

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA
DE RESERVATÓRIOS MISTOS DO ALBIANO DA PLATAFORMA
DE REGÊNCIA, PORÇÃO TERRESTRE DA BACIA DO ESPÍRITO
SANTO, BRASIL.**

LUCAS DUARTE BEGGIATO

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando De Ros – UFRGS/IG

Co-orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer

Banca Examinadora:

Dr. Antonio Cosme Del Rey – PETROBRAS E&P

Dra. Valesca Brasil Lemos – IG/UFRGS

Dr. Elírio Ernestino Toledo Jr. – IG/UFRGS

**Dissertação de mestrado apresentada
como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Geociências**

Porto Alegre

2013

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade e pelo caminho trilhado até hoje.

A Petrobras S.A., nas figuras dos gerentes Genildo Luís Borba e Walter Okano, pela liberação e oportunidade de obter esse conhecimento.

Ao geólogo Ednilson Bento Freire, autor dos primeiros trabalhos de estratigrafia de sequências da área; responsável pelo projeto CARMOD, do qual esse mestrado é fruto. Grande amigo, incentivador e revisor do trabalho. Meu muito obrigado!

Aos colegas da Unidade de Operações e Produção do Espírito Santo, em especial ao geólogo Antônio Carlos Cosme Del Rey, muito importante no processo de discussões do tema e revisão e formatação do trabalho; ao geólogo Carlos Alberto Cosmo, incentivador e responsável por várias discussões da área; aos geólogos João Paulo R. Olivito e Márcio A. Kahwage, pelas sugestões e discussões das sequências mistas; a Geraldo J. B. de Carvalho, pela ajuda com diversas figuras do trabalho; aos geólogos Selma A. Roriz e Rangel B. dos Santos Filho, pelas discussões sobre lâminas e os testemunhos da área, aos geólogos Claudio V. Tagliari; José Luiz de Miranda, Rodolfo P. de Oliveira e Luiz Carlos C. Novais que colaboraram com inúmeras discussões e sugestões; os engenheiros Daniel Dargan Cordeiro, Ângela Hamester Galvão; João H. Crespo, Eduardo J. B. de Almeida e Bernabé Sanjombi pelo incentivo e ajuda em diversos momentos.

Aos professores e orientadores da UFRGS, Claiton Marlon dos Santos Scherer e Luiz Fernando De Ros, responsáveis por excelentes discussões e revisões imprescindíveis ao longo dessa etapa.

A todos colegas de mestrado, em especial a Dorval C. Dias Filho, João Paulo B. Gomes, Cesar H. de A. Rocha, Daniel M. de Oliveira, Garibaldi Armelenti, Ana Barbara Costa, Ana Carolina M. Galves, Adriana D. Rodrigues, Carolina L. Schneider e Matias Martini pela amizade, ajuda e discussões.

Aos meus pais, Túlio e Maria Christina e meu irmão João Paulo, pelo suporte e incentivo, desde os tempos de graduação. Obrigado também aos meus tios; Cecília, Fernando (*In memoriam*), Stella, Francisco, Geraldo, Maria Lúcia; e primos; Márcio, Marcelo, Helena, Gabriel e Vitor; que de diversas maneiras me incentivaram.

Aos inúmeros amigos que me apoiaram durante o período, José Mateus Dias Neto, Ronaly Dias, Carlos Alberto Andrade, Diurlei Andrade, Daniel A. Suppi, Daniele T. Genaro, Gabriel S. Abílio, Carolina Del Roveri, Geisa F. Maia, Davi B. Romualdo, Thiago Xavier e João Antenor P. Xavier, Eduardo Z. Soares e, em especial, a Maria Estela Ferreira, pelo apoio e compreensão ao longo desse caminho.

“O rio atinge seus objetivos porque aprende a contornar obstáculos”

Lao Tsé

À Fernando José Carvalhaes Duarte,

In memoriam

RESUMO

A constante intercalação entre rochas siliciclásticas, carbonáticas e híbridas gerou complexos reservatórios de petróleo na seção albiana (Grupo Barra Nova) da plataforma de Regência, porção emersa da bacia do Espírito Santo. O principal objetivo do trabalho é compreender o ambiente deposicional da sucessão sedimentar mista carbonática-siliciclástica albiana do Grupo Barra Nova nesta área e os fatores que condicionam a qualidade dos seus reservatórios. As rochas que compõe a sucessão estudada foram caracterizadas como rochas siliciclásticas, compostas por mais de 2/3 de grãos siliciclásticos, rochas carbonáticas, compostas por mais de 2/3 de grãos aloquímicos, e rochas híbridas, que possuem entre 1/3 e 2/3 de grãos siliciclásticos, sendo o restante de aloquímicos. Os grãos siliciclásticos são angulosos, mal a moderadamente selecionados, ricos em feldspatos, granadas e pesados, derivados de depósitos de primeiro ciclo, indicando transporte e deposição rápidos. Os grãos carbonáticos se encontram retrabalhados, apresentando abrasão dos envelopes dos oncolitos. A presença constante de grãos carbonáticos, inclusive nas rochas siliciclásticas, indica que as fábricas carbonáticas de água rasa eram permanentemente atuantes durante toda a deposição da sucessão analisada. Fatores como a re-deposição dos grãos carbonáticos, a intercalação caótica entre rochas carbonáticas, siliciclásticas e híbridas além do domínio de rochas maciças indicam que a deposição ocorreu principalmente por fluxos gravitacionais. Apesar da alta frequência de intercalação, foi possível reconhecer sequências através da correlação entre as fácies e os perfis elétricos. Sequências de 4ª ordem foram definidas pelo empilhamento de siliciclásticos finos, gradando a siliciclásticos grossos, a arenitos híbridos, culminando em carbonatos no topo. Mudanças climáticas e a variação relativa do nível do mar (influenciado pela tectônica salífera) controlaram o domínio de depósitos carbonáticos ou siliciclásticos. Durante períodos secos e de mar alto, havia aumento da fábrica carbonática enquanto períodos úmidos e de nível de mar baixo o aporte de siliciclásticos era preponderante.

Palavras Chave: Bacia do Espírito Santo, Plataforma de Regência, Grupo Barra Nova, Formação São Mateus, Sistemas Mistos Siliciclásticos-Carbonáticos, Estratigrafia de Sequências, Sistema Depositional.

ABSTRACT

The constant intercalation between siliciclastic, carbonatic and hybrid rocks generated complex petroleum reservoirs in Albian section (Barra Nova Group) of Regencia platform, onshore portion of Espirito Santo Basin. The main purpose of this work is to understand the depositional environment of Albian Barra Nova Group mixed carbonate-siliciclastic sedimentary sequence and the main factors that control the quality of the reservoirs. The rocks that constitute the succession were characterized as siliciclastic rocks, composed of more of 2/3 of siliciclastic grains, carbonate rocks, composed of more of 2/3 of carbonate allochem grains, and hybrid rocks, composed of between 1/3 and 2/3 of siliciclastic, being the remaining carbonate grains. Siliciclastic grains are angular, badly to moderately sorted, rich in feldspars, garnets and other heavy minerals, derived from first-cycle deposits through fast transport and deposition. Carbonate grains are reworked, commonly showing abrasion of the envelopes of oncolites. The constant presence of carbonate grains, even in the siliciclastic rocks, shows that the shallow water carbonate factory was permanently in activity during the whole deposition of the succession. The re-deposition of carbonate grains, the chaotic interbedding between carbonate, siliciclastic and hybrid rocks, and the dominance of massive rocks indicate that gravity flows were responsible for the transportation of the sediments. Although for the high frequency of intercalation, depositional sequences were identified through the correlation between facies analysis and well logs. 4th order sequences were defined, beginning with fine siliciclastic, grading to coarse siliciclastic to the top, followed by hybrid arenites, and culminating in carbonates at the top. Climatic changes and eustatic variation (induced by salt tectonics) controlled the sedimentation of siliciclastics and carbonates. During dry periods with high sea level the dominance were of carbonatic sedimentation while wet periods with low sea level the supply of siliciclastic were abundant.

Keywords: Espirito Santo basin, Regencia Platform, Barra Nova Group, São Mateus Formation, Mixed Siliciclastic-Carbonate System, Sequence Stratigraphy, Depositional System

Sumário

1. Introdução.....	11
2. Objetivos.....	13
3. Metodologia	14
A. Levantamento Bibliográfico	14
B. Descrição de Testemunhos.....	14
C. Análise de Perfis.....	14
D. Correlação Rocha-Perfil	15
E. Modelo Depositional	15
F. Estratigrafia de Sequencias	15
4. Revisão Bibliográfica	17
A. Sistemas Mistos Siliciclásticos-Carbonáticos	17
B. Mecanismos de Mistura de Sedimentos Siliciclásticos e Carbonáticos.....	20
a. Mistura Gerada por Fluxos Gravitacionais	20
b. Mistura Gerada por Ondas ou Marés.....	24
c. Mistura Gerada por Outros Processos.....	26
C. Bacia do Espírito Santo e a Seção Albiana	29
D. Área de Estudo.....	31
5. Litologia	40
I. Rochas e Fácies.....	40
A. Introdução e Trabalhos Anteriores	40
B. Rochas da Área de Estudo	41
a. Rochas Siliciclásticas	41
b. Rochas Carbonáticas	45
c. Rochas Híbridas	47
C. Fácies	50
1. Pelito Carbonoso com Laminação Plano-Paralela.....	50
2. Siltito Micáceo com Laminação Plano-Paralela	51
3. Heterolito Arenito Fino-Siltito com Laminação Plano-Paralela	51
4. Arenito Muito Fino a Fino com Climbing Ripples	52

5.	Arenito Fino a Médio com Laminação Ondulada Truncante.....	53
6.	Arenito Médio a Conglomerático com Estratificação Cruzada de Baixo Ângulo	54
7.	Arenito Fino a Conglomerático com Estratificação Plano Paralela.....	55
8.	Arenito Médio a Conglomerático com Estratificação Cruzada Tangencial	56
9.	Arenito Muito Fino a Conglomerático Maciço	57
10.	Conglomerado Maciço	58
11.	Arenito Hibrido Muito Fino a Grosso com Estratificação Plano-Paralela.....	59
12.	Arenito Hibrido Muito Fino a Conglomerático Maciço	60
13.	Grainstone Maciço.....	61
14.	Grainstone com Estratificação Plano-Paralela.....	62
15.	Rudstone Maciço.....	63
6.	Associação de Fácies	65
A.	Associação de Fácies I	68
B.	Associação de Fácies II	68
C.	Associação de Fácies III	69
D.	Associação de Fácies IV	70
7.	Modelo Depositional	95
A.	Trabalhos Anteriores	95
B.	Modelo Depositional	97
8.	Correlação Rocha-Perfil e Fluidos	72
9.	Resultados.....	80
I.	Estratigrafia de Sequencias	80
A.	Histórico.....	80
B.	Sequencias de 4ª Ordem	82
C.	Mapas de Proporção de Fácies	88
10.	Conclusões e Recomendações.....	104
11.	Bibliografia.....	106
	ANEXOS.....	112

Índice de Figuras

Figura 1 – Fluxograma do trabalho realizado.	16
Figura 2 – Classificação de arenitos híbridos de Zuffa (1980). NCE – grãos não-carbonáticos extrabaciais; NCI – grãos Não-Carbonáticos Intrabaciais; CI – grãos carbonáticos intrabaciais; CE – grãos carbonáticos extrabaciais.....	18
Figura 3 – Modelo de proveniência variada de turbiditos da Formação Marnoso-Arenacea. Diversas fontes extrabaciais (siliciclásticas) e intrabaciais (carbonáticas) são responsáveis pelo variado empilhamento (Zuffa, 1991)	22
Figura 4 – Variação da proveniência de siliciclásticos (extrabaciais) e carbonatos (principalmente Intrabaciais) do Grupo Hecho (Caja et al, 2010).....	22
Figura 5 – Modelo deposicional da Formação Keeler Canyon, Califórnia (Yose & Heller, 1989).	23
Figura 6 – Modelo de deposição dos arenitos híbridos, do Plioceno da Bacia de Loreto, México (Dorsey & Kidwell, 1999)	24
Figura 7 – Modelo de deposição de sequencia de ritmitos com arenitos híbridos na bacia de Guadix, Espanha(Garcia-Garcia et al, 2009)	26
Figura 8 – Modelo de mistura em Frentes Deltaicas da Formação Riachuelo (Falcone 2006)..	27
Figura 9 – Perfil do Canyon de Potengy, mostrando fluxos gravitacionais associados a suas bordas.....	28
Figura 10 – Localização da Bacia do Espírito Santo, com destaque para a porção terrestre da bacia e a dos campos de Fazenda Santa Luzia (FSL) e Fazenda São Rafael (FSR) (Fonte: Petrobras).....	32
Figura 11 - carta estratigráfica da bacia do Espírito Santo, destacando o Grupo Barra Nova (França et al 2007)	33
Figura 12– Províncias Geomorfológicas da Bacia do Espírito Santo, destacando a localização da área estudada na Plataforma de Regência (Fonte: Petrobrás).	37
Figura 13–Seção sísmica transversal (profundidade) mostrando os marcos do albiano. Refletor laranja corresponde a DPES, azul ao topo do Gr Barra Nova e Fm Regência (equivalente ao topo da unidade BII de Tagliari et al (2013)), verde ao marco glauconita (topo da unidade BI de Tagliari et al (2013)), preto ao topo da Fm São Mateus (topo da unidade A de Tagliari et al (2013)), marrom base da Formação Mariricu e vermelho topo do embasamento.	38
Figura 14–Seção sísmica DIP em profundidade mostrando falhamento lístrico arqueando camadas da Formação São Mateus. Sombreado azul corresponde ao topo do Grupo Barra Nova e Formação Regência, sombreado vermelho corresponde à base da Formação Regência e sombreado amarelo a Formação São Mateus. Refletor marrom base da Formação Mariricu e vermelho topo do embasamento.....	39
Figura 15. A esquerda grãos intensamente fraturados e a direita arenito com “matriz cataclástica” gerada pelo intenso fraturamento dos grãos (UFRGS, 2012).	41
Figura 16. Diagramas composicionais de Folk da composição essencial original (à esquerda) e atual (à direita) para os 207 arenitos siliciclásticos quantificados (UFRGS, 2012).	43

Figura 17 – Fotos de rochas siliciclásticas da área estudada e respectivas laminas.....	44
Figura 18 – Fotos de rochas carbonáticas da área estudada e respectivas laminas.....	46
Figura 19. Diagramas de Folk (1968) para a composição essencial original (à esquerda) e atual (à direita) dos arenitos híbridos (UFRGS, 2012).....	48
Figura 20 – Fotos de arenitos híbridos da área estudada e respectivas laminas.	49
Figura 21 – Pelito carbonoso com laminação plano-paralela (destacada em vermelho).	50
Figura 22 – Siltito rico em biotita com laminação plano-paralela e respectiva lamina. Destaque em vermelho para a laminação. Notem que a intensa bioturbação destrói boa parte da estrutura.	51
Figura 23 – Arenito muito fino a fino, heterolítico com laminação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina. Note que bioturbação interrompe laminação em boa parte da lamina.	52
Figura 24 – Arenito muito fino a fino com climbing ripples e respectiva lamina. Note que a base apresenta laminação plano-paralela até chegar as climbing ripples (destaque em vermelho) ..	52
Figura 25 - Arenito fino a médio com laminações onduladas truncante (destaque em vermelho) e respectiva lamina.	53
Figura 26 –Arenito médio a conglomerático com estratificação cruzada de baixo ângulo (destaque em vermelho) e respectiva lamina.	54
Figura 27 – Arenito fino a conglomerático com estratificação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina.	55
Figura 28 - Arenito médio a conglomerático com estratificação cruzada tangencial na base (destacado em vermelho) e respectiva lamina.	56
Figura 29 - Arenito muito fino a conglomerático maciço e respectiva lamina.....	57
Figura 30 - Conglomerado maciço da área estudada e respectiva lamina.	58
Figura 31 – Arenito híbrido muito fino a grosso com estratificação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina. Note que a intensa bioturbação destrói boa parte da estratificação no testemunho e afeta a orientação na lamina.....	59
Figura 32 – Arenito híbrido médio a grosso (no caso da foto) e respectiva lamina. Graos carbonáticos encontram-se com os envelopes desgastados.	60
Figura 33 – Grainstone maciço e respectiva lamina. Note que os envelopes carbonáticos encontram-se desgastados.	61
Figura 34 – Grainstone Oncolítico com estratificação plano-paralela.	62
Figura 35 – Rudstone Oncolítico da área estudada e respectiva lamina. Note que os envelopes carbonáticos encontram-se desgastados.	63
Figura 36 – Formulas utilizadas para a determinação de eletrofácies utilizando dos dados de Raios Gama, Densidade, Neutrônico e Fator Fotoelétrico (Del Rey, 1995).....	73
Figura 37 – Figura mostrando a correlação Rocha-Perfil. Em verde, arenitos híbridos, em amarelo rochas siliciclásticas e em azul rochas carbonáticas.	76
Figura 38 - Continuação de descrição, mostrando a correlação Rocha-Perfil. Em verde, arenitos híbridos, em amarelo rochas siliciclásticas e em azul rochas carbonáticas.	77

Figura 39 – Perfil mostrando os diversos reservatórios da Formação São Mateus. Note que no círculo laranja a água está acima do óleo, existem vários contatos óleo/água (círculos azuis claros) e os reservatórios possuem pressões diferentes.....	79
Figura 40 – Variação do Nível do mar em menor ordem, com predomínios de fluxos gravitacionais carbonáticos (nível relativo de mar alto) e predomínios de fluxos gravitacionais siliciclásticos (nível relativo de mar baixo).	83
Figura 41 – Grãos de quartzo intensamente fraturados, individualmente. É possível ver a cicatrização de alguns desses grãos.	85
Figura 42 – Ciclos de 4ª ordem em porção amostrada na Fm. São Mateus, modificado da análise de Bento Freire& Cordeiro (2009). Nessa ordem, podemos definir os ciclos maiores utilizando o perfil de raios gama ou os perfis de densidade e neutrônico. As fácies amarelas são siliciclásticas, as verdes são híbridas e azuis são carbonatos.....	86
Figura 43 – Ciclos de 4ª ordem diminuindo em direção ao topo.	87
Figura 44 – Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade I	90
Figura 45 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade II.	91
Figura 46 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade III.	92
Figura 47 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade IV.....	93
Figura 48 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade V.....	94
Figura 49 – Sistema Depositional da Área Estudada durante o período de Nível de Mar Baixo.	102
Figura 50 – Sistema Depositional da Área Estudada durante o período de Nível de Mar Alto.	103

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Rocha descrita e estruturas.	64
Tabela 2 – Tabela resumo das fácies descritas, com associação de fácies e interpretação.	66
Tabela 3 - Possíveis correlações rocha x perfil que podem ser feitas de acordo com as rochas da Formação São Mateus	78
Tabela 4 – Principais controladores da sedimentação	84
Tabela 5 – Tabela com rochas, Processos, Empilhamento e Arquitetura esperado em sistemas mistos carbonáticos-siliciclásticos.....	98

1. Introdução

Sistemas de sedimentação mista carbonática-siliciclástica são relativamente comuns na natureza, mas quase sempre são analisados separadamente devido à generalização de conceito que ambientes carbonáticos e siliciclásticos não podem ocorrer simultaneamente (Zuffa, 1980; Mount, 1984). A “convivência” desses ambientes gera, muitas vezes, intrigantes sucessões verticais de fácies, de grande complexidade e difícil entendimento dos processos deposicionais.

A compreensão dos sistemas de sedimentação mista carbonática-siliciclástica se mostra importante para a indústria petrolífera, já que é essencial para determinar a distribuição dos melhores reservatórios e seus respectivos selos e, conseqüentemente, propiciar uma melhor maneira de exploração desse tipo de reservatório.

O aporte sedimentar (influenciado por clima e tectônica) e a variação eustática do nível do mar são os principais fatores controladores do empilhamento sedimentar em uma bacia. No caso de sistemas mistos, a variação desses fatores influencia diretamente a predominância de depósitos siliciclásticos ou carbonáticos (Mullins, 1983; Droxler, 1985; Fontana et al, 1989; Dolan, 1989; Yose & Heller, 1989).

