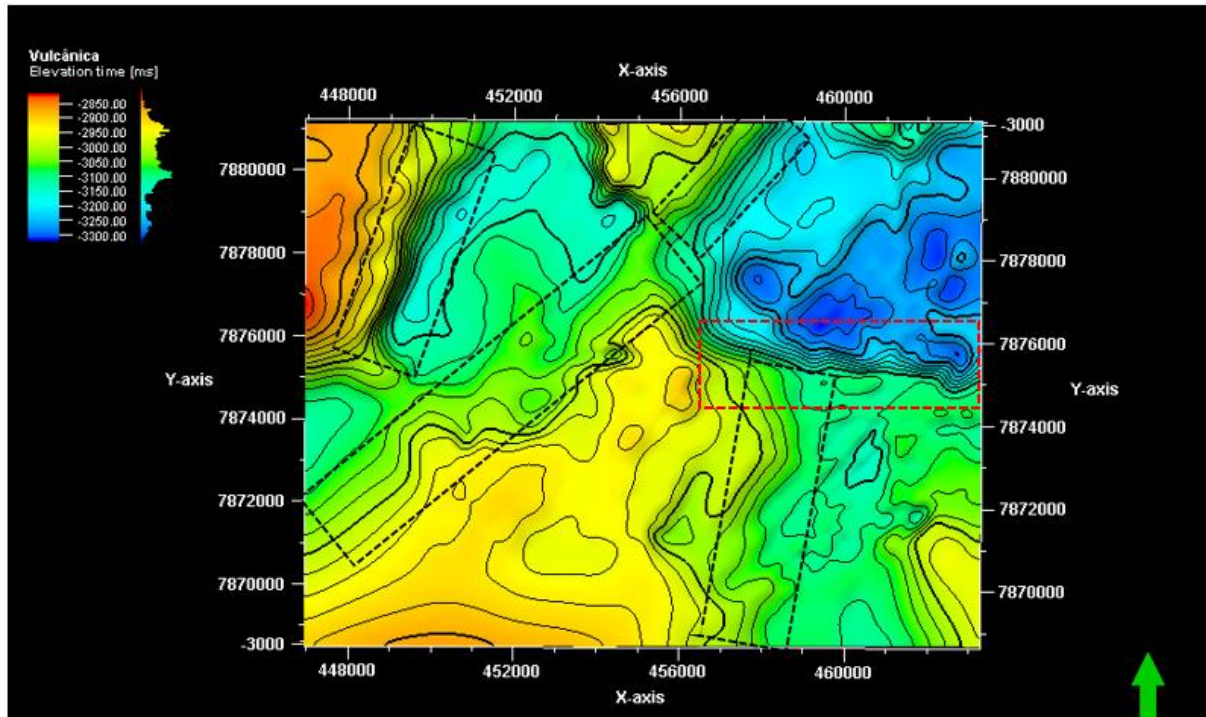


Figura 25 - Mapa de contorno estrutural da unidade magmática interpretada, em planta, onde é possível identificar superfícies de falhas interpretadas através dos retângulos tracejados. O retângulo tracejado em vermelho indica a interferência de um possível dique, o qual pode ter servido como alimentador da rocha magmática interpretada. Na legenda, as cores frias indicam regiões mais baixas, enquanto as cores mais quentes indicam regiões mais altas.

No mapa de contorno estrutural é possível identificar zonas mais elevadas e outras mais baixas, na escala de ms. Essas zonas podem indicar diferentes interfaces de possíveis intrusões, ou seja, intrusões em diferentes camadas, formando um conjunto de soleiras, sendo os diques alimentadores os possíveis condutos.

As falhas lítricas interpretadas são aparentemente interceptadas pelos condutos da rocha magmática, como é possível visualizar na região do retângulo tracejado em vermelho na figura 25. Essa observação pode se tornar importante para estabelecer uma relação de idade entre os eventos, uma vez que as falhas lítricas de crescimento se formam ao mesmo tempo em que os sedimentos sobrepostos a elas se depositam (TWISS & MOORES, 1992), assim, a instalação das rochas intrusivas teria ocorrido, pelo menos, posteriormente ao Albiano.