A sucessão vertical em sistemas mistos pode estar relacionada a mudanças climáticas, tectônicas e eustáticas em diversas escalas de tempo, de acordo o processo responsável pela mistura siliciclástica-carbonática.

Depósitos mistos siliciclásticos-carbonáticos de grande complexidade das rochas do Grupo Barra Nova de idade albiana ocorrem na Plataforma de Regência, porção terrestre da bacia do Espírito Santo. A mistura de grãos siliciclásticos com carbonáticos, comum nessa área, gera diversos tipos de arenitos híbridos (sensu Zuffa, 1980). A compreensão da interação desses componentes é de fundamental importância para o entendimento do sistema deposicional atuante na área

2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é compreender o ambiente deposicional da sucessão sedimentar misto carbonática-siliciclástica albiana do Grupo Barra Nova na Plataforma de Regência, região dos campos de Fazenda Santa Luzia (FSL) e Fazenda São Rafael (FSR), porção terrestre da Bacia do Espírito Santo e os fatores deposicionais que condicionam o empilhamento litológico da área .

Como objetivos específicos têm-se:

- Caracterizar as fácies deposicionais presentes nos poços testemunhados e seu empilhamento estratigráfico;
- Efetuar correlação rocha-perfil, estabelecendo critérios de interpretação das litologias dos poços não testemunhados com base em perfis elétricos;
- Estabelecer um modelo evolutivo baseado nos conceitos de estratigrafia de sequencias (*sensu* Catuneanu, 2006) considerando as diversas hipóteses de processos deposicionais que possam explicar a variação faciológica identificada e as associações de fácies características dos ambientes deposicionais;
- Mapear a distribuição espacial das associações de fácies e construir blocos diagrama estabelecendo as relações entre os diversos processos;
- Propor um zoneamento a partir da compreensão do empilhamento dos elementos arquiteturais dentro dos sistemas mistos que responda ao comportamento dos reservatórios albianos dessa porção da Plataforma de Regência, bacia terrestre do Espírito Santo.

3. Metodologia

O estudo baseou-se primeiramente no levantamento bibliográfico da área estudada e seus possíveis análogos, seguido de análise de dados sísmicos 3D da área proposta, descrição dos testemunhos e lâminas petrográficas da área; análise faciológica, correlação rocha-perfil, elaboração de mapas de proporção de fácies; interpretação e definição do sistema deposicional para a área e análise de estratigrafia de sequências para as seções mistas. Abaixo é apresentado um fluxograma das etapas do trabalho (Figura 1).

A. Levantamento Bibliográfico

Foram levantados estudos sobre três temas principais:

- 1) Estudos anteriores sobre a bacia do Espírito Santo, em especial sobre o Grupo Barra Nova
- 2) Estudos sobre unidades do Albiano em outras bacias brasileiras.
- 3) Estudos sobre sistemas deposicionais responsáveis por misturas carbonático-siliciclásticas, comparando os possíveis análogos à área estudada.

B. Descrição de Testemunhos

Foram descritos cinco poços testemunhados, compreendendo aproximadamente 420 metros de testemunho. A descrição dos testemunhos foi sistematicamente apoiada pela caracterização petrográfica qualitativa essencial para a definição das fácies descritas. Foram reconhecidas associações de fácies geneticamente relacionadas.

C. Análise de Perfis

Foram analisados perfis de 120 poços na região, utilizando principalmente os perfis de raios-gama, densidade, neutrão, fator fotoelétrico, resistividade e sônico. A correlação rocha-perfil foi de fundamental importância,

já que assim conseguiu-se uma distribuição das fácies ao longo da área estudada, informação importante na distinção do sistema deposicional.

D. Correlação Rocha-Perfil

A correlação rocha-perfil foi de fundamental importância para o reconhecimento da distribuição das fácies ao longo da área estudada, permitindo a interpretação do sistema deposicional.

As associações de fácies definidas na descrição dos testemunhos foram estendidas para os poços não testemunhados, utilizando-se análise estatística dos dados de perfilagem.

E. Modelo Depositional

A integração da análise dos dados regionais do Grupo Barra Nova, com a análise dos testemunhos e perfis dos poços estudados e com a literatura sobre sistemas mistos carbonático-siliciclásticos permitiu a definição do modelo deposicional da área.

F. Estratigrafia de Sequencias

Buscou-se analisar o empilhamento da seção mista, definindo sequencias que mostrassem a evolução geológica da região. A intrincada intercalação de depósitos siliciclásticos e carbonáticos em alta frequência mostra que é necessário uma análise detalhada em alta resolução para explicar o comportamento dos reservatórios.

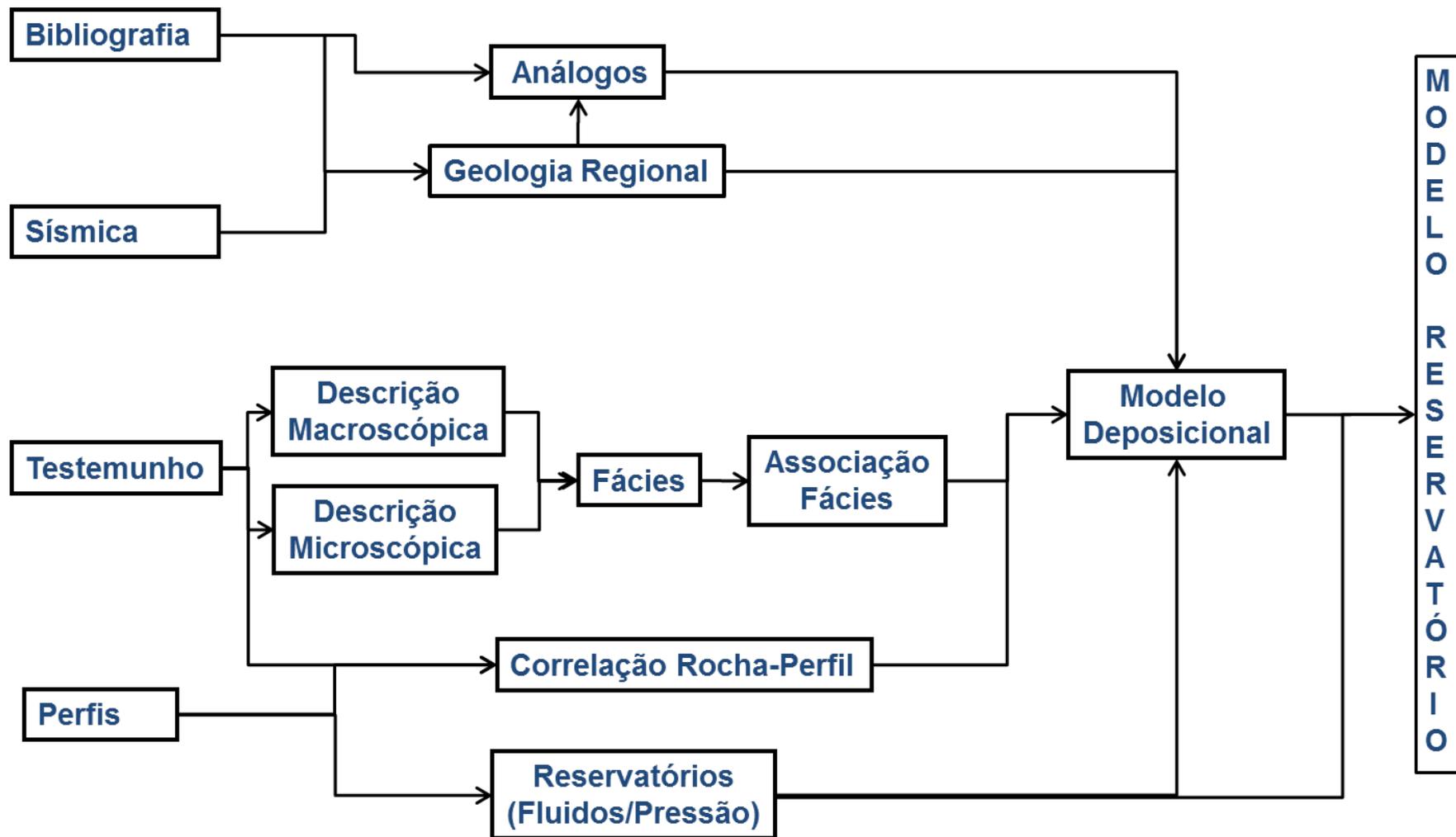


Figura 1 – Fluxograma do trabalho realizado.

4. Revisão Bibliográfica

A. Sistemas Mistos Siliciclásticos-Carbonáticos

Ambientes siliciclásticos e carbonáticos são tratados muitas vezes como incompatíveis, pois o influxo de sedimentos siliciclásticos impediria o crescimento de organismos responsáveis pela sedimentação carbonática. Apesar desse conceito, a interação desses ambientes é relativamente comum na natureza e ocasiona a existência de complexos depósitos mistos siliciclásticos-carbonáticos (Zuffa, 1980; Mount, 1984).

Diversos processos podem gerar a mistura de grãos siliciclásticos com carbonáticos. Mount (1984) identifica quatro processos principais de mistura de siliciclásticos com carbonatos em plataformas:

1 – Mistura pontual, onde tempestades esporádicas e outros eventos periódicos transferem sedimentos de uma área tipicamente de deposição carbonática para uma siliciclástica ou vice-versa;

2 – Mistura de fácies, onde sedimentos são misturados ao longo da faixa transicional entre os dois ambientes;

3 – Mistura *in situ*, onde a fração carbonática é composta por bioclastos que se depositam em substratos siliciclásticos;

4 – Mistura na fonte, onde a mistura é formada pela erosão de sedimentos carbonáticos, misturados com os sedimentos siliciclásticos erodidos conjuntamente.

Mount (1984) não descarta a existência de mais processos para efetuar a mistura, em especial em outros ambientes deposicionais que não os plataformais. Esses processos podem atuar de maneira conjunta para formar arenitos híbridos *sensu* Zuffa (1980).

Diversos trabalhos retratam a convivência de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos em diferentes sistemas deposicionais (ver tabela anexo 1). Os principais processos relatados que são responsáveis pela mistura são

atribuídos a fluxos que depositam grãos carbonáticos e siliciclásticos conjuntamente.

Outra dificuldade encontrada nos estudos sobre depósitos mistos refere-se a sua classificação, sendo comum o uso de sistemas de classificação específicos para rochas siliciclásticas ou carbonáticas para classificar ambos tipos de rocha, assim como também aquelas formadas por misturas em proporção similar dos dois tipos de constituintes.

Zuffa (1980, 1985) criou uma classificação (Figura 2) que define arenitos híbridos como aqueles constituídos por misturas de proporções similares (formalmente entre 33% e 66%) entre grãos siliciclásticos extrabaciais (quartzo, feldspatos e fragmentos de rochas erodidas fora da bacia), grãos carbonáticos intrabaciais (bioclastos, oólitos, oncolitos, pellets, pelóides e intraclastos carbonáticos gerados dentro da bacia), grãos carbonáticos extrabaciais (oriundos de rochas carbonáticas erodidas de fora da bacia) ou grãos não-carbonáticos intrabaciais (intraclastos lamosos, grãos glauconíticos e fosfáticos gerados dentro da bacia).

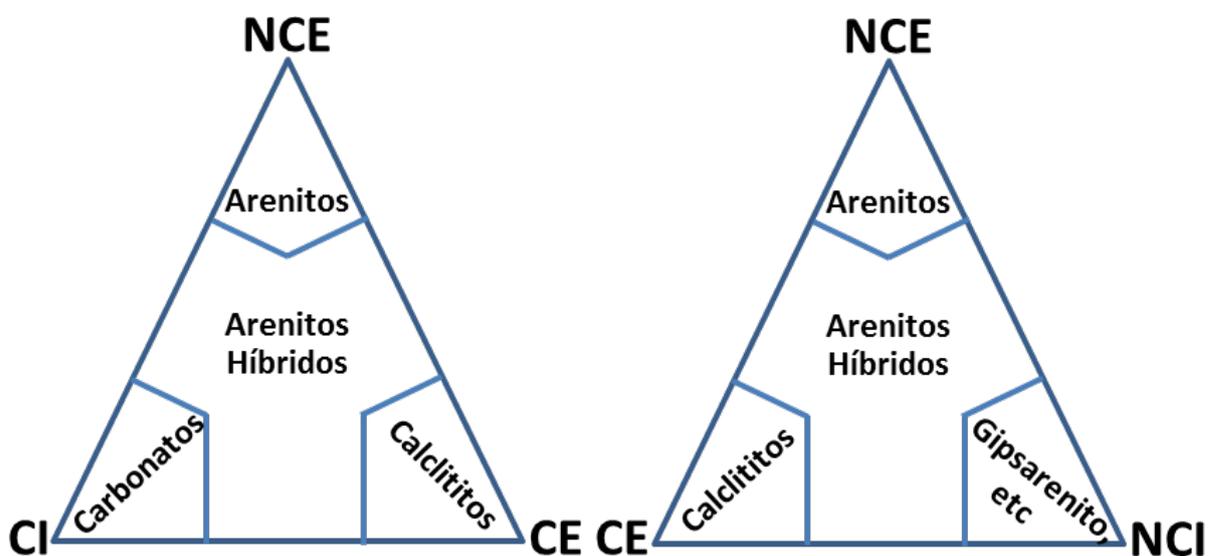


Figura 2 – Classificação de arenitos híbridos de Zuffa (1980). NCE – grãos não-carbonáticos extrabaciais; NCI – grãos Não-Carbonáticos Intrabaciais; CI – grãos carbonáticos intrabaciais; CE – grãos carbonáticos extrabaciais.

Diversos trabalhos citados na tabela anexo 1 utilizaram a classificação de Zuffa (1980; 1985). Dentre esses, destacam-se trabalhos realizados na Itália (Alpes e Apeninos – Marnoso Arenaceo (Gandolfi et al, 1983; Cavazza & Gandolfi, 1992) e Formação Bismantova (Fontana & Spadafora;1994; Spadafora et al, 1998)) e Espanha (Pirineus – Grupo Hecho(Fontana et al, 1989)).

O papel da tectônica nas bacias sedimentares é determinante na evolução da mesma, atuando diretamente na formação de espaços deposicionais, no soerguimento de áreas e na estruturação dos sedimentos. Em sequencias mistas, pode acarretar no domínio ou de sedimentação siliciclástica ou de sedimentação carbonática.

Dolan (1989) cita dois fatores importantes em áreas tectonicamente ativa que influenciam diretamente na mistura de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos:

- 1- Diferentes níveis de soerguimento e subsidência, afetando as áreas fontes de sedimentos carbonáticos.
- 2- Aumento da erosão e conseqüente aumento de aporte siliciclástico nas bordas da bacia

A tectônica salífera também pode atuar de maneira decisiva em ambientes de sedimentação mista. Tagliari (1993) e Tagliari et al (1995) citam a importância da atuação da tectônica adiastrófica na evolução deposicional e estrutural da sucessão albiana na Plataforma de Regência. Bento Freire & Cordeiro (2009) concordam com essa interpretação colocando o domínio de depósitos siliciclásticos em época de movimentação tectônica e o domínio de depósitos carbonáticos em períodos de quiescência.

É importante salientar que a influencia da tectônica afeta diretamente a variação do nível relativo do mar. Essa variação atua diretamente no domínio de sedimentação carbonática em níveis baixos e domínio de siliciclástica em níveis altos. Mullins (1983); Droxler & Schlager (1985), Yose & Heller (1989), Fontana et al (1989) e Dolan (1989) citam a importância da variação eustática nos depósitos mistos.

Em áreas tectonicamente passivas, a variação global do nível eustático que atua na alternância de depósitos siliciclásticos e carbonáticos.

Outro fator importante em sequências carbonático-siliciclásticas é o clima, já que esse influencia intemperismo, erosão e deposição dos sedimentos, e, conseqüentemente, a evolução de uma sequência mista. Períodos mais úmidos podem apresentar um predomínio de aporte de siliciclásticos em uma bacia, inibindo um desenvolvimento de carbonatos. Da mesma maneira, períodos secos podem apresentar um aumento de sedimentação carbonática com uma diminuição do aporte de siliciclásticos.

B. Mecanismos de Mistura de Sedimentos Siliciclásticos e Carbonáticos

Diversos mecanismos podem gerar mistura de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos. Dentre os processos que geram essas misturas, os mais comuns são ocasionados por fluxos gravitacionais e ondas e marés. A seguir será melhor discutido os diversos processos responsáveis por mistura dos grãos siliciclásticos e carbonáticos.

a. Mistura Gerada por Fluxos Gravitacionais

O termo fluxo gravitacional utilizado no trabalho é *sensu* Middleton & Hampton (1973) como um termo geral para fluxos de sedimentos ou mistura de fluído e sedimento sob ação gravitacional.

Middleton & Hampton (1973) classificam fluxos gravitacionais em 4 categorias, de acordo com a natureza do mecanismo de suporte dominante:

- Correntes de Turbidez (suporte do sedimento por um componente de turbulência ascendente)
- Fluxo de Sedimentos Fluidizados (suporte dos sedimentos pelo fluxo intergranular ascendente)
- Fluxo de Grãos (suporte dos sedimentos pela interação dos grãos)
- Fluxo de Detritos (suporte dos sedimentos pela matriz)

Em toda bibliografia analisada, o processo mais comum de mistura dos grãos carbonáticos e siliciclásticos são fluxos gravitacionais. A tectônica se mostra muito importante no controle dos fatores determinantes de fluxos turbidíticos e outros processos gravitacionais capazes de misturar sedimentos carbonáticos e siliciclásticos.

Gandolfi et al (1983) e Zuffa (1991) mostram a diversificada mudança de área fonte em arenitos híbridos da Formação Marnoso-Arenacea (Bacia Periadriática, Itália) através de estudos de proveniência. Os sedimentos siliciclásticos (extrabaciais) e carbonáticos (intrabaciais) foram depositados inicialmente em água rasa e posteriormente remobilizados por fluxos gravitacionais, gerando depósitos turbidíticos intensamente intercalados entre arenitos siliciclásticos, carbonáticos e híbridos (Figura 3).

No Grupo Hecho (Eoceno) dos Pirineus (Espanha), a existência de arenitos híbridos também é atribuída a fluxos gravitacionais. Fontana et al (1989) e Caja et al (2010) mostram a variação no soerguimento das áreas fontes (responsável pela deposição dos sedimentos siliciclásticos e, em menor quantidade, carbonáticos) e a redeposição desses diferentes tipos de sedimentos em porções mais profundas da bacia por fluxos turbidíticos (Figura 4).,

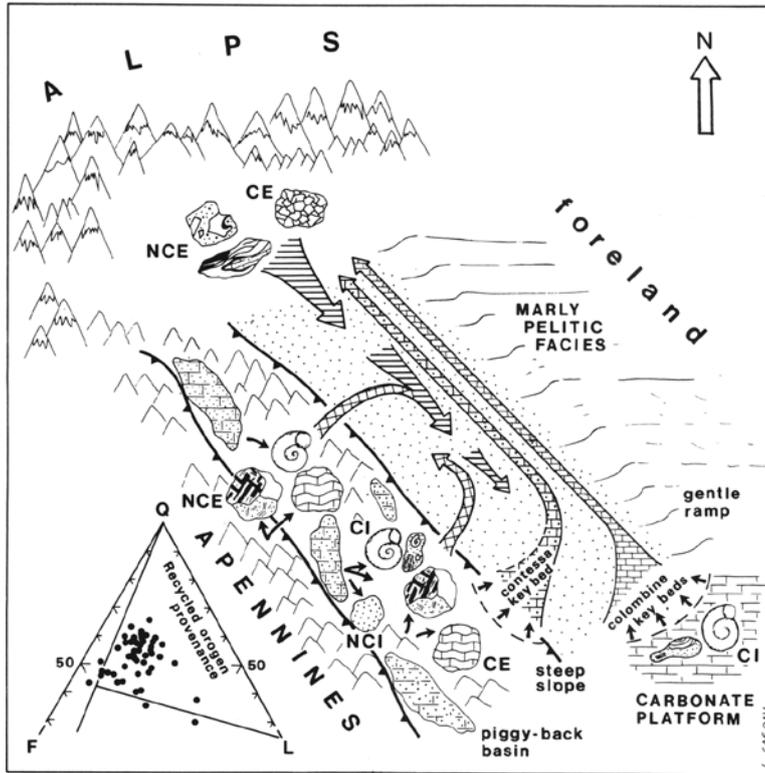


Figura 3 – Modelo de proveniência variada de turbiditos da Formação Marnoso-Arenacea. Diversas fontes extrabaciais (siliciclásticas) e intrabaciais (carbonáticas) são responsáveis pelo variado empilhamento (Zuffa, 1991)

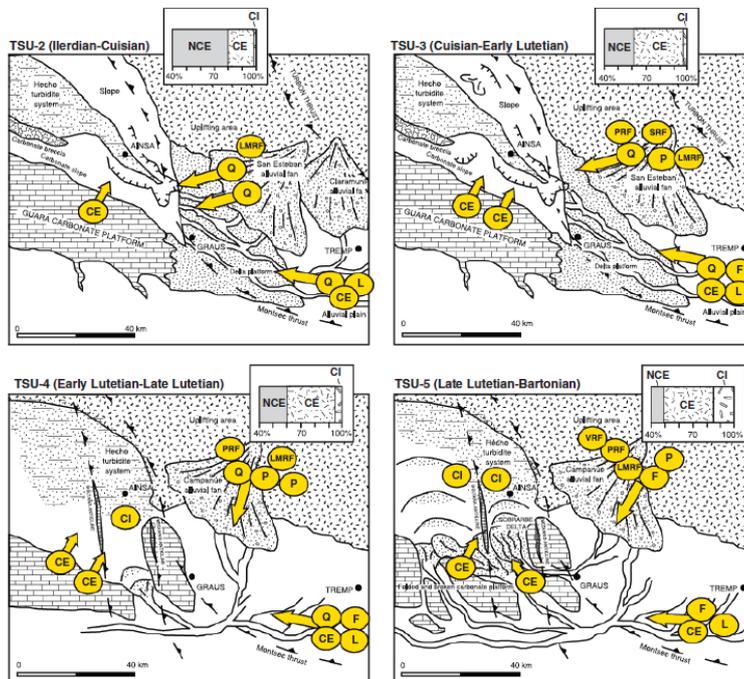


Figura 4 – Variação da proveniência de siliciclásticos (extrabaciais) e carbonatos (principalmente Intrabaciais) do Grupo Hecho (Caja et al, 2010).

Yose & Heller (1989) citam fluxos gravitacionais como o processo causador de mistura de grãos carbonáticos e siliciclásticos na Formação Keeler Canyon, no sudeste da Califórnia (EUA) (Figura 5). Os grãos siliciclásticos são extrabaciais, enquanto os carbonáticos são intrabaciais. A variação de domínio siliciclástico ou carbonático é atribuída a variação eustática (mar alto – carbonático; mar baixo – siliciclásticos). A existência de falhamento transtensional sin-deposicional adjacente aos depósitos também mostra a importância da atuação da tectônica, pois a movimentação das falhas propiciou o retrabalhamento dos sedimentos depositados na rampa.

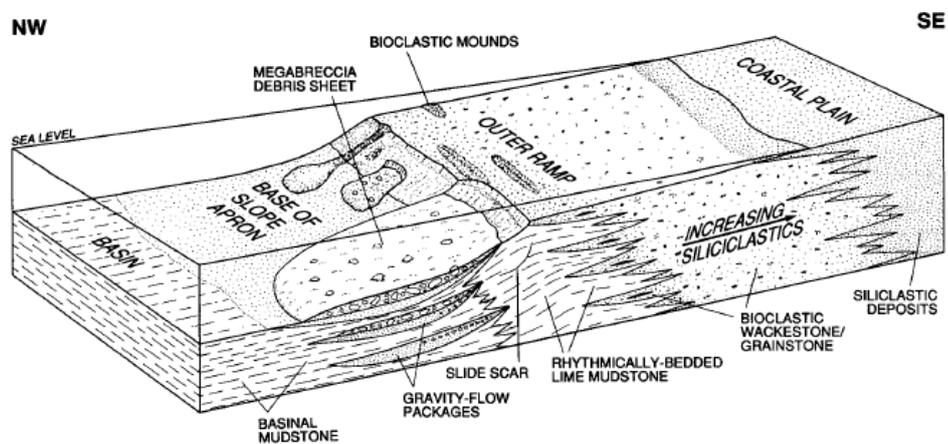


Figura 5 – Modelo deposicional da Formação Keeler Canyon, Califórnia (Yose & Heller, 1989).

Na bacia de Loreto, Baja Califórnia, México, Dorsey & Kidwell (1999) mostram a mistura de sedimentos carbonáticos produzidos em plataforma de alta energia que são redepositados com areias e cascalho vulcanoclásticos, provenientes de leques aluviais por correntes turbidíticas e fluxos de detritos (Figura 6).

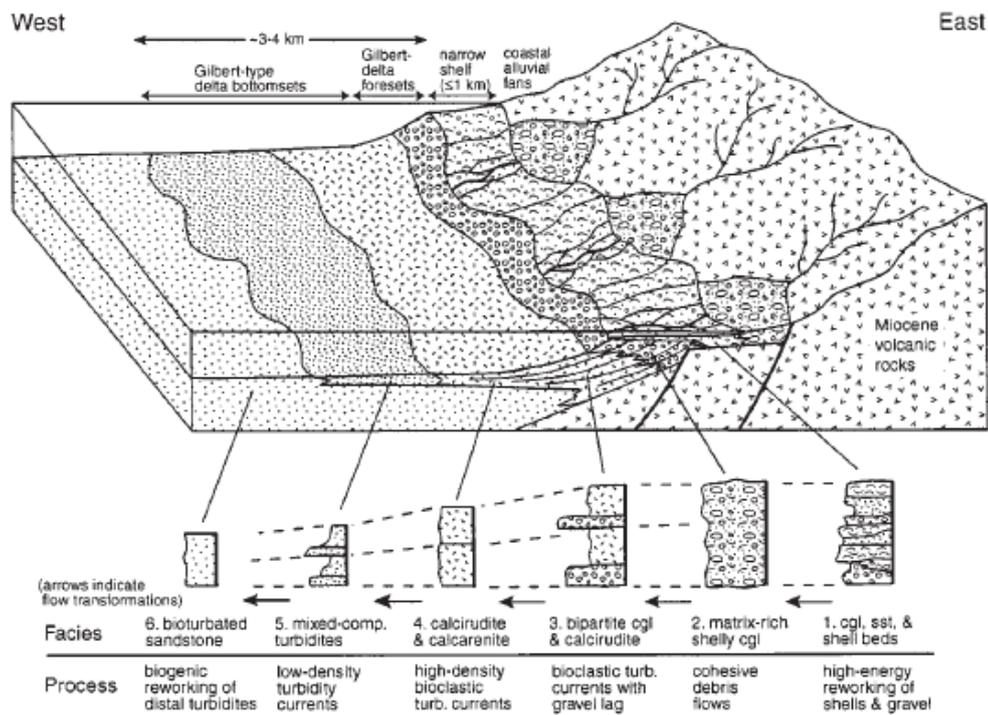


Figura 6 – Modelo de deposição dos arenitos híbridos, do Plioceno da Bacia de Loreto, México (Dorsey & Kidwell, 1999)

b. Mistura Gerada por Ondas ou Marés

Testa & Bosence (1998) analisaram misturas de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, em rampa marinha rasa do litoral do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. Ondas e maré são responsáveis por misturar grãos siliciclásticos e carbonáticos (principalmente algas verdes e vermelhas) em uma rampa tropical. Variações do nível do mar propiciam o retrabalhamento de sedimentos de ambas as origens depositados pouco tempo antes.

Testa & Bosence (1998) complementam que a mistura pode se dar basicamente por três processos: crescimento de organismos carbonáticos em areias siliciclásticas; erosão de afloramentos de rochas carbonáticas e siliciclásticas devido a variação do nível do mar e transporte de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos por ondas, marés e/ou correntes oceânicas.

Na bacia de Gaudix (Mioceno, Espanha) Garcia-Garcia et al (2009) avaliaram sequencia de ritmitos com arenitos híbridos. Os ritmitos são compostos por intercalação de margas, ricas em organismos planctônicos e arenitos finos a grosso, composto principalmente por quartzo e mica e secundariamente por grãos de margas.

Os arenitos híbridos, que aparecem ao longo da seção com os ritmitos, são compostos por grãos de bioclastos e siliciclásticos (quartzo, feldspato e grãos de rochas metamórficas). Os bioclastos estão sempre muito fragmentados e com alto grau de abrasão. Esses pacotes de arenitos híbridos são rastreados por longas distancias, apresenta predominantemente estratificação cruzada tabular com paleo-correntes quase sempre unidirecionais.

Garcia-Garcia (2009) interpreta ritmitos formados pela intercalação de depósitos pelágicos (margas) com fluxos turbidíticos (siliciclásticos) como depositados sob clima seco. A periodicidade dos eventos turbidíticos é que marca os ritmitos. Arenitos híbridos bioclásticos seriam depositados sobclima úmido, onde ondas e correntes retrabalhariam intensamente os bioclastos que compõe a rocha (Figura 7).

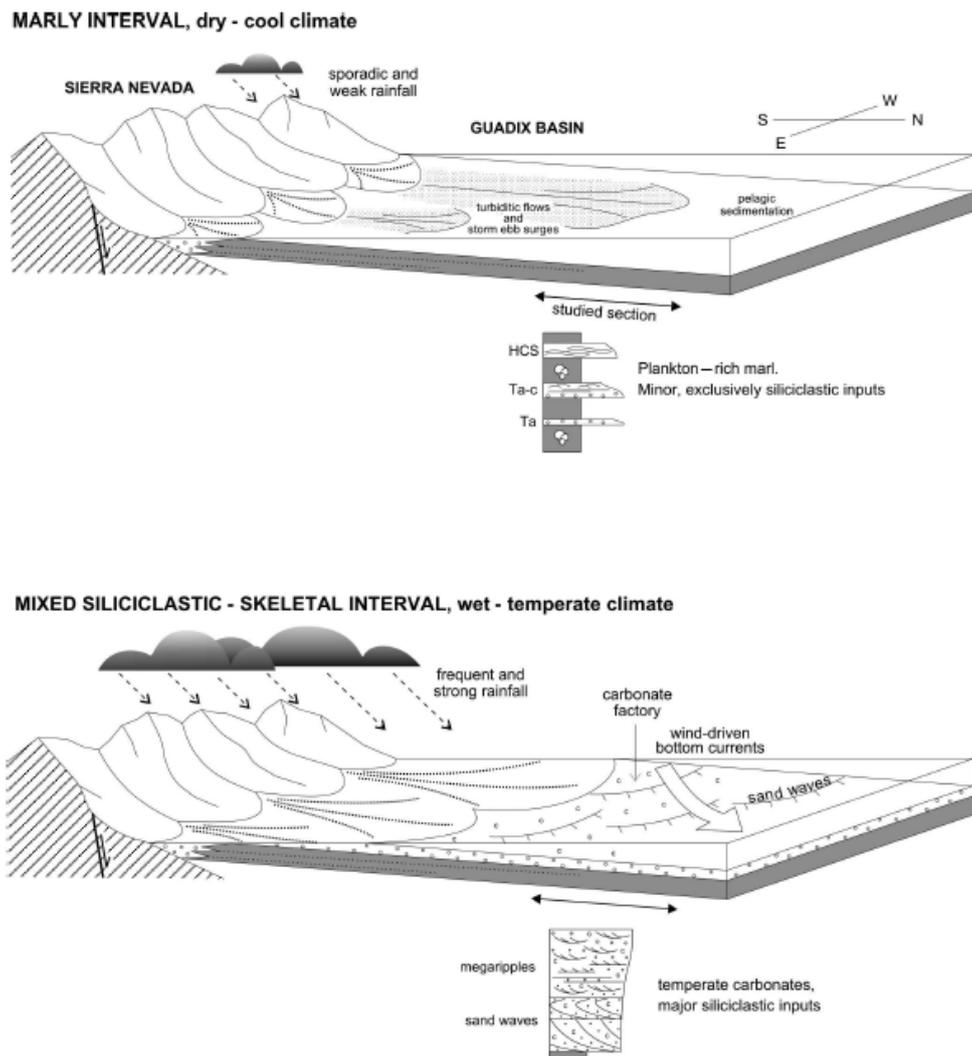


Figura 7 – Modelo de deposição de sequencia de ritmitos com arenitos híbridos na bacia de Guadix, Espanha(Garcia-Garcia et al, 2009)

c. Mistura Gerada por Outros Processos

Além de fluxos gravitacionais e ondas ou marés, outros processos podem gerar a mistura dos grãos carbonáticos e siliciclásticos.

Também se observa mistura em ambiente plataformais, abastecidos de siliciclásticos por rios, deltas e/ou leques. Correntes oriundas do continente podem gerar mistura de grãos siliciclásticos e carbonáticos.

Na Formação Riachuelo, Bacia de Sergipe-Alagoas, Falcone (2006) cita que fácies distais da frente deltáica se caracterizam pela mistura de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos. São formadas por arenitos finos a muito finos e siltitos bioclásticos. Na porção distal da frente deltáica ocorre a transição para as fácies da rampa carbonática. Portanto as fácies de arenito e siltito bioclástico se intercalam com camadas constituídas por wackestone bioclástico com siliciclástico, grainstone oolítico com siliciclástico, packestone bioclástico com siliciclástico, packstones oolítico, oncolítico, peloidal. Os grainstones e packstones constituem pequenas barras carbonáticas que se formam durante período de clima mais seco. Em períodos com clima mais úmido, os sedimentos siliciclásticos chegaram até à porção distal da frente deltáica, onde foram retrabalhados pelas ondas, marés e correntes, ocorrendo a mistura dos constituintes carbonáticos e siliciclásticos (Figura 8).

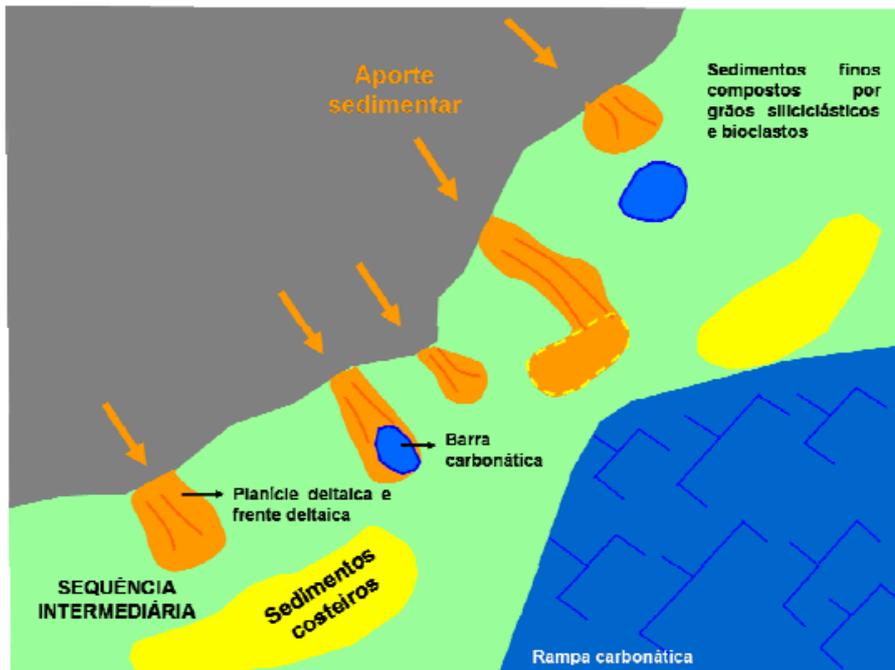


Figura 8 – Modelo de mistura em Frentes Deltaicas da Formação Riachuelo (Falcone 2006)

Vital et al (2010) descreve diversos processos responsáveis por mistura carbonática-siliciclástica em toda plataforma continental do Rio Grande do Norte. Os siliciclásticos são trazidos pelas descargas de rios enquanto os carbonatos crescem em sua maior parte em um alto interno. Eles apontam como a variação relativa do nível do mar como o principal controlador do domínio siliciclástico (mar baixo) ou carbonático (mar alto). Além do retrabalhamento por onda e maré (já citado anteriormente (Testa & Bosence, 1998)), correntes também misturam siliciclásticos e carbonatos, além de serem responsáveis pelo retrabalhamento de carbonatos. Também são observados fluxos gravitacionais, em porções mais distais de *canyons*, associados a alto estrutural (Figura 9).

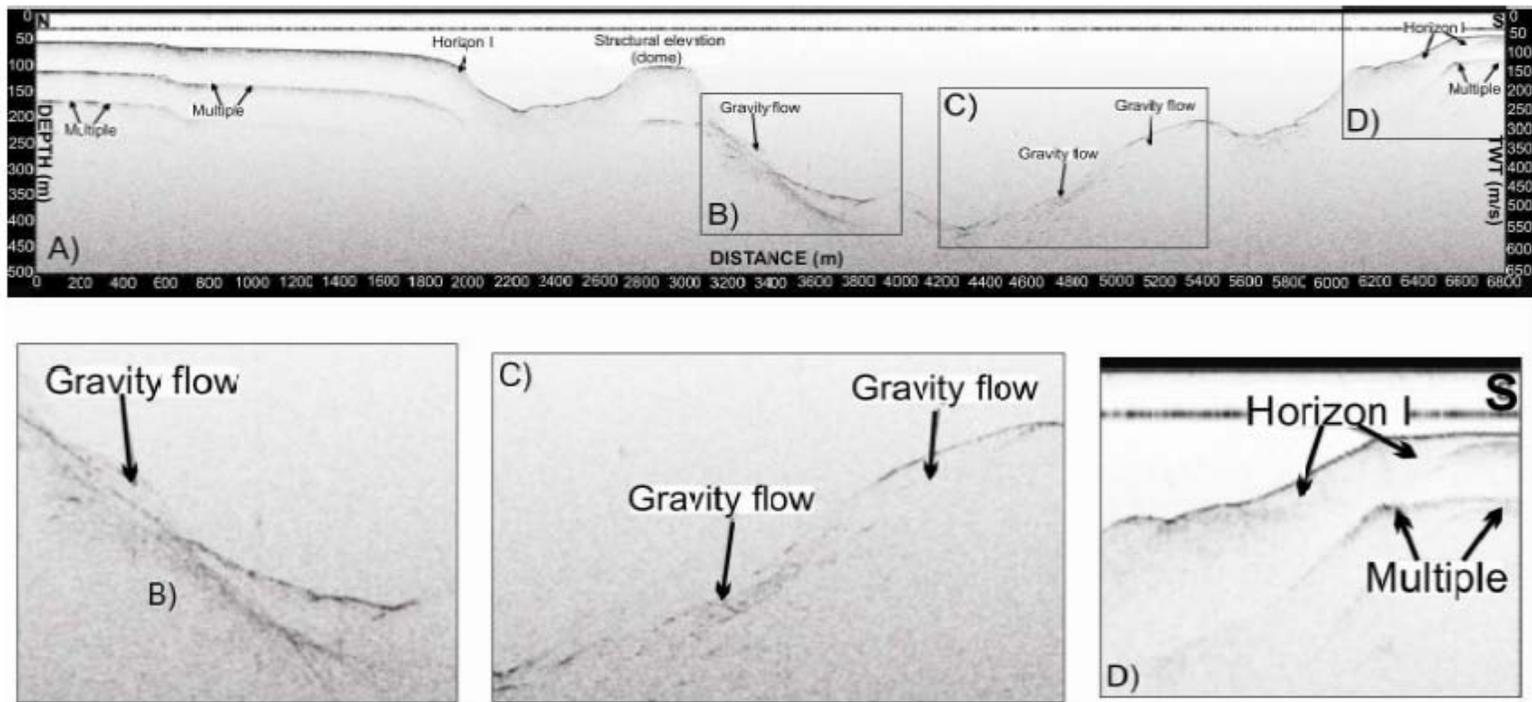


Figura 9 – Perfil do Canyon de Potengy, mostrando fluxos gravitacionais associados a suas bordas.

C. Bacia do Espírito Santo e a Seção Albiana

A bacia do Espírito Santo é uma das bacias de margem distensiva da costa leste brasileira, formada a partir da separação dos continentes africano e sul-americano. Localizada no estado homônimo, se estende desde porções terrestres como para mar, limitada a sul pela Bacia de Campos (Alto de Vitória) e a norte pela Bacia de Mucuri (Divisa ES/BA) (Figura 1).