3.3 Área do corpo magmático

O cálculo de área foi realizado a partir da extração de *geobody*, através do qual também foi possível verificar a abrangência e dimensão do corpo magmático interpretado, como é possível visualizar na figura 26.

O *geobody* elaborado a partir do sismo-horizonte do corpo magmático interpretado apresentou uma área de abrangência desse magma na região de estudo de 229,28 km². A abrangência desse corpo dentro da área de estudo é coerente com o descrito pela literatura, tanto na forma tabular, quanto na dimensão. Na figura 26, é possível identificar uma região mais linear, indicada pelo retângulo tracejado em vermelho, que pode representar a mesma zona onde se encontra um possível dique alimentador que serviu de conduto para a rocha magmática. Essa mesma feição vertical já tinha sido reconhecida anteriormente através do mapa de contorno estrutural, o que pode ser associado com a ideia de que diques alimentadores profundos poderiam ter servido de conduto para a possível intrusão concordante dentro da área de estudo.

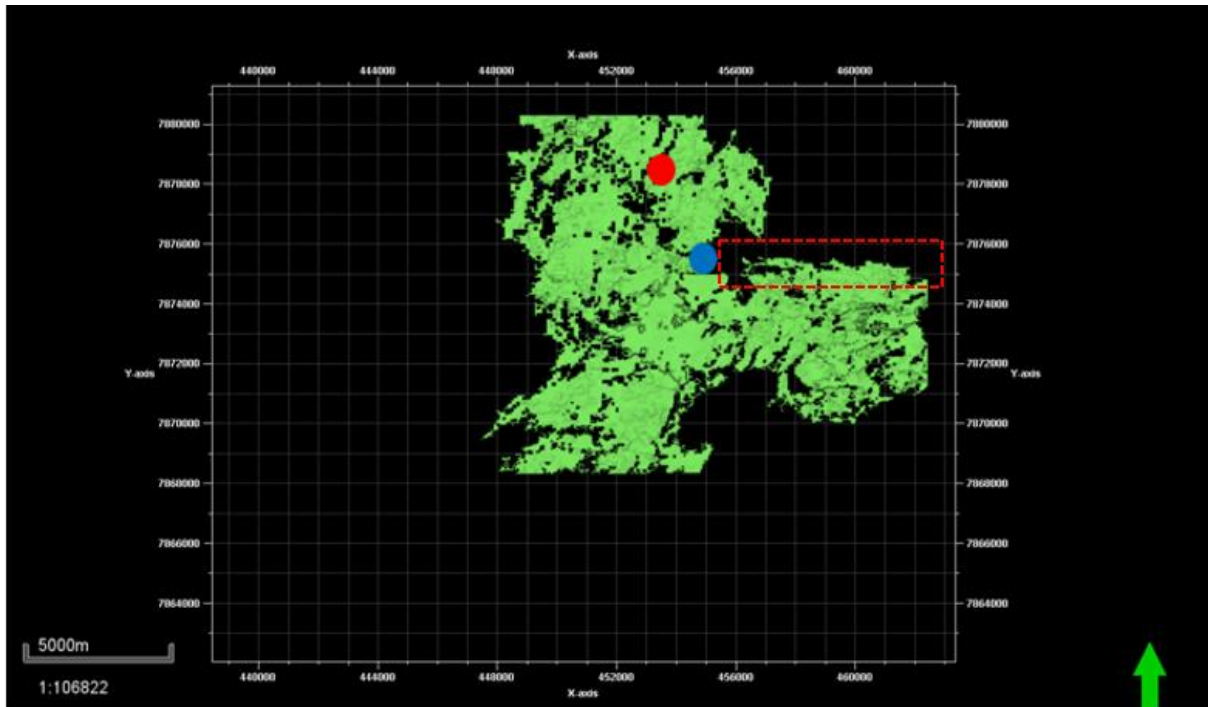


Figura 26 - Geobody (em verde). Os eixos presentes na figura representam a área da sísmica estudada. Em vermelho o poço 78 e em azul o poço 49. O retângulo tracejado em vermelho indicada a região onde se encontra um possível conduto da rocha magmática (dique alimentador). Visão em planta.