França et al (2007) define três supersequências que compõe o preenchimento sedimentar da bacia (figura 2): Supersequência Rifte composta por depósitos lacustres com contribuição fluvial e aluvial nas bordas dos falhamentos, enquanto que nos altos estruturais internos depositaram-se coquinas e outros carbonatos (correspondente a Formação Cricaré, Valanginiano ao Aptiano Inferior). Os pulsos tectônicos são registrados tanto por conglomerados de bordas de falhas como por vulcânicas da Formação Cabiúnas.

Supersequência Pós-Rifte: Do Eo Aptiano ao Neo Aptiano, corresponde a Formação Mariricu, compostas pelos membros Mucuri (clásticos grossos intercalados por siltitos; depositados por deltas e leques aluviais; e evaporitos) e Itaúnas (espessas camadas de evaporitos, predominando anidrita na porção terrestre da bacia).

Supersequência Drifte: A parte basal corresponde ao Grupo Barra Nova (formações São Mateus e Regência), depositadas durante o Albiano. Depósitos intercalados de arenitos, siltitos, carbonatos e arenitos híbridos (Formação São Mateus) até o predomínio de depósitos carbonáticos (Formação Regência). É o intervalo alvo desse estudo. Logo acima, com a continua separação dos continentes sul-americano e africano, houve o afogamento da plataforma carbonática. Aparecem espessas camadas de folhelhos cinza-escuros e arenitos turbidíticos depositados em ambiente marinho de talude e bacinal, pertencentes à Formação Urucutuca, depositados desde o Cenomaniano.

Os depósitos turbidíticos da Formação Urucutuca são recobertos pelas Formações Caravelas (rochas carbonáticas) e Rio Doce (porção siliciclástica), que possuem depósitos continentais, transicionais e marinho raso.

A transição da plataforma carbonática para os depósitos turbidíticos é muito bem marcada na porção terrestre da bacia, com um expressivo evento erosivo que escavou a plataforma, originando os paleocânions de Fazenda Cedro e de Regência (Vieira, 1998; França et al, 2007) .

As estruturas de maior relevância na bacia são altos e baixos, induzidos por falhas de direção NW-SE, com características transcorrentes que afetaram desde o embasamento até os sedimentos da bacia (Novais, 2005).

Azevedo (2004) cita uma barreira entre o Atlântico Sul Meridional (ASM) do Atlântico Sul Central (ASC) formada pelo lineamento do alto de Florianópolis e a Dorsal de São Paulo. Essa divisão, rompida apenas no Neo-Albiano, insere o ASC num cinturão climático árido com balanço hídrico negativo.

Além disso, Azevedo (2004) mostra a importância das profundas mudanças paleoceanográficas induzidas por fenômenos tectônicos globais ligados a dinâmica de criação de crosta oceânica para a evolução sedimentar no Atlântico Sul Central. Menciona também que movimentações halocinéticas e variações orbitais foram responsáveis pelas oscilações de espaço deposicional, proporcionando o empilhamento de ciclos shallowing-upward em diferentes magnitudes.

D. Área de Estudo

A porção terrestre da Bacia do Espírito Santo se divide em quatro províncias geomorfológicas, de sul para norte: Paleocânion de Regência, Plataforma de Regência, Paleocânion de Fazenda Cedro e Plataforma de São Mateus (Figura 3).

A área estudada está localizada no norte do estado do Espírito Santo, a aproximadamente 130 km da capital Vitória e a 30 km a nordeste de Linhares-ES (Figura 10). Geologicamente, estão inseridos na porção emersa da Bacia do Espírito Santo, na denominada Plataforma de Regência e abrange os campos de Fazenda Santa Luzia (FSL) e Fazenda São Rafael (FSR) (Figura 12).

A plataforma de Regência é limitada a norte pelo Paleocânion de Fazenda Cedro e a Sul pelo Paleocânion de Regência. A formação desses cânions erodiu praticamente toda sequência albiana nesses locais, depositando a sequência turbidítica, pertencente a Formação Urucutuca, e os arenitos e carbonatos das formações Caravelas e Rio Doce, como dito no item anterior (Heinerici et al, 1983; Tagliari, 1993; Tagliari et al, 1996; França et al, 2007).

A plataforma de Regência é dividida em dois blocos (alto; a oeste; e baixo; a leste), gerados por um sistema de falhas norte-sul/noroeste-sudeste (Sistema de Falhas Cedro-Rio Doce) (Heinerici, J. et al., 1983, Vieira et al 1992, Tagliari et al 2012). Esses falhamentos afetam, inclusive, o embasamento da bacia, são de idade berriasiana e foram reativados durante toda história geológica da mesma, sendo, assim, de grande importância na estruturação de toda a plataforma (Novais, 2005, Vieira et al, 1992).

Além disso, existe grande quantidade de falhas lítricas, ocasionadas pelo escape do sal da seção inferior (Formação Mariricu, Membro Itaúnas, Aptiano). A existência desses *roll-overs* é fundamental para a formação de trapas com reservatórios de hidrocarbonetos além de ser a principal estrutura nos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael (Figura 13 e Figura 14).

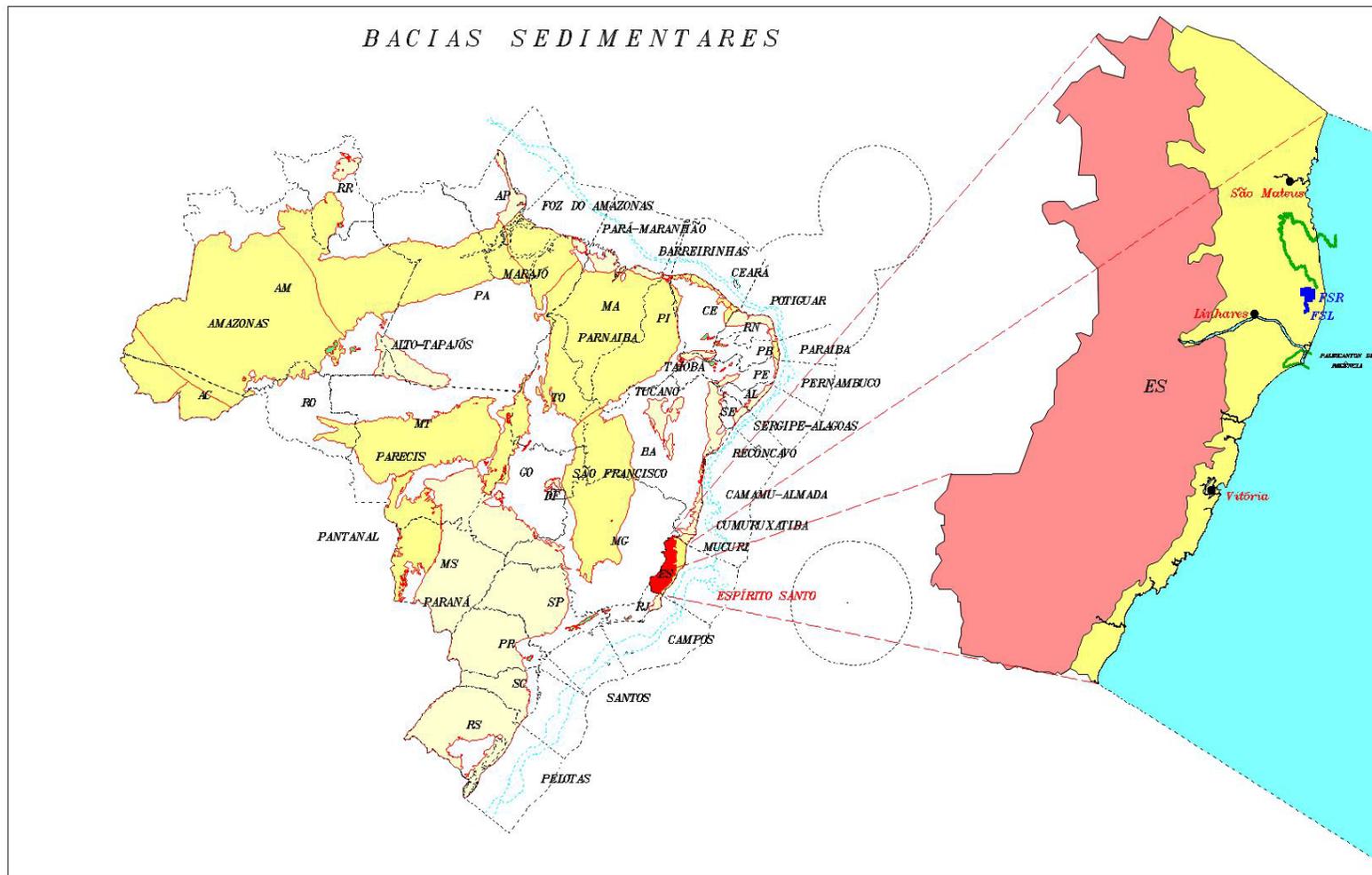


Figura 10 – Localização da Bacia do Espírito Santo, com destaque para a porção terrestre da bacia e a dos campos de Fazenda Santa Luzia (FSL) e Fazenda São Rafael (FSR) (Fonte: Petrobras).

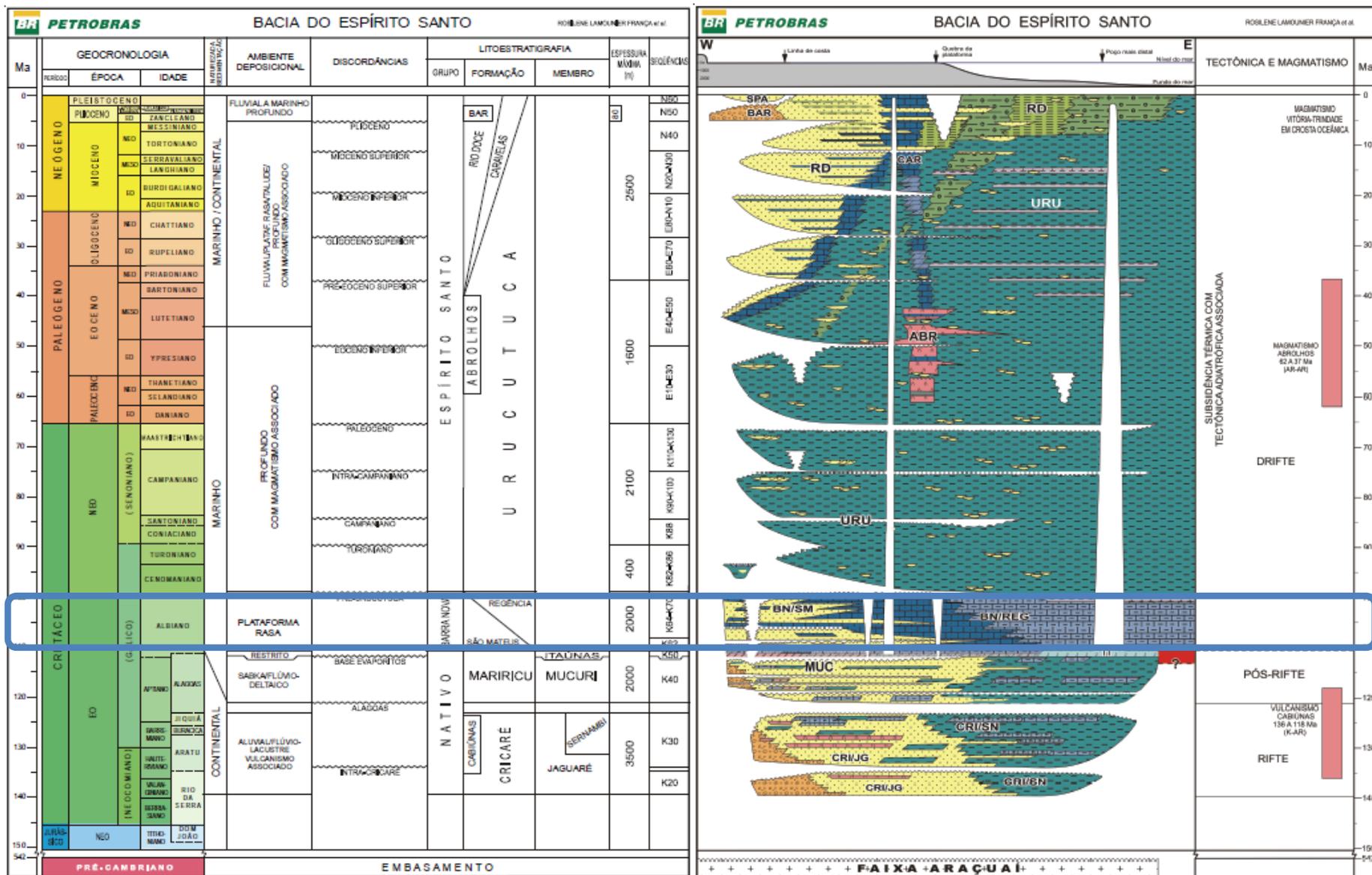


Figura 11 - carta estratigráfica da bacia do Espírito Santo, destacando o Grupo Barra Nova (França et al 2007)

A sequencia albiana, litoestratigraficamente, é denominada de Grupo Barra Nova, que é subdividido nas formações São Mateus e Regência, composta por uma sequencia carbonática-clástica que se estende por quase toda porção terrestre da Bacia do Espírito Santo, sendo erodida no Paleocânion de Regência e em boa parte do Paleocânion de Fazenda Cedro (figura 1.2).

A porção inferior do Grupo Barra Nova iniciou com uma sedimentação em ambiente com características de mar epicontinental. As litologias alternavam-se em depósitos de arenitos, siltitos, folhelhos, calcarenitos oolíticos e bioclásticos, calcilutitos e calcissiltitos com ostracodes, miliolídeos, pelecípodes e gastrópodes. Esta sucessão de fácies, que principia com folhelhos, siltitos e carbonatos variando para arenitos em direção a parte superior, é bem caracterizada na porção proximal da bacia (Tagliari, 1993; França et al 2007).

Após esta fase, a bacia grada paulatinamente para uma morfologia de rampa com gradiente suave, com a disputa entre siliciclásticos e carbonatos. Segundo Tagliari (1993, 1995) e França et al (2007) existe uma tendência à concentração de siliciclásticos nas porções mais proximais e carbonatos nas áreas distais. Esta fase culmina com uma discordância erosiva, que marca o fim da palinozona P280B, reconhecida tanto sismicamente quanto na análise de rocha e paleontologia na bacia terrestre e, provavelmente, na parte marinha rasa.

Tagliari (2013) denomina essa porção inferior como sequencia A. Ela é limitada na base pelo horizonte sísmico que corresponde ao nível da base dos evaporitos do Membro Itaúnas da Formação Mariricu. Na prática, corresponde a passagem do Grupo Barra Nova para a Formação Mariricu. O topo corresponde a um horizonte sísmico que marca um truncamento erosional. Na prática, na área estudada, equivale a passagem da Formação São Mateus para a Formação Regência (Figura 4).

Nota-se que na área estudada que essa é a porção mais afetada pela halocinese, estruturando toda sequencia do Eo-Albiano, sendo fundamental para a formação das trapas e formação dos campos de Fazenda Santa Luzia e

Fazenda São Rafael. As camadas mostram-se arqueadas, com espessamento das mais superiores na direção da falha lítrica (figura 5). Acima dessa sequência, as camadas aparecem sem espessamento, praticamente sem influência de movimentação do sal.

Como é nessa sequência que se encontram os reservatórios, é exatamente esse intervalo que será mais destacado no trabalho que se segue.

A parte superior do Grupo Barra Nova corresponde, na estratigrafia formal, a Formação Regência, e é composta predominantemente por carbonatos.

Tagliari (2013) define essa porção como sequência B. Ela é limitada na base pelo horizonte equivalente à discordância erosiva que marca o topo da “Sequência A” (topo Formação São Mateus). Seu topo é caracterizado por uma acentuada discordância causada por um evento que erodiu parte significativa da sequência e que é claramente visível na zona de charneira e no bloco baixo.

No interior da “Sequência B” ocorre um horizonte sísmico que caracteriza uma superfície de inundação máxima. Esse horizonte é marcado por acúmulo de glauconita, portanto, sendo chamado de “Marco Glauconita”. Assim, para esta Sequência pôde-se reconhecer dois intervalos estratigráficos: o Trato de Sistemas Transgressivo “B1”, retrogradante, mais antigo, e o “Trato de Sistemas de Nível Alto B2”, progradante, mais jovem. (Tagliari, 2013) (figura 4).

Apesar de dentro da mesma sequência descrita por Tagliari (sequência A), os reservatórios de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael possuem uma pequena diferença temporal de deposição. Enquanto os reservatórios de Fazenda São Rafael encontram-se em porção intermediária da sequência A, os reservatórios de Fazenda Santa Luzia encontram-se no topo desta sequência.

Como estamos em um sistema transgressivo, espera-se encontrar fácies um pouco mais proximais para os reservatórios de Fazenda São Rafael, com maior quantidade de depósitos siliciclásticos do que no campo vizinho de Fazenda Santa Luzia.

Em termos paleontológicos, Botelho Neto (1996) separou três palinozonas para o Grupo Barra Nova: B, C e D, da base para o topo. A palinozona B corresponde à formação São Mateus. A porção basal da sequência carbonática-clástica foi depositada em ambiente marinho raso de baixa salinidade (base da palinozona B), enquanto na porção superior (topo da Palinozona B, mais as palinozonas C e D) foi um ambiente marinho nerítico de raso a médio. As palinozonas B e C indicam águas quentes, hipersalinas e saturadas em carbonatos, já dentro da Formação Regência. O clima atuante era quente e árido. O tectonismo, associado à fuga do sal, afetou toda a sequência carbonática-clástica.

Além disso, Botelho Neto (1996) registrou dois grandes eventos erosivos ou de não deposição: entre o topo da palinozona B e a base da Palinozona C (topo da Formação São Mateus?) e acima da Palinozona D (topo da Formação Regência).

Os reservatórios do campo de Fazenda Santa Luzia estão na parte superior da Formação São Mateus, enquanto os reservatórios de Fazenda São Rafael encontram-se em porção intermediária. Esse fator é fundamental para características que irão ser discutidas nos testemunhos estudados.

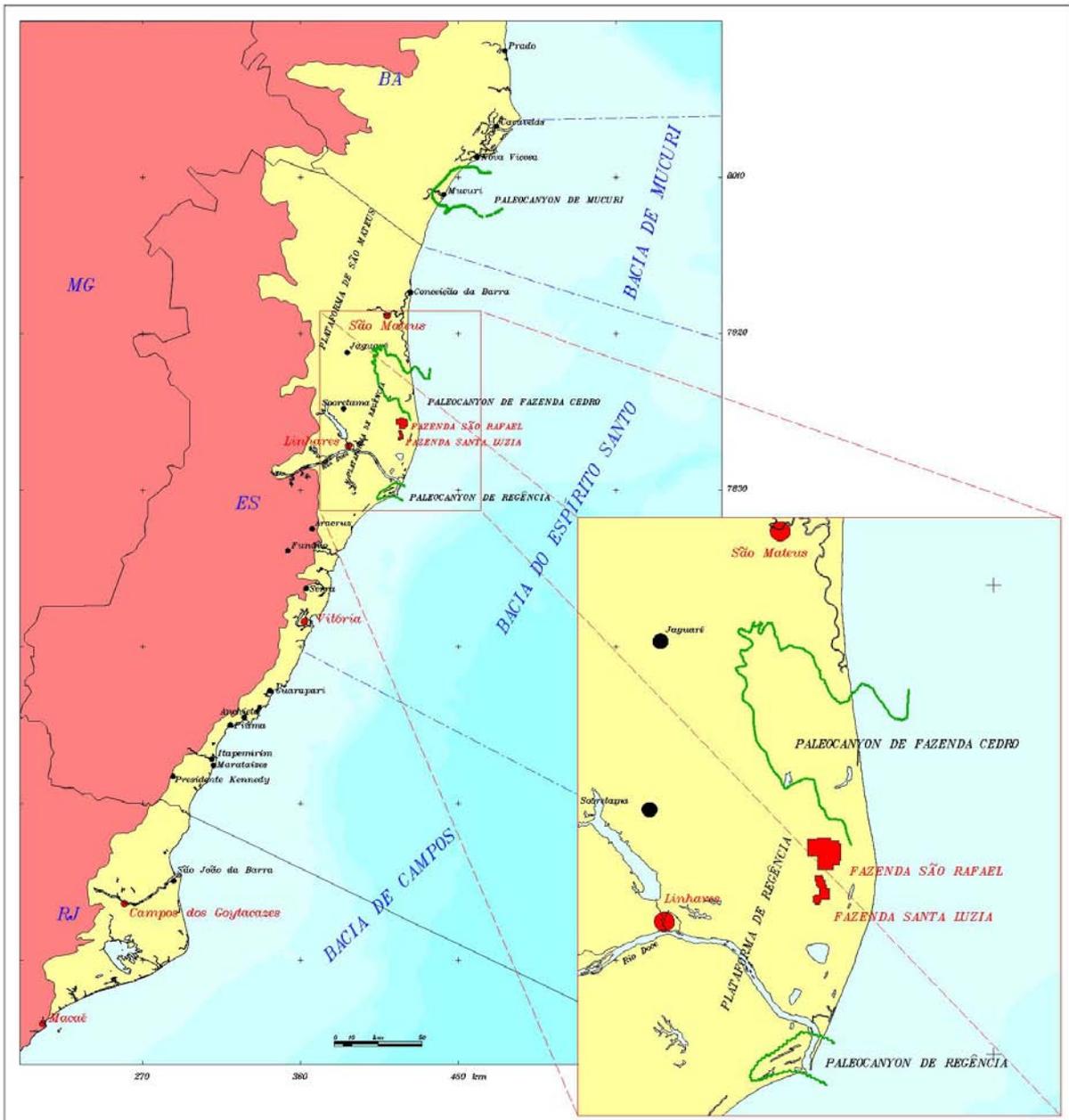


Figura 12– Províncias Geomorfológicas da Bacia do Espírito Santo, destacando a localização da área estudada na Plataforma de Regência (Fonte: Petrobrás).

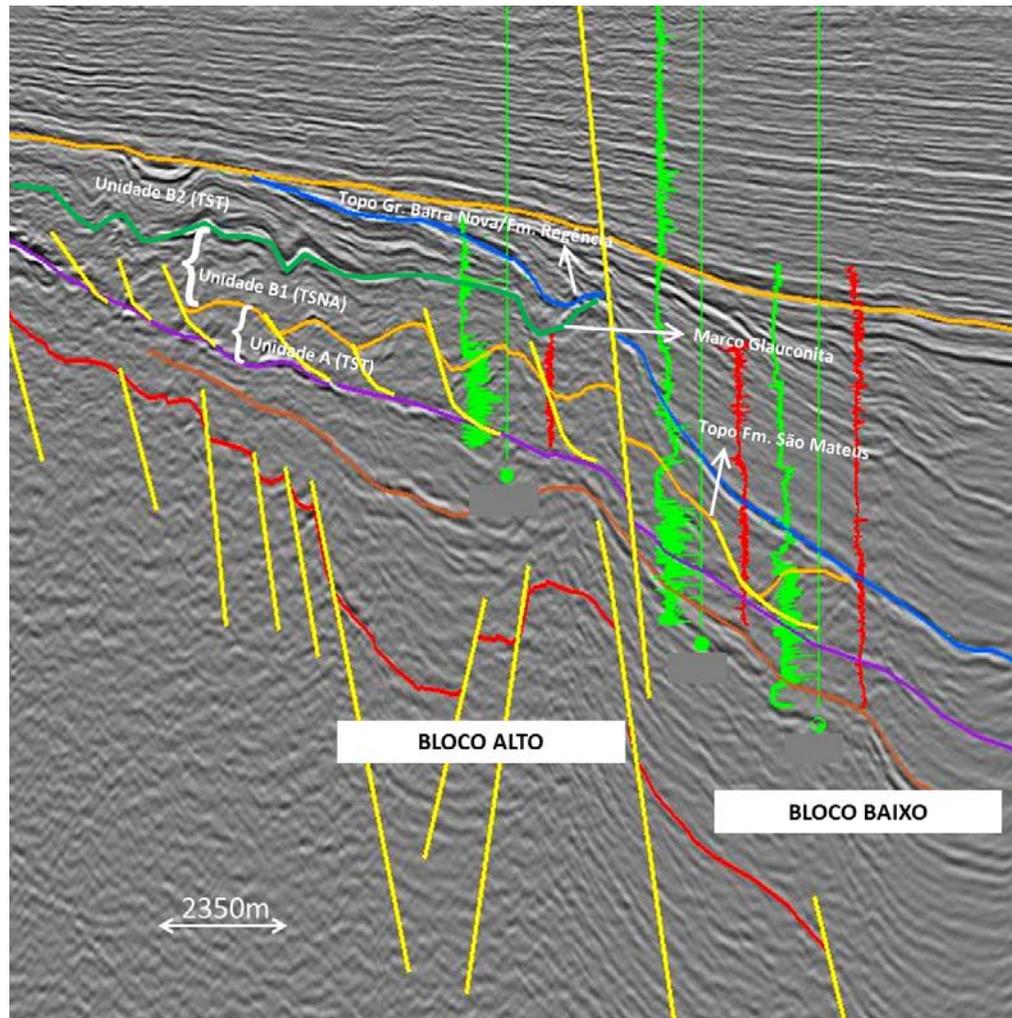


Figura 13—Seção sísmica transversal (profundidade) mostrando os marcos do albiانو. Refletor laranja corresponde a DPES, azul ao topo do Gr Barra Nova e Fm Regência (equivalente ao topo da unidade BII de Tagliari et al (2013)), verde ao marco glauconita (topo da unidade BI de Tagliari et al (2013)), preto ao topo da Fm São Mateus (topo da unidade A de Tagliari et al (2013)), marrom base da Formação Mariricu e vermelho topo do embasamento.

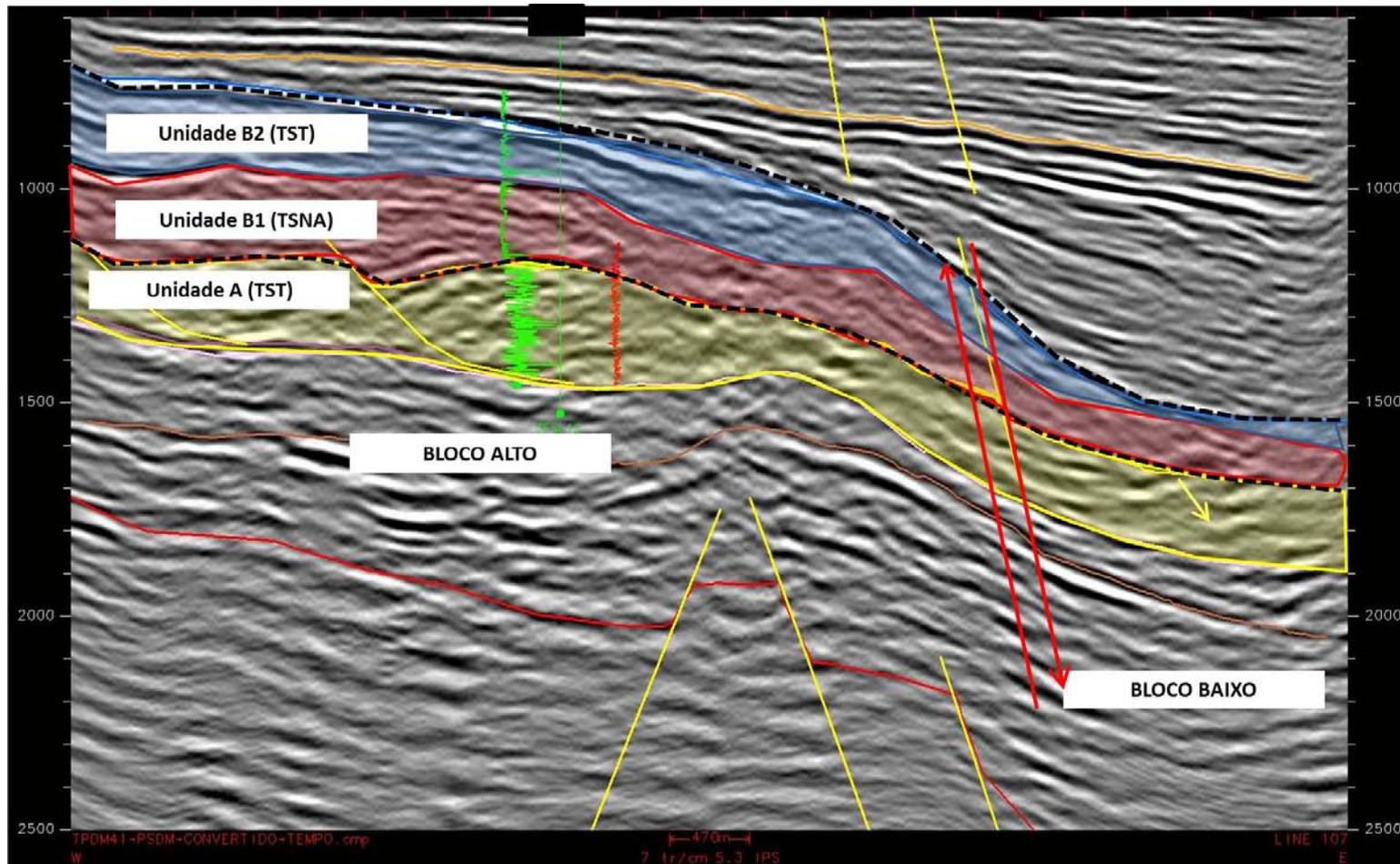


Figura 14–Seção sísmica DIP em profundidade mostrando falhamento lístrico arqueando camadas da Formação São Mateus. Sombreado azul corresponde ao topo do Grupo Barra Nova e Formação Regência, sombreado vermelho corresponde à base da Formação Regência e sombreado amarelo a Formação São Mateus. Refletor marrom base da Formação Mariricu e vermelho topo do embasamento.

5. Litologia

I. Rochas e Fácies

A. Introdução e Trabalhos Anteriores

Foram descritos 418,9 metros de testemunhos de poços da Formação São Mateus na Plataforma de Regência. A aquisição de laminas foi minuciosamente feita ao longo dos trechos testemunhados, incluindo todas as fácies analisadas. É importante ressaltar que, dos 418,90 metros de testemunhos descritos, apenas 81,5 m estão na porção médio inferior da Formação São Mateus (o equivalente a 19,45%). Assim, são salientadas algumas considerações ao longo dos capítulos seguintes que levam em conta esse fator.

Os primeiros trabalhos da Formação São Mateus na Bacia do Espírito Santo não retratam especificamente sobre os arenitos híbridos (*sensu* Zuffa, 1980;1985), apenas a grande intercalação de rochas siliciclásticas (principalmente arenitos médios a grosso, arenitos finos e siltitos) e carbonáticas (principalmente grainstones e rudstones oncolíticos).

Nos últimos anos, Martini (2010), De Ros et al(2012), UFRGS (2012) e Tagliari (2013, no prelo) enfatizam a presença de arenitos híbridos, destacando a mistura de grãos carbonáticos e siliciclásticos da área. Destacam o retrabalhamento recorrente nos grãos carbonáticos (alodápicos).

O presente trabalho utiliza a classificação de Zuffa (1980, 1985) para separar arenitos siliciclásticos, carbonatos e arenitos híbridos. Rochas com mais de 2/3 de componentes de grãos siliciclásticos são classificadas como arenitos, rochas com mais de 2/3 de componentes de grãos carbonáticos intrabaciais são classificadas como carbonatos e rochas com composição menores de 2/3 de cada componente são classificadas como arenitos híbridos (ver Figura 2).

Os grãos que compõe as rochas estão muitas vezes intensamente fraturados. É possível identificar que esse fraturamento afeta apenas os grãos (individualmente), sem que essas fraturas se estendam pela rocha. UFRGS (2012) cita que a natureza desses fraturamentos heterogêneos e descontínuos é resultado de atividade tectônica durante a deposição dos sedimentos da área. Esse comportamento pode ser observado tanto em rochas siliciclásticas, como híbridas e carbonáticas. Em alguns arenitos é possível identificar “matriz cataclástica” devido ao intenso fraturamento dos grãos (figura xxx, UFRGS (2012)).

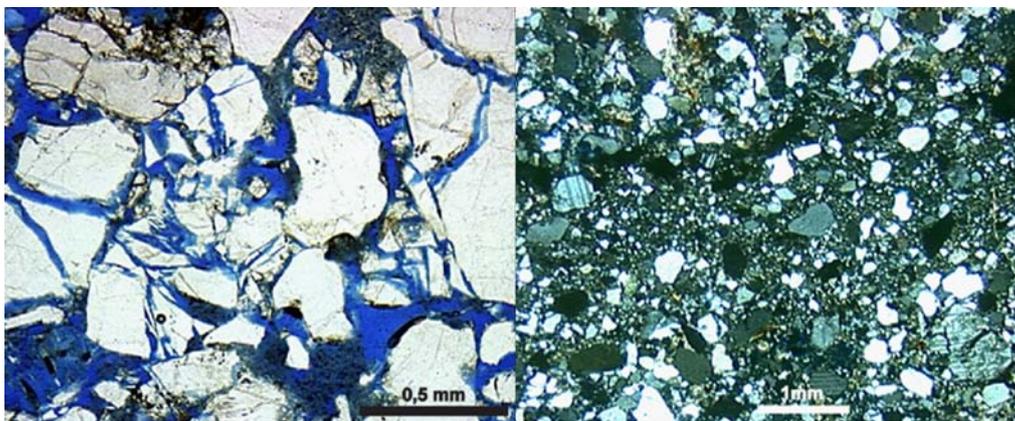


Figura 15. A esquerda grãos intensamente fraturados e a direita arenito com “matriz cataclástica” gerada pelo intenso fraturamento dos grãos (UFRGS, 2012).

B. Rochas da Área de Estudo

O intervalo estudado do Grupo Barra Nova é basicamente composto por rochas siliciclásticas (principalmente arenitos muito fino a fino, siltitos, arenitos médios a grossos e arenitos grossos conglomeráticos), arenitos híbridos (arenitos quartzo feldspáticos oncolíticos, com tamanhos de grão bimodal) e rochas carbonáticas (grainstones oncolíticos, secundariamente oolíticos e peloidais).

a. Rochas Siliciclásticas

As rochas siliciclásticas são compostas principalmente por quartzo, feldspatos, mica e minerais pesados. Também aparecem grãos carbonáticos em meio aos arenitos. A estrutura mais comum é a maciça, podendo aparecer laminações plano-paralelas e, mais raramente, cruzadas onduladas (figura 16).

Os grãos variam de tamanho silte até grânulos. Nota-se intensa bioturbação por toda sucessão siliciclástica, muitas vezes prejudicando a identificação de estruturas nas rochas.

Os grãos são sempre angulosos e mal selecionados. Esses fatores aliados à presença de grande quantidade de feldspatos, granadas e minerais pesados sugere que a área fonte estava próxima da área estudada. Os grãos também não sofreram muito retrabalhamento sendo depositados rapidamente na bacia. Nota-se a presença de alguns grãos de rochas plutônicas, em especial granitos e gnaisses.

Dentre os grãos intrabaciais, como já citado anteriormente, é comum a ocorrência de grãos carbonáticos. Fragmentos carbonosos, intraclastos lamosos (Figura 17) e intraclastos de solo argiloso também são regularmente notados.

Dois conjuntos principais podem ser destacados:

Arenitos Muito Finos a Finos: composto por arenitos muito fino a fino, com alguns grãos médios. Frequentemente apresentam laminações plano-paralelas, e secundariamente cruzada ondulada ou *climbing ripples*. Aparecem inúmeros siltitos e arenitos muito ricos em biotita. A laminação ocorre muitas vezes pela variação mineralógica, alternando entre pequenas camadas quartzo/feldspáticas e camadas micáceas (principalmente biotita) com alguns minerais pesados. É comum a presença de dobras convolutas em diversas porções, principalmente em siltitos. Possuem seleção moderada a boa. São fácies siliciclásticas não reservatórios ().

Arenitos Grossos a Médios, por vezes Conglomeráticos: composto por arenitos quartzo feldspáticos médios a grossos comumente maciços. Ocasionalmente podem aparecer laminações plano-paralelas, de baixo ângulo ou tangencial na base. A presença de bioturbação intensa prejudica o reconhecimento de mais estruturas nessas fácies. A seleção é geralmente pobre, podendo chegar a regular. São os principais reservatórios da área estudada ().

UFRGS (2012) mostra que a composição primária essencial de todos os arenitos siliciclásticos é fortemente feldspática, sendo todos classificados como arcóseos sensu Folk (1968), com composição média $Q_{40}F_{60}L_0$ (Figura 16).

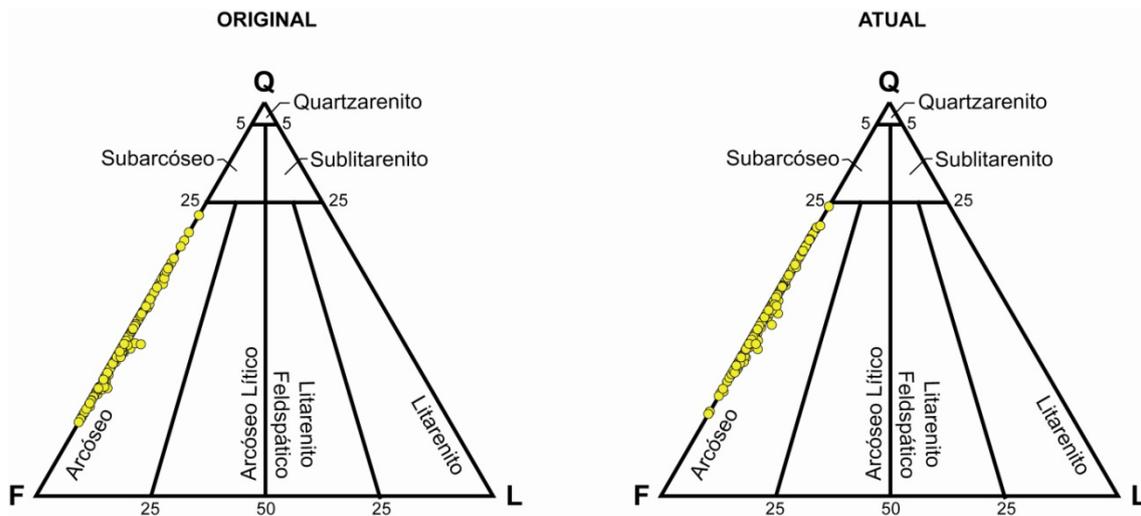


Figura 16. Diagramas composicionais de Folk da composição essencial original (à esquerda) e atual (à direita) para os 207 arenitos siliciclásticos quantificados (UFRGS, 2012).