3.4 Discussão

As rochas magmáticas identificadas no poço têm como características principais o aumento significativo da densidade e redução no sônico em relação às rochas siliciclásticas e carbonáticas, tal diferença implica em refletores de alta impedância acústica. Outro perfil que se mostrou útil para a interpretação dessa unidade foi o perfil de raios-gama, uma vez que ele apresenta uma redução abrupta em sua escala, assim, podendo indicar uma menor presença de elementos como Th, K e U, entretanto, esse perfil não pode ser utilizado como diagnóstico de série magmática, uma vez que o perfil de raios-gama não reflete as reais características litogeoquímicas das rochas, assim, não sendo possível caracterizar geoquimicamente a unidade magmática interpretada.

Outros perfis geofísicos também utilizados para reconhecer esta unidade magmática foram os perfis de resistividade, os quais apresentam um aumento abrupto, representando assim uma menor condutividade, o que é característico de rochas magmáticas, uma vez que a resistividade aumenta quando a porosidade diminui (RIDER, 2002).

Os poços tiveram sua importância na constatação da natureza da rocha, entretanto, não indica se a mesma poderia ser oriunda de um evento extrusivo ou intrusivo, o que foi possível somente através da sísmica.

Devido à aparente relação intrusiva dessa unidade magmática com as rochas mais antigas, é possível determinar, através dos dados disponíveis, que essa unidade intrusiva pertence à Formação Abrolhos, uma vez que a outra manifestação magmática é mais antiga e possui um caráter predominantemente vulcânico, o que não foi verificado na unidade magmática interpretada neste trabalho. Essa relação entre as rochas mais antigas e a unidade magmática foi confirmada através da interpretação estratigráfica regional, onde a unidade aparentemente intrusiva se encontra alojado entre a discordância Pré-Urucutuca e discordância Paleoceno, assim, sendo possível posicioná-la estratigraficamente. As falhas lítricas interpretadas também serviram para localizar a unidade magmática estratigraficamente, uma vez que as aparentes estruturas intrusivas parecem interceptar as falhas de crescimento, falhas essas que se formam ao mesmo tempo em que os sedimentos sobrepostos se depositam, ou seja, são falhas sin-deposicionais.

O reconhecimento da sismofácies de alta amplitude, característico a esse tipo de rocha, foi essencial para uma individualização da unidade magmática, que aparenta ter um comportamento intrusivo em relação às camadas da Formação Urucutuca.

Para caracterizar as principais sismofácies intrusivas da unidade magmática de estudo, foi feita uma comparação com outras interpretações já realizadas no trabalho de Oreiro *et al.* (2008), onde eles reconheceram diques alimentadores e soleiras (Figura 27).

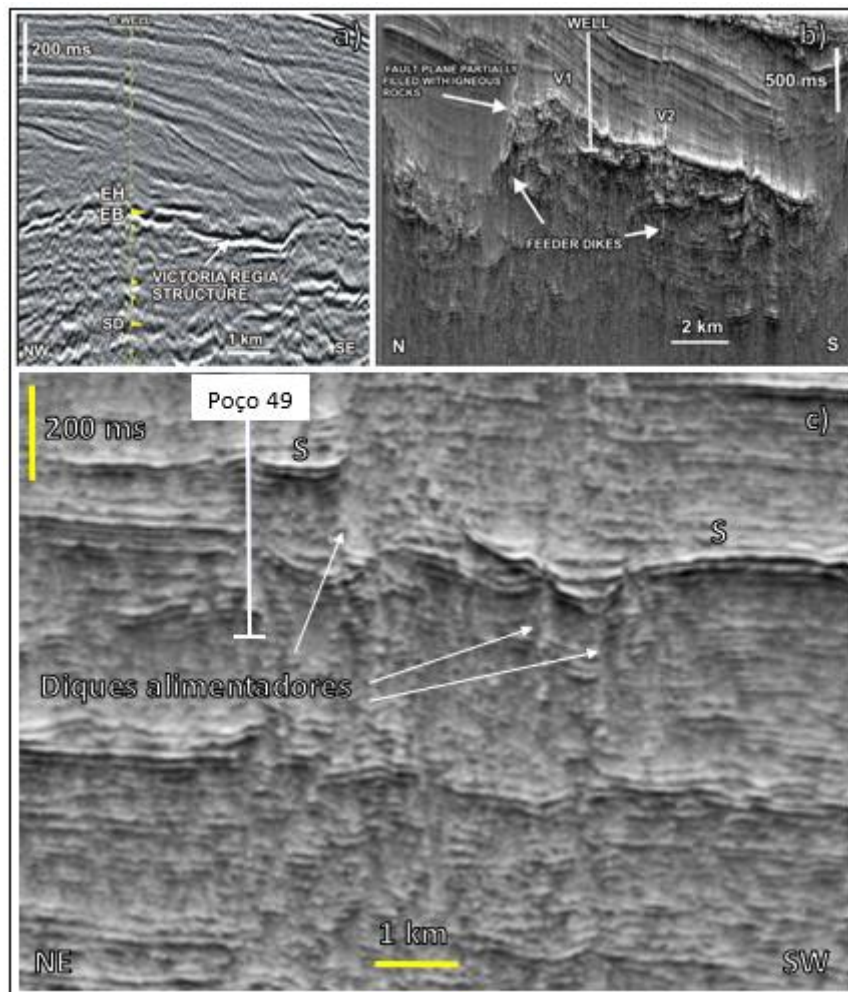


Figura 27 - a) soleira interpretada; b) seção interpretada por Oreiro et al. (2008) mostrando feições intrusivas como diques alimentadores, e plano de falha preenchido por rochas ígneas, sendo um possível conduto; c) seção NE-SW com o atributo tecVA aplicado (com 90° de rotação de fase), interpretada neste trabalho, na qual foram reconhecidos pelo menos duas sismofácies intrusivas, as soleiras indicadas pela letra S e os diques alimentadores, indicados pelas setas brancas.

Através dos dados de poços e da interpretação sísmica, além do comparativo com o trabalho de Oreiro *et al.* (2008), que reconhece esses corpos intrusivos tabulares de pequena espessura e concordantes como soleiras, e corpos intrusivos discordantes como os diques alimentadores, foi possível identificar que essa unidade magmática interpretada possui um comportamento intrusivo preferencialmente concordante com os depósitos siliciclásticos da Formação Urucutuca e parece ser proveniente de diques alimentadores reconhecidos na área de estudo, os quais serviram de conduto para a instalação do material magmático.

O reconhecimento das sismofácies intrusivas corroboram com o que foi obtido no mapa de contorno estrutural e no *geobody* da unidade vulcânica, ou seja, de fato o lineamento com direção diferente da observada nas falhas lítricas representava uma região de intrusão sub-vertical, caracterizada por diques alimentadores.

O *geobody* foi utilizado para calcular a área de expressão do corpo intrusivo. O mapa de contorno estrutural consegue entregar um produto satisfatório, porém, através de algoritmos do próprio *software*, ocorre uma interpolação e extrapolação das regiões não interpretadas, já o método de extração de *geobody* entrega um produto mais próximo das dimensões reais do corpo.