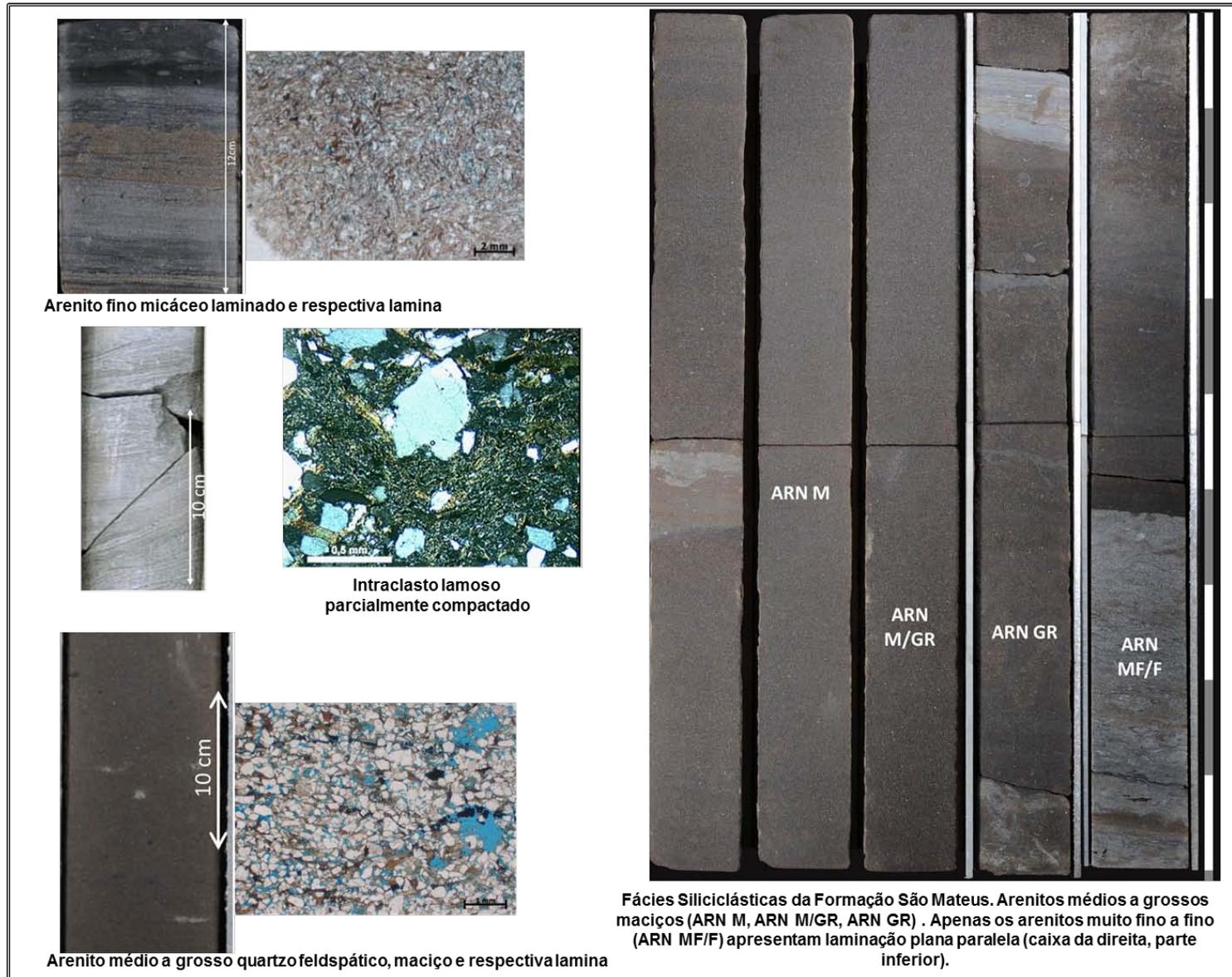


Figura 17 – Fotos de rochas siliciclásticas da área estudada e respectivas lamina

b. Rochas Carbonáticas

Dentre as rochas carbonáticas, o grande predomínio é de grainstones e rudstones oncolíticos. O tamanho dos grãos varia de muito fino a muito grosso, com clara predominância de grãos grossos. Os núcleos dos oncolitos, em sua maior parte, são constituídos de grãos de siliciclásticos (quartzo, feldspato, micas ou minerais pesados). Também é comum a presença de núcleos constituídos por bioclastos. A seleção da rocha usualmente é pobre, com exceção para os grainstones peloidais, que é boa.

Apesar de ocorrência comum de grãos oolíticos e peloidais como componentes dos grainstones, é secundária a ocorrência de grainstones peloidais e oolíticos nas sequencias carbonáticas. Os grainstones peloidais são as fácies com menor tamanho de grão (fino a muito fino) dentro das rochas carbonáticas.

Apesar da maior parte dos grãos de oncolitos terem núcleos de quartzo ou feldspato, corriqueiramente encontramos oncolitos que serviram de núcleos para novos oncolitos.

Os grainstones e rudstones são maciços, cimentados, possuindo, localmente, alguma porosidade por dissolução. Também é comum aparecerem estilólitos. Esses geralmente estão preenchidos com arenitos híbridos finos, composto por mica (biotita), silte, areia muito fina e oncolitos.

A compactação física e química são fortemente atuantes, já que diversos grãos carbonáticos encontram-se suturados, e outra boa parte com suas bordas dissolvidas.

Os grãos oncolíticos e oolíticos possuem em boa parte granulometria areia grossa, podendo chegar até em tamanhos maiores (rodolitos?). Os peloides são os menores grãos carbonáticos que aparecem.

Parte substancial dos oncolitos mostra indícios de retrabalhamento, representados pela abrasão dos envelopes microbiais das partes mais salientes e sua preservação nas porções reentrantes da superfície dos núcleos (UFRGS, 2012).

c. Rochas Híbridas

Possuem composição intermediária entre grãos siliciclásticos e carbonáticos, composto por pelo menos 1/3 de grãos siliciclásticos ou carbonáticos, com o complemento da rocha pelo outro tipo de grão. Quase sempre são maciços, podendo apresentar laminação plano-paralela por alternância composicional, nos arenitos híbridos micáceo.

Normalmente as diversas rochas híbridas apresentam uma distribuição modal para os grãos siliciclásticos e outra distribuição modal para os grãos carbonáticos. Dentro dessa situação os grãos extrabaciais (siliciclásticos) possuem uma granulometria mais fina do que das partículas carbonáticas intrabaciais. Isso mostra que a fábrica carbonática estava mais próxima dos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael do que a fonte siliciclástica

Podemos separar em dois conjuntos de ocorrência os principais tipos de arenitos híbridos que ocorrem na área estudada:

- Arenitos híbridos médio a grosso oncolíticos quartzo feldspáticos compostos principalmente por oncolitos, quartzo e feldspato com seleção pobre. Em sua maioria são maciços, podendo apresentar laminação incipiente, destruídas por bioturbação e/ou fluidização. De acordo com o predomínio de grãos carbonáticos ou siliciclásticos, temos uma maior cimentação ou porosidade primária preservada. Trabalho de Bjørkum & Walderhaug (1990) mostram exatamente que a cimentação está associada a três fatores principais: quantidade de grãos carbonáticos, a taxa de empacotamento e a consequente compactação química que ocorre em meio as rochas híbridas e carbonáticas.

O grau de empacotamento nos arenitos híbridos aumenta proporcionalmente com o teor de grãos carbonáticos, sendo apertado nos arenitos com maior abundância de aloquímicos, e normal, onde estes aparecem em quantidades menores (UFRGS, 2012). Os arenitos híbridos com porosidade primária preservada, associada a uma dissolução parcial da calcita, ocasionam a existência de reservatórios nessa fácies (Figura 20).

- Arenitos híbridos oncolíticos micáceos siltosos, composto por oncolitos, biotita e/ou silte. Nessa fácies a porção siliciclástica é representada por grãos muito finos a finos e a porção carbonática por grãos médios a grossos. Apresentam laminação plano-paralela, marcada pela diferença composicional. É o principal constituinte dos estilolitos em meio a seção carbonática. Possuem seleção pobre.

UFRGS (2012) mostra que a composição original feldspática da fração extrabacial das rochas híbridas (arcóseos sensu Folk, 1968; $Q_{45}F_{55}L_0$; Figura 19) é equivalente à dos arenitos siliciclásticos. Tal composição, junto ao baixo arredondamento dos grãos siliciclásticos, indica rápida erosão e transporte de sedimentos de primeiro ciclo, provavelmente sob condições climáticas predominantemente secas.

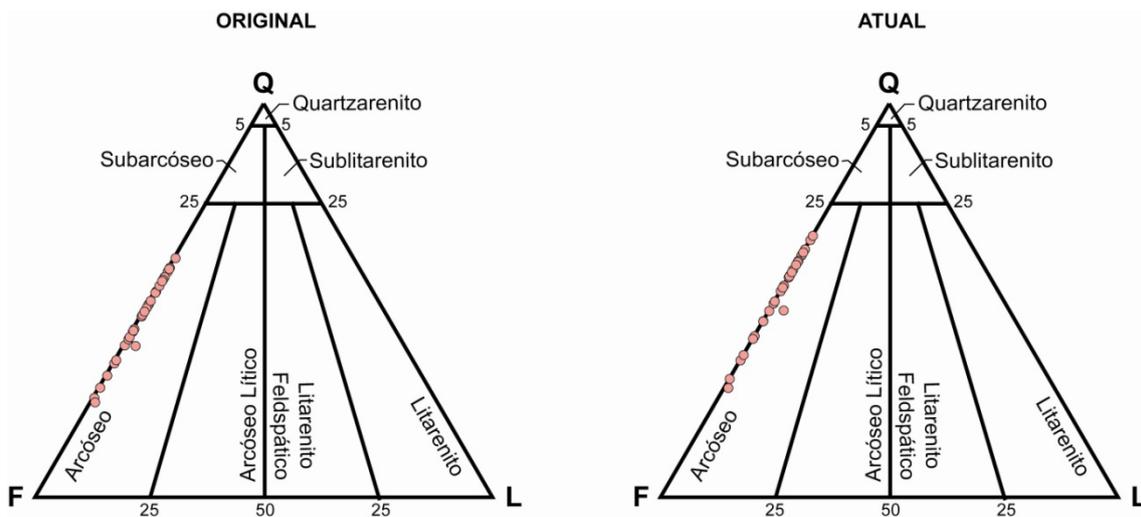
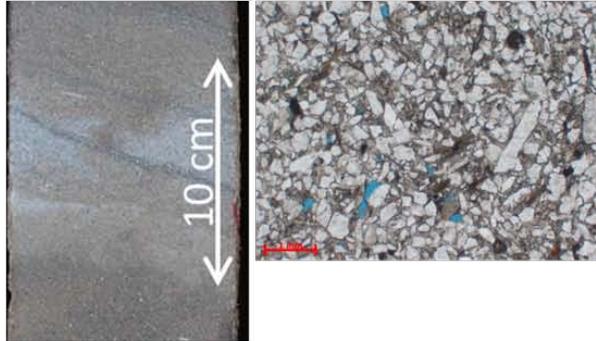
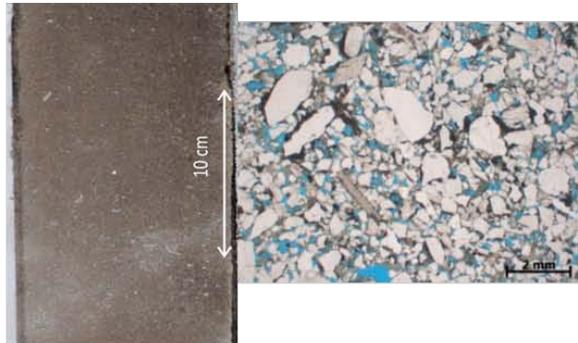


Figura 19. Diagramas de Folk (1968) para a composição essencial original (à esquerda) e atual (à direita) dos arenitos híbridos (UFRGS, 2012).



Arenito híbrido quartzo feldspático oncolítico cimentado e respectiva lamina.



Arenito híbrido quartzo feldspático oncolítico poroso.



Fácies de Arenitos Híbridos da Formação São Mateus. Caixas da esquerda mostram arenitos híbrido grossos (ARN HIB GR) com porosidade. Nota-se cimentação ao longo de toda seção híbrida.

Figura 20 – Fotos de arenitos híbridos da área estudada e respectivas laminas.

C. Fácies

Dentro das rochas descritas, foram discriminadas 15 fácies, sendo 10 fácies de rochas siliciclásticas, 3 de rochas carbonáticas e 2 de arenitos híbridos. Tanto os aspectos mesoscópicos (textura e estrutura) como microscópicas (constituintes) foram responsáveis para a distinção das fácies.

1. Pelito Carbonoso com Laminação Plano-Paralela

Pelito Carbonoso rico em matéria orgânica e mica (biotita), bem selecionado, com estratificação plano paralela a incipiente.

A deposição se deu por gravidade, com conseqüente decantação de partículas.



Figura 21 – Pelito carbonoso com laminação plano-paralela (destacada em vermelho).

2. Siltito Micáceo com Laminação Plano-Paralela

Siltito rico em biotita, seleção boa a moderada, com estratificação plano-paralela onde a mesma ainda encontra-se preservada, já que a bioturbação é intensa. A deposição se deu por gravidade, com conseqüente decantação de partículas.

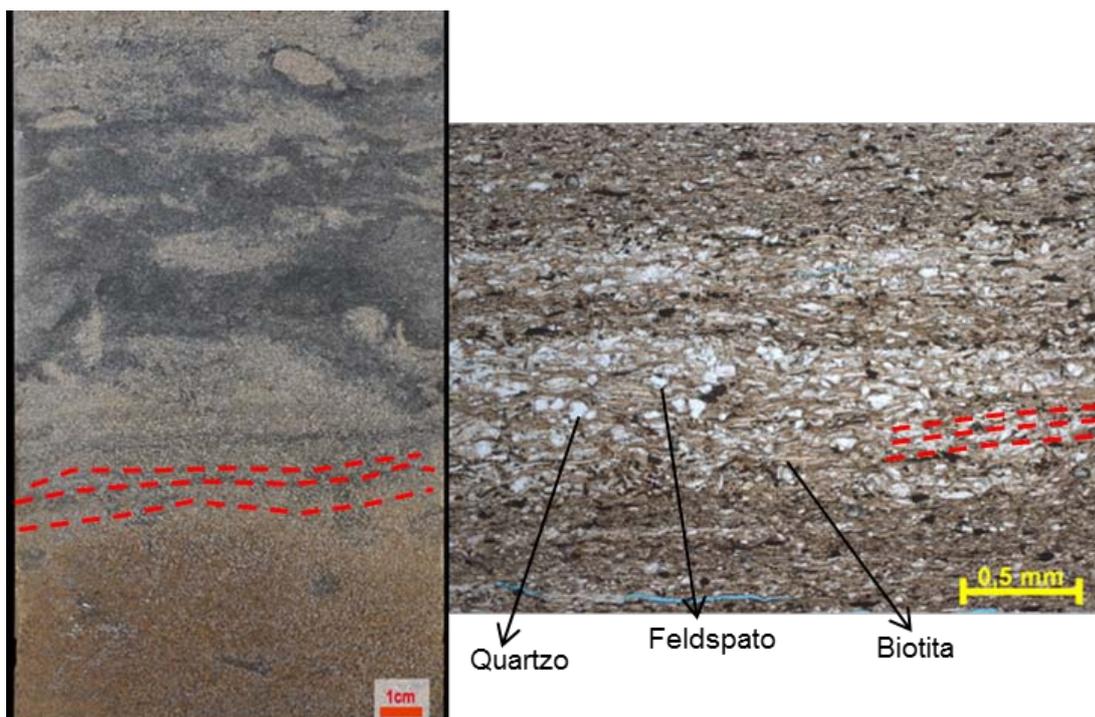


Figura 22 – Siltito rico em biotita com laminação plano-paralela e respectiva lamina. Destaque em vermelho para a laminação. Notem que a intensa bioturbação destrói boa parte da estrutura.

3. Heterolito Arenito Fino-Siltito com Laminação Plano-Paralela

Intercalações entre arenitos muito fino a fino bem selecionados com siltitos, seleção boa a moderada, micáceo com estratificação plano-paralela, podendo chegar a *ripples*. Comumente bioturbado. A deposição se deu pela alternância de processos, hora por gravidade, com conseqüente assentamento de partículas, hora por correntes trativas unidirecionais.

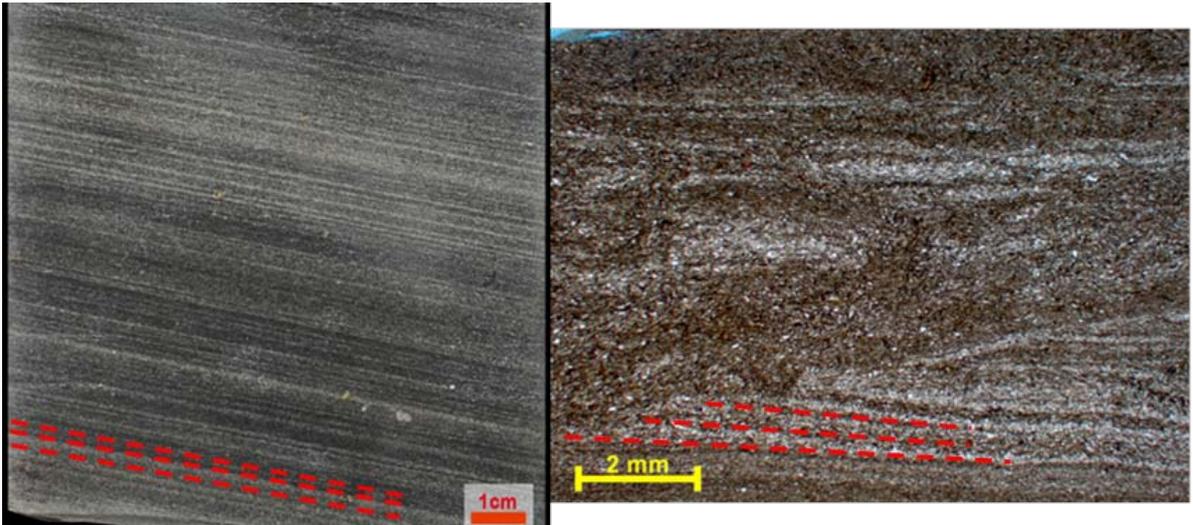


Figura 23 – Arenito muito fino a fino, heterolítico com laminação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina. Note que bioturbação interrompe laminação em boa parte da lamina.

4. Arenito Muito Fino a Fino com Climbing Ripples

Arenito muito fino a fino, seleção boa a moderada, micáceo, com fragmentos carbonosos, aparecendo *climbing ripples* crítica a supercrítica, comumente bioturbado. Podem aparecer fluidizações.

Depositado em regime de fluxo inferior, com migração e cavalgamento das marcas onduladas.

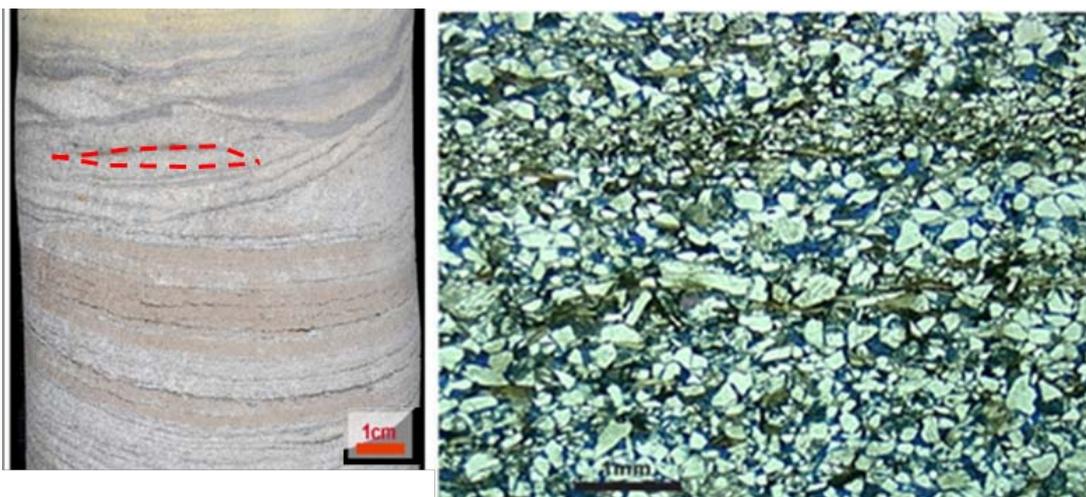


Figura 24 – Arenito muito fino a fino com climbing ripples e respectiva lamina. Note que a base apresenta laminação plano-paralela até chegar as climbing ripples (destaque em vermelho)

5. Arenito Fino a Médio com Laminação Ondulada Truncante

Arenito fino a médio, seleção moderada a boa, micáceo, com laminação ondulada truncada. Comumente com intensa bioturbação, podem aparecer dobras convolutas.

Depositado por fluxos oscilatórios formando *wavy ripples*.