Através do *geobody* obteve-se um valor de aproximadamente 229,38 km². Esses resultados mostram que esse corpo ígneo intrusivo é extenso e representativo na área de estudo, além de confirmar que realmente o evento magmático Abrolhos possui uma forte influência na região de plataforma proximal, sendo coerente com a colocação de França *et al.* (2007), que a Formação Abrolhos ocuparia cerca de dois terços da parte submersa da bacia do Espírito Santo. Com uma malha maior de poços poderia ser possível identificar ainda mais intrusões (soleiras e diques).

O caráter intrusivo proposto neste trabalho pode ser discutido através de trabalhos anteriores, onde já foi amplamente discutido, como no trabalho elaborado por Mizusaki *et al.* (1994), que dividiram a Formação Abrolhos em três diferentes fácies, sendo as fácies (A) e (B) constituídas por rochas intrusivas. Já o modelo geológico proposto por Sobreira (1996) explica que os basaltos do magmatismo Abrolhos são alimentados por diápiros do manto e intrusões locais, sendo predominantes na região de plataforma continental. E o trabalho de Arena (2008) afirma que é pouco improvável a natureza extrusiva das rochas, segundo características petrográficas e de campo, que deveria apresentar feições como *pillow* lavas, vesículas, amígdalas e texturas vítreas, o que não foi encontrado. Essa unidade intrusiva pode

estar relacionada tanto com o evento magmático principal de Abrolhos, como também com as fases mais tardias já mencionadas por Sobreira (1997), o que poderia ser comprovado com dados geocronológicos.

4 CONCLUSÕES

Foi possível, através das informações presentes nos poços, reconhecer a estratigrafia regional da área de estudo, focando nos sismo-horizontes representativos da superfície de descolamento do sal, discordância Pré-Urucutuca, da rocha magmática e discordância Paleoceno. A interpretação estratigráfica regional, aliada à interpretação estrutural, que envolveu as falhas principais, falhas lítricas e diques, possibilitou uma melhor localização da unidade magmática dentro da estratigrafia.

O *geobody* extraído possibilitou o cálculo de área do corpo intrusivo (soleira), sendo conhecida a sua expressão na área, e também possibilitou a visualização da mesma estrutura já observada anteriormente no mapa de contorno estrutural, onde foi possível identificar uma estruturação com orientação diferente das falhas lítricas interpretadas, sendo essa estrutura atribuída a condutos sub-verticais que foram reconhecidos na sísmica, corroborando com o reconhecimento do caráter intrusivo desse corpo magmático.

Através da interpretação da rocha magmática foi possível descobrir que se tratava de um corpo intrusivo concordante às camadas sedimentares da Formação Urucutuca, aparentando não exercer esforços compressivos. Ao observar a instalação desse corpo intrusivo, foi observado também a presença de condutos sub-verticais (diques alimentadores) que serviram de conduto para a passagem do material magmático. Utilizando como base o trabalho de Arena (2008), assume-se que as rochas magmáticas presentes no Arquipélago de Abrolhos possuem predominantemente um caráter alcalino transicional, geradas por diferentes graus de fusão parcial de uma mesma fonte mantélica fértil, do tipo pluma. A presença do corpo magmático intrusivo entre as camadas da Formação Urucutuca evidencia que o mesmo seria mais recente que o esperado pelas rochas magmáticas da Formação Cabiúnas, assim, sendo inferida como pertencendo à Formação Abrolhos.

Referências bibliográficas

ARENA, M. C. Petrologia da sucessão magmática do Arquipélago de Abrolhos. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rio de Janeiro, 2008.

ARISTIZABAL, C.I.O. 2013. Tectônica mesozoica do enxame de diques Vitória- Ecoporanga e do alto estrutural de Vitória (ES). Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado, 313p.

ASMUS, H. E. Espírito Santo: Pattern of the eastern Brazilian marginal basins. Presented at the 57 th Annu. Meet., Am. Assoc. Pet. Geol., Denver, Colo., 34 p. 1972.

ASTRATTI, A. D. V; MAHMOUD, N. A. D. S. L. T, CLARK, A; STRINGER, J. S. J. W. M; TOELLE, B; WHITE, V. V. G. O. Detecção sísmica de fallas y fracturas sutiles. Oilfield review, v. 24, n. 2, 2012.