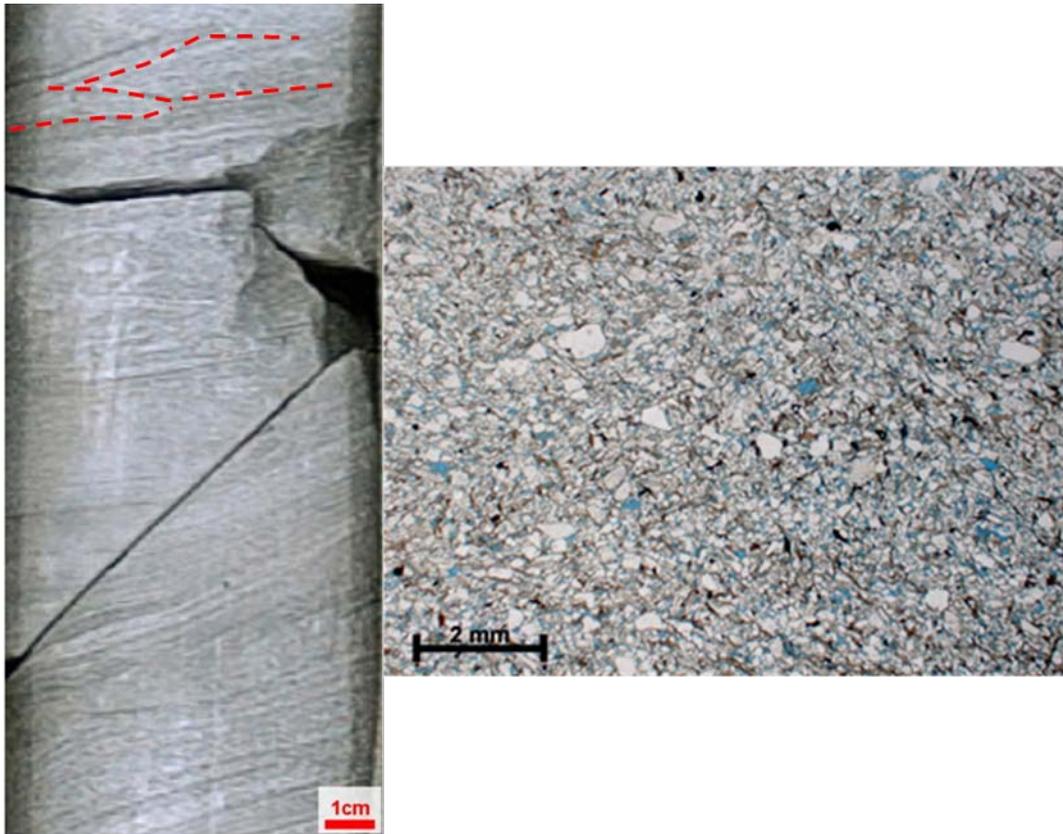


Figura 25 - Arenito fino a médio com laminações onduladas truncante (destaque em vermelho) e respectiva lamina.

6. Arenito Médio a Conglomerático com Estratificação Cruzada de Baixo Ângulo

Arenito médio a conglomerático, mal selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo. Moderadamente bioturbado, o que pode ocasionar a destruição das estruturas. O contato basal é abrupto, por vezes erosivo.

Depositado entre regime de fluxo inferior e superior, formado por migração de formas de leito ou preenchimento de pequenas depressões.

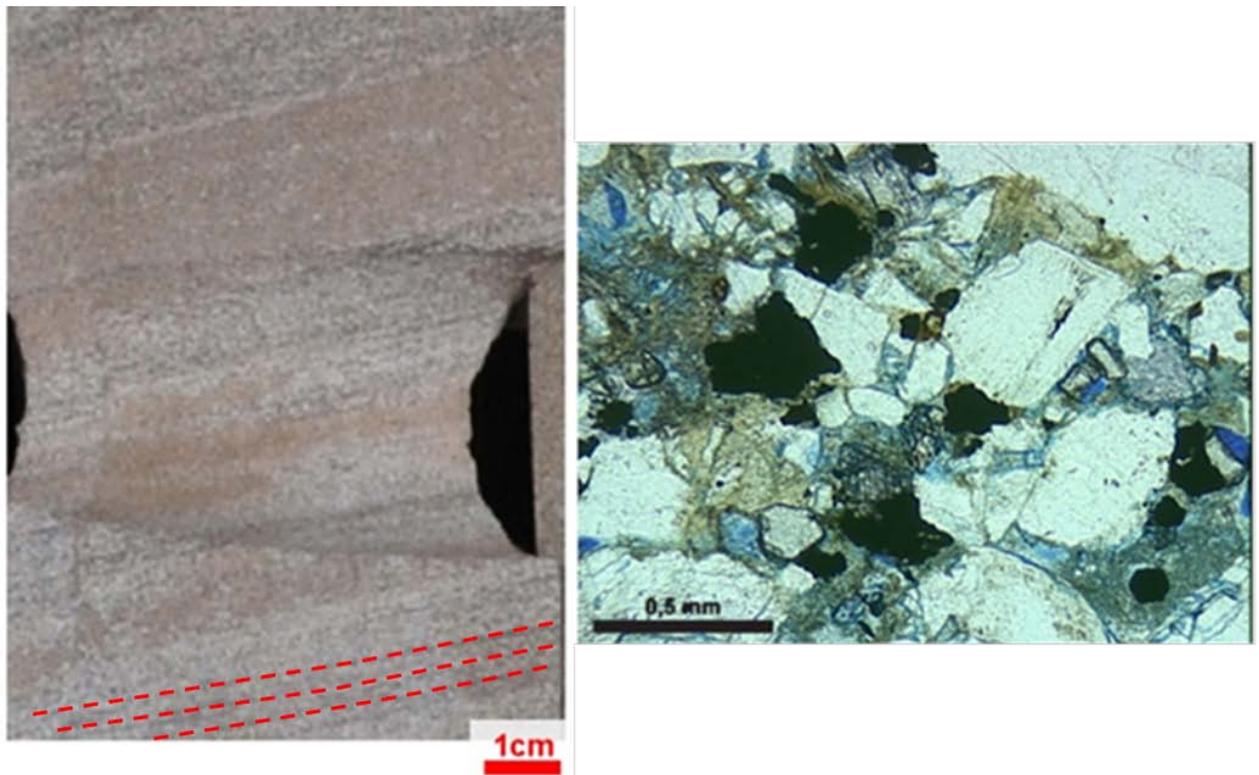


Figura 26 –Arenito médio a conglomerático com estratificação cruzada de baixo ângulo (destaque em vermelho) e respectiva lamina.

7. Arenito Fino a Conglomerático com Estratificação Plano Paralela

Arenito fino a conglomerático, mal a moderadamente selecionado, com estratificação plano-paralela.

Depositado em regime de fluxo superior, formado por migração de leitos planos.

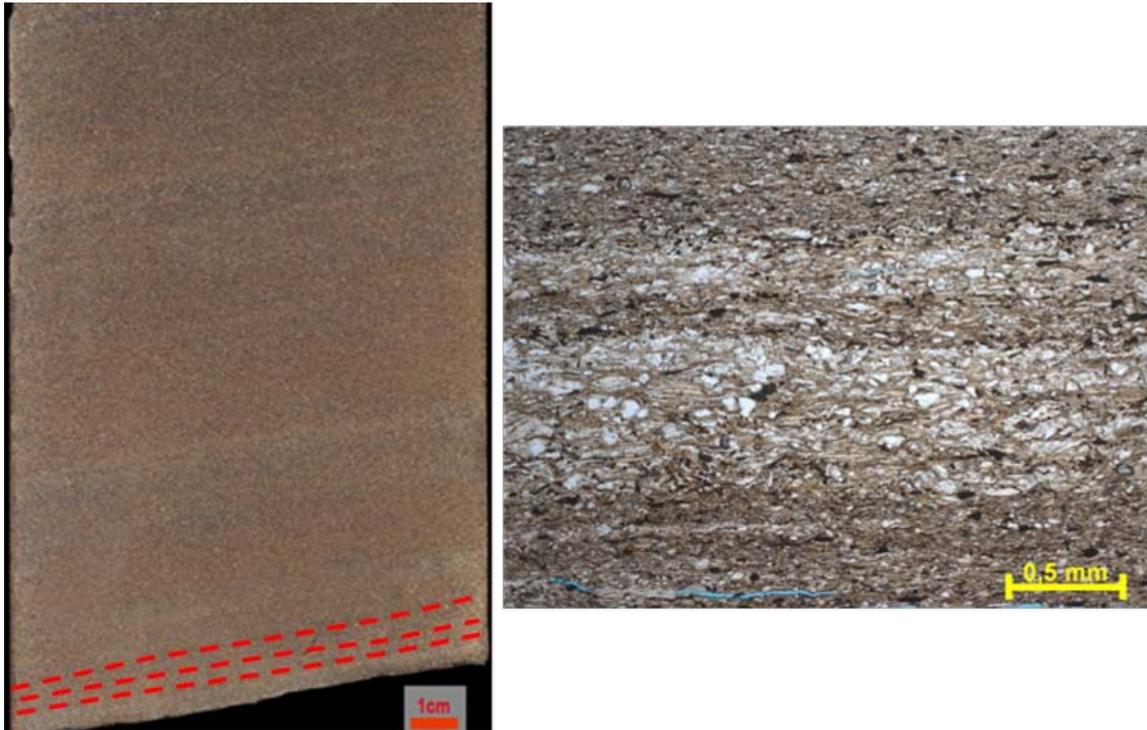


Figura 27 – Arenito fino a conglomerático com estratificação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina.

8. Arenito Médio a Conglomerático com Estratificação Cruzada Tangencial

Arenito médio a conglomerático, mal a moderadamente selecionado, com estratificação cruzada tangencial na base. O contato basal é abrupto, por vezes erosivo.

Depositado em regime de fluxo inferior, formado pela migração de dunas 3D.

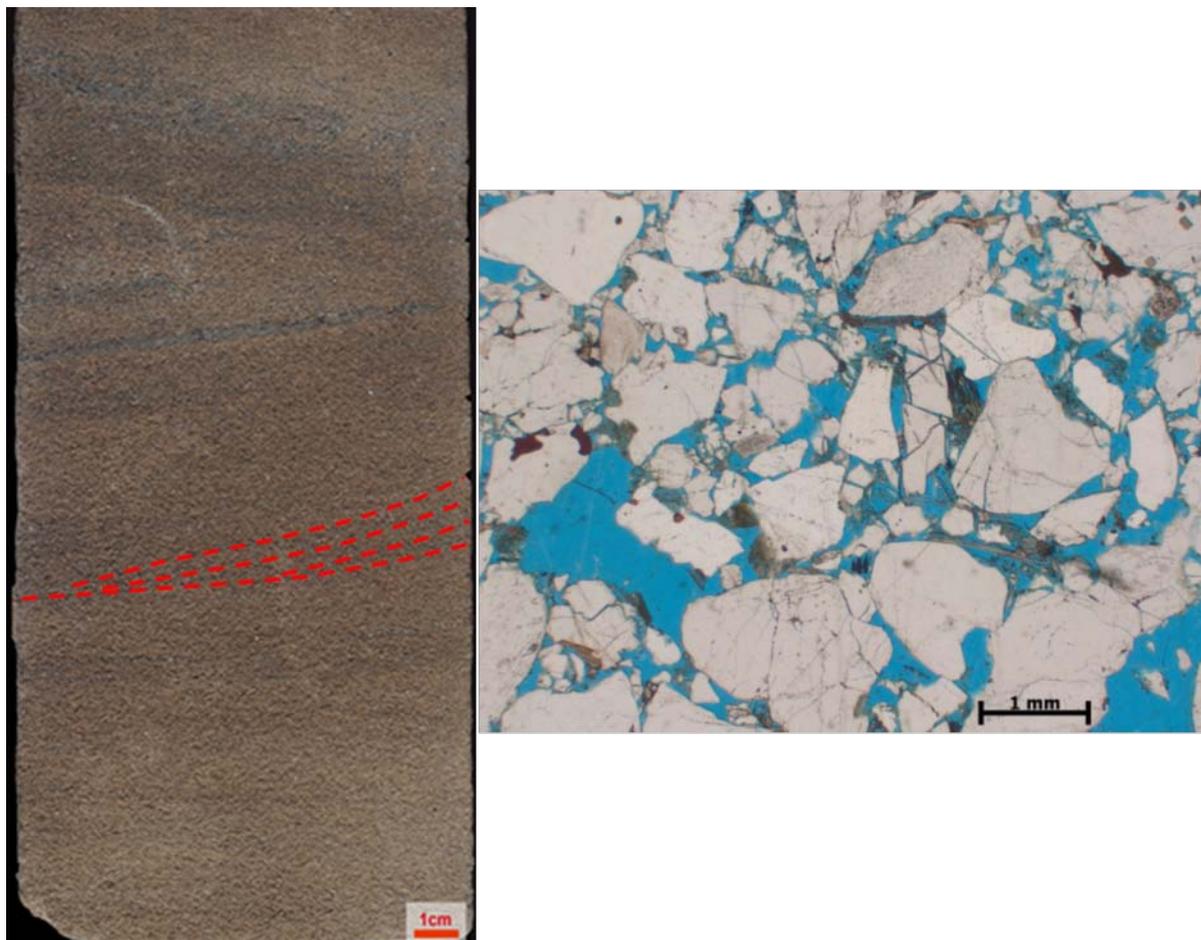


Figura 28 - Arenito médio a conglomerático com estratificação cruzada tangencial na base (destacado em vermelho) e respectiva lamina.

9. Arenito Muito Fino a Conglomerático Maciço

Arenito muito fino a conglomerático, mal a moderadamente selecionado, maciço por vezes com estratificação incipiente. Moderadamente bioturbado, pode dificultar a identificação de estruturas.

Depositado por fluxos hiperconcentrados. Fluidização e intensa bioturbação também podem ocasionar a formação dessa fácies.



Figura 29 - Arenito muito fino a conglomerático maciço e respectiva lamina.

10. Conglomerado Maciço

Conglomerado quartzo-feldspático, mal selecionado, maciço, com domínio de grãos angulosos.

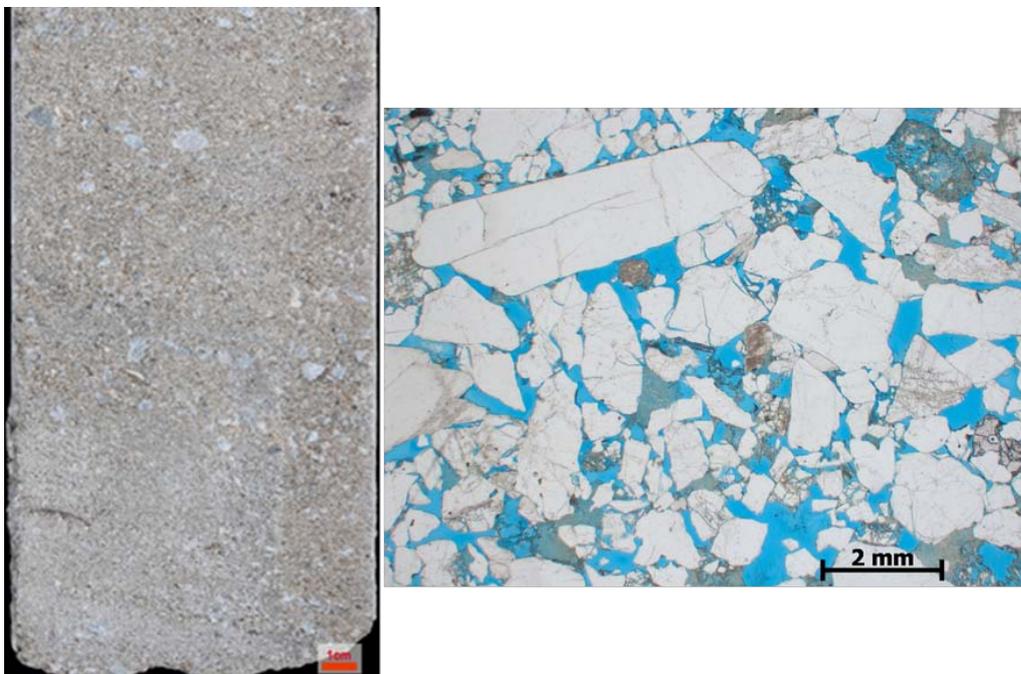


Figura 30 - Conglomerado maciço da área estudada e respectiva lamina.

11. Arenito Híbrido Muito Fino a Grosso com Estratificação Plano-Paralela

Arenito híbrido muito fino a grosso oncolítico quartzofeldspático biotítico com estratificação plano-paralela. Comumente bioturbado, pode ocasionar a destruição da estratificação. Em sua maior parte apresenta-se bimodal, com grãos carbonáticos mais grossos que os siliciclásticos. Localmente podem aparecer heterólitos, alternando arenitos híbridos finos com siltitos ricos em biotita.

Depositado em regime de fluxo superior, em formas de leito plano desenvolvidas.

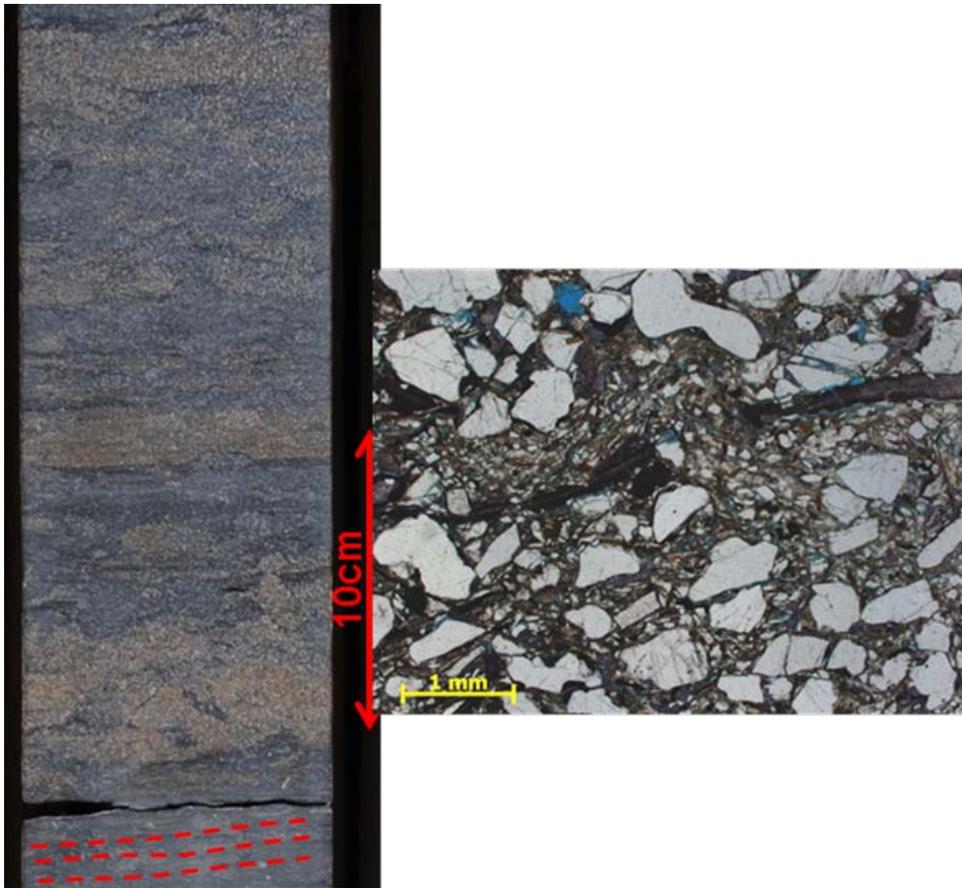


Figura 31 – Arenito híbrido muito fino a grosso com estratificação plano-paralela (destacada em vermelho) e respectiva lamina. Note que a intensa bioturbação destrói boa parte da estratificação no testemunho e afeta a orientação na lamina.

12. Arenito Híbrido Muito Fino a Conglomerático Maciço

Arenito híbrido oncolítico quartzo feldspático maciço, comumente bioturbado. Oólitos, bioclastos e peloides são grãos carbonáticos comuns de se encontrar.

Depositado pela desaceleração de fluxos hiperconcentrados. Fluidização ou intensa bioturbação também podem ocasionar a formação da fácies.

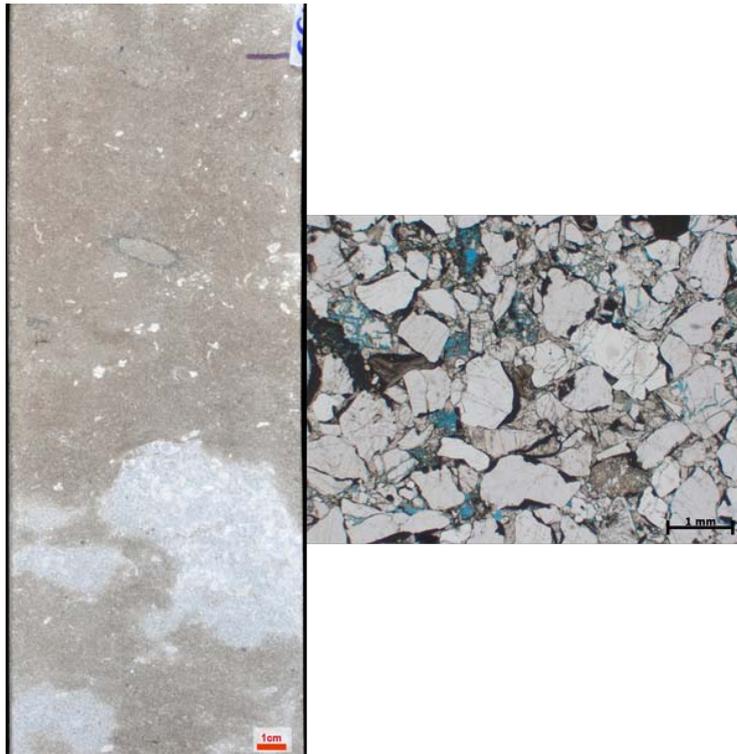


Figura 32 – Arenito híbrido médio a grosso (no caso da foto) e respectiva lamina. Grãos carbonáticos encontram-se com os envelopes desgastados.