BARNES, E. A. Seismic attributes in your facies. CSEG recorder, p. 41-47, 2001.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M; Gonçalves J.H. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM –Serviço Geológico do Brasil. 692 p.

BRERENTON, R; MCCANN, D. (1990) A fresh look at predictive equations for compressional wave velocity – porosity. In: European Core Analysis Symposium, 270-298.

BULHÕES, M. E; AMORIM, N. W. Princípio da sismo camada elementar e sua aplicação à técnica volume de amplitudes (tecVA). In: 9th international congress of the Brazilian geophysical society, 9., 2005, Salvador. Anais... Salvador: SBGF, 2005. p. 1-6.

COBBOLD, P.R., MEISLING, K.E., MOUNT, V.S., 2001. Reactivation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, Southeastern Brazil. AAPG Bull. (11), 1925–1944.

CORDANI, U. G., NEVES, B. B. B., FUCK R. A., PORTO R., THOMAZ FILHO A. and CUNHA, F. M.B., (1984) - Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras: Revista de Ciência e Tecnologia da Petrobrás, 15, Petrobrás, CENPES, CINTEP.

EMERY & MYERS, 1996. Biostratigraphy. In: Sequence Stratigraphy, Blackwell Science, 297p. 7- JONES, R.W. 1996.

FAINSTEIN, R. & SUMMERHAYES, C.P. Structure and origin of marginal banks off eastern Brazil. Mar. Geol., v. 46, p. 199-215, 1982.

FRANÇA, R. L.; DEL REY, A. C.; TAGLIARI, C. V.; BRANDÃO, J. R.; FONTANELLI, P. R. 2007. Bacia do Espírito Santo. Boletim Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 15 (2): 501 – 509.

GUEIROS, E. A. C., 1977, Geologia de um paleo canyon submarino da bacia do Espírito Santo, Petrobras, Int. Rept.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C; CAMPOS NETO, M.C; SILVA, L.C; TROUW, R.A.J. e JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Editora Beca, 2004 p. 203 a 219.

MITCHUM R.M. Jr, VAIL P.R. e THOMPSON S. III. 1977a. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. In: Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration, Michigan, AAPG, Memoir 26, p. 53 – 62.

MITCHUM R.M. Jr, VAIL P.R. e SANGREE J. B. 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration, Michigan, AAPG, Memoir 26, p. 117 – 133.

MIZUSAKI, A.M.P.; PETRINI, R.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DIAS, S.J.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M. 1992. Basalt magmatism along the passive continental margin of SE Brazil (Campos Basin). *Contrib. Mineral Petrol.*, v. 111, p. 143-160.

MIZUSAKI, A.M.; ALVES, D.B.; CONCEIÇÃO, J.C.J. 1994. Eventos magmáticos nas bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba. CONGR. BRAS. GEOL. 38, Baln. Camboriú, 1994. *B. Res. Expandidos...* Baln. Camboriú: SBG. v. 1, p. 566-567.

MOHRIAK, W.U. Bacias sedimentares da margem continental brasileira. In: BIZZI, L.A; SCHOBENHAUS, C; VIDOTTI, RM; GONÇALVES, J.H. (eds) Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Brasília: CPRM, 2003. Cap III, p. 87-165.

MOHRIAK, W. U. Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas. *Bol. Geoc. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 133-142, nov. 2006.

MOTOKI, A.; PETRAKIS, G. H.; SOARES, R.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R. New method of semi-automatic modal analyses for large phenocrysts of porphyritic volcanic and granitic rocks with help of quantitative digital colour specification technique. *Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 60, p. 13-20, 2007.

OLIVEIRA, J. P. M. Caracterização sismoestrutural do embasamento do complexo deltaico do rio paraíba do sul. 2015. 149 p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OREIRO, S.G.; CUPERTINO, J.A.; SZATMARI, P.; THOMAZ FILHO, A. Influence of pre-salt alignments in post-Aptian magmatism in the Cabo Frio High and its surroundings, Santos and Campos basins, SE Brazil: An example of non-plume related magmatism. *Journal of South American Earth Sciences*, v 25, p. 116-131, 2008.

PARSONS, M.; MACQUEEN, J.; UNDLI, T. H.; BERSTAD,S.; HORSTAD, I. A tale of three methods: volcanics in the Abrolhos Bank, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS

OF THE SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS, 2001, **Abstract volume...**, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C; C. M.; ALKIMIM, F.F., SILVA, L.C; BABINSKI, M; CORDANI, A e CASTAÑEDA, C. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida, 1977 *in* Revista de Geociências: Genomos Vol XV (1), julho de 2007.

PÉRON-PINVIDIC, G.; MANATSCHAL, G.; MINSHULL, T.A. e SAWYER, D.S. Tectonosedimentary evolution of the deep Iberia-Newfoundland margins: evidence for a complex breakup history. **Tectonics**. v.26, n.2, p.1-19, 2007.

RADAMBRASIL. Ministério de Minas e Energia. (1983) Levantamento dos Recursos Naturais – Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, v.32, p. 780. (Escala 1:1.000.000).

RIDER, M. 2000. *The Geological Interpretation of Well Logs*. Sutherland, Scotland. Second Edition, Rider-French Consulting Ltd, 280 p.

SCHLUMBERGER, 2011. Petrel geophysics course: Petrel 2011. Schlumberger information solutions, 2011. p. 469.

SEVERIANO RIBEIRO, H.J.P. **Estratigrafia de sequências**: fundamentos e aplicações. São Leopoldo: Unisinos, 2001, 428p.

SHERIFF, R. E. **Encyclopedic dictionary of applied geophysics**. Tulsa, Oklahoma, USA: Society of Exploration Geophysicists 2002, 04ed, 429 p.

SOBREIRA, J.F.F., 1996. Complexo Vulcânico de Abrolhos – proposta de modelo tectono-magmático. Anais do XXXIX Cong. Bras. Geol. 5 (Simpósios), 387-391.

SOBREIRA, J.F.F., 1997. Estruturas híbridas tipo gaivota/sinclinal periférico relacionadas a diques ígneos, na Bacia do Espírito Santo. VI SNET – Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Pirenópolis, GO, SBG – Núcleo Brasília, Boletim de Resumos, 156-158.

SOBREIRA, J. F. F.; SZATMARI, P. Novas datações Ar-Ar para as rochas vulcânicas de Abrolhos e implicações para a evolução da Margem Continental Leste Brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 8., 2001, Recife. Anais do... [Recife]: Sociedade Brasileira de Geologia, [2001].

SOBREIRA, J.F.F & SZATMARI, P. Datações Ar-Ar para as rochas vulcânicas de Abrolhos e implicações para a evolução da Margem Continental Leste Brasileira, no Terciário. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 8, 2001, Recife, Anais... João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo do Nordeste, 2002, p. 395.

SOBREIRA, J. F. F. & FRANÇA, R. L. Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos. Bol. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 143-147, 2006.

SZATMARI, P; CONCEIÇÃO, J.C.J; LANA, M.C; MILANI, E.J.; LOBO, A.O – 1984 – Mecanismo tectônico do rifteamento sul-atlântico. In CONGR. BRAS. GEOL.,33, Rio de Janeiro 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. V. 4, p. 1589-1601.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. 1976. **Applied geophysics**. Cambridge: University Press, 1976, 02 ed, 770 p.

TWISS, R.J. & MOORES E.M. 1992, *Structural Geology*, W.H. FREEMAN & COMPANY ed., 532 pgs.

WINGE, M. 2001, Glossário Geológico Ilustrado. In <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>. Acesso em: 28/02/2018.

VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E.; COSTA, L. A. R.; TAGLIARI, C. V.; BACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 191–202, jan/mar. 1994.