13. Grainstone Maciço

Grainstone maciço, em sua maior parte oncolítico, mas secundariamente aparecem oolíticos e peloidais. Grãos variam de muito fino a grosso, sempre aparentando retrabalhamento. Estilolitos são comuns.

Depositado pela desaceleração de fluxos hiperconcentrados. Fluidização ou intensa bioturbação também podem ocasionar a formação da fácies.

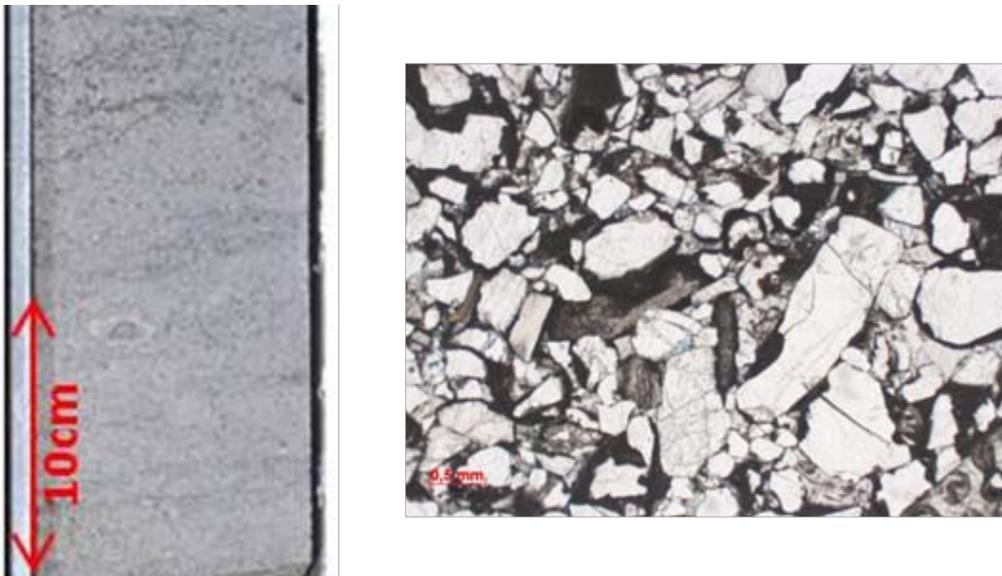


Figura 33 – Grainstone maciço e respectiva lamina. Note que os envelopes carbonáticos encontram-se desgastados.

14. Grainstone com Estratificação Plano-Paralela

Grainstone com estratificação plano-paralela, oncolítico com bioclastos subordinados. Grãos de tamanho médio, aparentando retrabalhamento. Estratificação plano-paralela grada para ripples em direção ao topo. Comumente bioturbado. Facies pouco comum nos testemunhos.

Depositado em regime de fluxo inferior a superior, por correntes de baixa densidade. Enquanto a estratificação plano-paralela reflete regime de fluxo superior, as ripples marcam regime de fluxo inferior com cavalgamento de marcas onduladas.

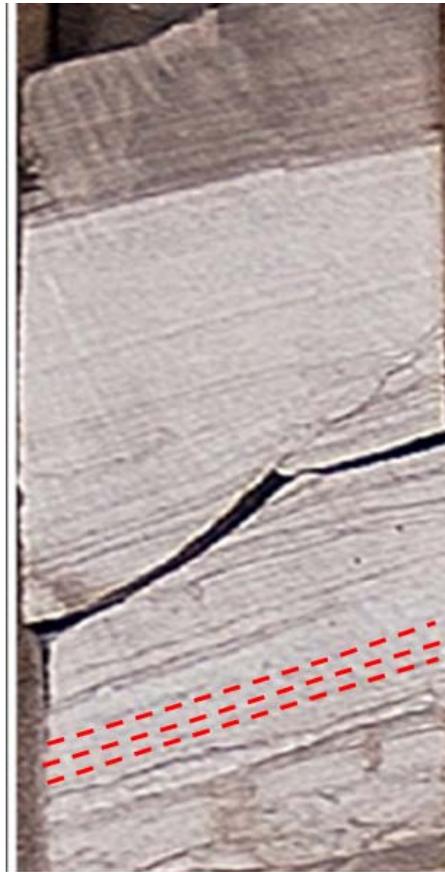


Figura 34 – Grainstone Oncolítico com estratificação plano-paralela.

15. Rudstone Maciço

Rudstone maciço, oncolítico, com grãos de peloides e bioclastos subordinados. Oncolitos tamanho seixo. É comum a ocorrência de estilólitos. Podem ser depositados por correntes de turbidez de alta densidade e/ou fluxos de detritos.

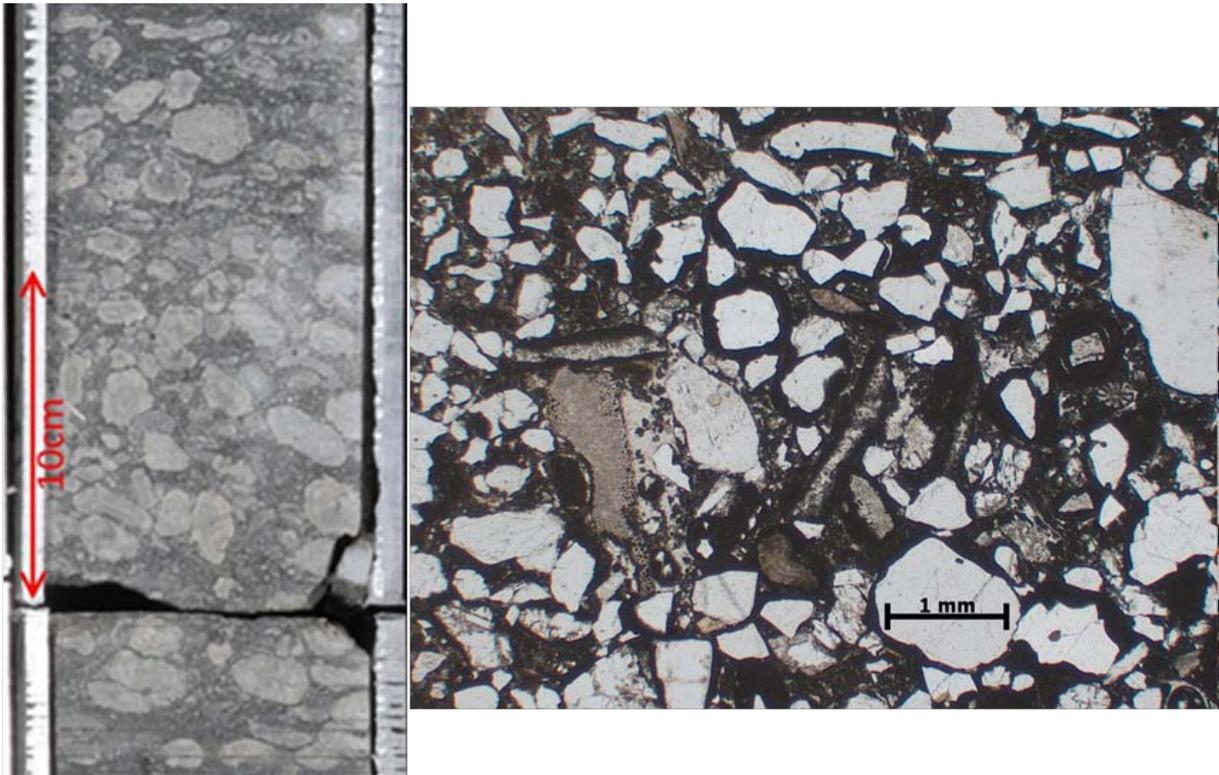


Figura 35 – Rudstone Oncolítico da área estudada e respectiva lamina. Note que os envelopes carbonáticos encontram-se desgastados.

Tabela 1 – Rocha descrita e estruturas.

Litofácies	Estrutura
Arenito muito fino a fino siltoso micáceo	Plano-Paralela
	Climbing-Ripples
	Ondulada-Truncada
Pelito Carbonoso rico em Biotita	Plano-Paralela
Siltito rico em biotita	Plano-Paralela
Arenito Fino a Médio quartzo feldspático	Maciça
	Cruzada Ondulada
Arenito Médio a Grosso Quartzo Feldspático	Maciça
	Cruzada Tangencial
	Cruzada de Baixo Angulo
Arenito Grosso a Conglomerático Quartzo Feldspático	Maciça
Arenito Híbrido Médio a Grosso Quartzo Feldspático Oncolítico	Maciça
Arenito Híbrido muito fino a médio micáceo oncolítico	Plano-Paralela
Grainstone Oncolítico com Oólitos e Bioclastos	Maciça
Grainstone Oolítico com Oncolitos e Bioclastos	
Grainstone Peloidal	
Rudstone Oncolítico com Oólitos e Bioclastos	

6. Associação de Fácies

A caracterização das fácies foi baseada na descrição macroscópica das rochas, sempre apoiada pela descrição microscópica das laminas petrográficas dos testemunhos. Esse suporte foi essencial na definição de cada uma das fácies da seção estudada.

Como dito anteriormente, a separação de rochas siliciclásticas, de arenitos híbridos de rochas carbonáticas foi feita de acordo com a classificação de Zuffa (1980, 1985), assim, considerando que os grãos componentes das rochas estudadas são ou carbonáticos ou siliciclásticos, considerou-se como rochas siliciclásticas com menos de 1/3 de carbonatos, arenito híbrido com 1/3 a 2/3 de componentes carbonáticos e carbonatos com mais de 2/3 de grãos carbonáticos.

Nos anexos é apresentada a descrição de dois trechos testemunhados de poços da região estudada, em escala 1:40. A descrição sequencial exemplifica bem a separação de associação de fácies propostas a seguir. As espessuras citadas nas descrições podem ser evidenciadas nos testemunhos descritos apresentados no anexo.

Na tabela a seguir são apresentadas as associações de fácies, a rocha descrita, sua respectiva fácies, subsistema e interpretação.

Tabela 2 – Tabela resumo das fácies descritas, com associação de fácies e interpretação.

Associação de Fácies	Rocha	Fácies	Subsistema	Interpretação
I	Carbonato	Grainstone Maciço	Fluxo Gravitacional Grosso Carbonático	Depósitos de Fluxos Gravitacionais confinados ou desconfinados associado à fonte carbonática
		Rudstone Maciço		
II		Grainstone Plano-Paralelo	Fluxo Gravitacional Fino Carbonático	Depósitos de Fluxos Gravitacionais desconfinados associado à fonte carbonática
III	Siliciclástico	Pelito Carbonoso Plano-Paralelas	Fluxo Gravitacional Fino Siliciclástico	Depósitos de decantação
		Siltito Micáceo Plano-Paralelas		
		Arenito Muito Fino a Fino Heterolítico Plano-Paralelas	Fluxo Gravitacional Fino Siliciclástico	Depósitos de Fluxos Gravitacionais desconfinados associado à fonte siliciclástica
		Arenito Muito Fino a Fino Climbing Ripples		
Arenito Fino a Médio Onduladas Truncante				
IV		Arenito Médio a Conglomerático Cruzadas de	Fluxo Gravitacional Grosso	Depósitos de Fluxos Gravitacionais

		Baixo Ângulo	Siliciclástico	confinados ou desconfinados associado à fonte siliciclástica
		Arenito Fino a Conglomerático Plano Paralelas		
		Arenito Médio a Conglomerático Cruzada Tangencial na Base		
		Arenito Muito Fino a Conglomerático Maciço		
		Conglomerado Maciço		
II	Híbrido	Arenito Híbrido Fino Plano-Paralela	Fluxo Gravitacional Fino	Depósitos de Fluxos Gravitacionais desconfinados associado à fonte siliciclástica e carbonática
I		Arenito Híbrido Muito Fino a Conglomerático Maciço	Fluxo Gravitacional Grosso	Depósitos de Fluxos Gravitacionais desconfinados associado à fonte siliciclástica e carbonática

A. Associação de Fácies I

A associação de fácies de Fluxo Gravitacionais Grossos Carbonáticos corresponde aos depósitos de carbonatos grossos, equivalem as fácies 13 e 15, podendo chegar a espessuras de até 8 metros. São compostos basicamente por Rudstones e Grainstones oncolíticos cimentados e estilolitizados que apresentam subordinadamente grãos oolíticos, bioclásticos e peloidais. A estrutura é maciça, não apresentando qualquer laminação.

Os grãos de carbonatos apresentam inúmeros aspectos de retrabalhamento principalmente representada pela abrasão dos envelopes dos oncolitos.

Os contatos são geralmente abruptos e tendem a gradação normal para o topo (de rudstones para grainstones). As feições de retrabalhamento dos grãos aloquímicos são comuns.

Apresentam espessura variando de 0,5 metros até pouco mais de 5 metros. Em termos de perfis elétricos, apresentam baixo raio gama (abaixo de 80 api) com altos valores de densidade (acima de 2,6) e fator fotoelétrico acima de três.

A granulometria e gradação normal dessa associação de fácies sugere ter sido depositada por fluxos gravitacionais de alta densidade. Os grãos aloquímicos encontram-se retrabalhados, sugerindo que isso aconteceu próximo ao local de deposição dos carbonatos, antes de serem redepositados em um ambiente mais distal. A ausência de base erosiva sugere a deposição por fluxos desconfinados.

B. Associação de Fácies II

A associação de fácies de Fluxo Gravitacionais Finos Carbonáticos é composta por rochas carbonáticas de granulometria fina a muito fina, abrangendo a fácies 14, sendo em sua maioria grainstones peloidais, e, secundariamente, grainstones oncolíticos. Subordinadamente aparecem grãos oolíticos e bioclastos. São pacotes pouco espessos, chegando ao máximo a 2 metros.

Apresentam espessura variando de 0,5 metros até pouco mais de 3 metros. Em termos de perfis elétricos, apresentam baixo raio gama (abaixo de 100 api) com altos valores de densidade (acima de 2,6) e fator fotoelétrico acima de quatro.

O domínio de grãos finos, maciços ou estratificados, sugere que correntes de turbidez bipartidas foram responsáveis pelos depósitos dessa associação de fácies. O evidente retrabalhamento dos grãos carbonáticos (abrasão dos envelopes dos oncolitos, oólitos e peloides) indica que houve uma redeposição desses grãos, após serem formados e retrabalhados em situação mais proximal. A ausência de contatos basais erosivos sugere que os fluxos eram desconfinados.

C. Associação de Fácies III

A associação de fácies de Fluxo Gravitacionais Finos Siliciclásticos corresponde aos depósitos siliciclásticos finos, abrangendo as fácies 1,2,3,4 e 5.

A associação de fácies siliciclásticos finos é composta por siltitos, pelitos carbonosos e arenitos muito fino a fino, todos rico em biotita. Possuem laminação plana paralela, hora determinada pela variação no tamanho do grão, hora pela composição mineralógica. Secundariamente apresentam cruzada ondulada ou *climbing ripples*. Bioturbação varia de moderada a intensa. Os arenitos híbridos finos possuem similaridades suficientes para serem incluídos nessa associação, já que possuem laminação plano-paralela, bioturbação de moderada a intensa.

O predomínio de siliciclásticos finos com estruturas trativas, alternadas com alguns pelitos, sugerem depósitos de correntes de baixa densidade. Os grãos aloquímicos, presentes em maior parte nos híbridos, mas também componentes comuns nos siliciclásticos apresentam sinais de redeposição, já que se encontram sempre com sinais de abrasão dos envelopes dos oncolitos.

Os depósitos podem variar de centimétricos até quase uma dezena de metros. Apresentam raio gama alta (acima de 130 api), densidade entre 2,4 e 2,6 e fator fotoelétrico entre 3 e 4.

O domínio de granulometria grossa, tanto estratificados como maciços, também sugere que correntes de turbidez bipartidas foram responsáveis pelos depósitos dessa associação de fácies (alta densidade – arenitos maciços; baixa densidade – arenitos estratificados). É incomum a presença de base erosiva, indicando fluxos fracamente canalizados para desconfinados.

D. Associação de Fácies IV

A associação de fácies de Fluxo Gravitacionais Grossos Siliciclásticos corresponde aos depósitos siliciclásticos grossos, abrangendo as fácies 6,7,8,9 e 10. Possuem espessura de até 15 metros. Elas são mais espessas na parte basal do Grupo Barra Nova e também na porção norte da área estudada. São quase sempre maciças, com bioturbação variando de pouca a muito intensa, dificultando a identificação de laminações. Ainda assim, é possível identificar alguns arenitos com laminação cruzada de baixo ângulo e laminação cruzada ondulada. Os arenitos híbridos grossos (Fácies 11 e 12) podem ser incluídos nessa associação de fácies, já que apresentam similaridades muito grandes com os siliciclásticos grossos (mal selecionados, quase sempre maciços, bioturbados).

Não são identificados muitos depósitos com base erosiva, apontando para um domínio de depósitos com fluxos desconfinados.

Dentre as sequencias siliciclásticas, podemos destacar uma sequencia incomum, onde pode se observar uma sequencia siliciclástica granodecrescente ascendente, com base erosiva. A porção inferior é composta por arenitos grossos, maciços, que gradam a arenitos médios predominantemente maciços, por vezes com laminação de baixo angulo. Chegam ao topo a arenitos finos a muito finos, siltosos, com laminação plano-paralela, podendo apresentar ripples com algum pelito intercalado. Não se nota feições de exposição no topo da sequência, em meio aos depósitos mais finos. Esta sequencia foi descrita nas porções médio inferiores da Formação São Mateus, aparentemente em contexto mais proximal do que a maior parte dos testemunhos analisados.

Apresenta raio gama moderado (entre 80 e 130 api, podendo apresentar picos maiores devido a concentração de feldspatos), densidade entre 2,2 e 2,6 e fator fotoelétrico entre 2,5 e 3.

Depósitos clásticos de granulometria fina, com domínio de estratificações geradas por correntes trativas e sempre intercalados com rochas pelíticas indicam depósitos de corrente de turbidez de baixa densidade.

7. Correlação Rocha-Perfil e Fluidos

A utilização de perfis elétricos é uma prática comum na indústria do petróleo para o entendimento das rochas perfuradas. A correlação dos perfis elétricos com as litologias testemunhadas é de grande importância, possibilitando a determinação das chamadas eletro-fácies, item essencial para a compreensão do comportamento das fácies ao longo dos campos.

Os perfis mais utilizados nos poços terrestres da bacia do Espírito Santo são o de raio gama, densidade, neutrão e resistividade, para identificar os reservatórios e seus respectivos fluidos.

O perfil de raio gama mede a radioatividade natural (U,K e Th) de uma rocha, sendo importante na identificação de argilo-minerais. Rochas com abundância de feldspatos também se destacam, sendo necessário cuidado em arenitos arcoseanos; o perfil de densidade, como o nome já diz, mede a densidade da mesma através da emissão de raio gama de uma fonte radioativa. Esses raios são muito absorvidos em formações muito densas e pouco absorvidos em formações menos densas; o perfil neutrônico mede a porosidade da rocha enquanto o perfil de resistividade mede o quão resistivo é o meio, sendo útil na identificação de fluídos (óleo/gás – resistivo; água salgada – baixa resistividade). Além desses, também foi utilizado o perfil de fator fotoelétrico, que determina a propriedade dos minerais.

A partir da correlação desses perfis com os testemunhos, Del Rey (1995) desenvolveu equações discriminantes (Figura 36) para distribuir as fácies descritas em testemunho para poços da região. Como muitas fácies, em especial as de arenitos híbridos, não conseguem ser diferenciadas de outras fácies utilizando-se os perfis elétricos, adotou-se quatro associações de fácies que podem ser distribuídas por todos os poços (ver Tabela 2).

$$\begin{aligned}
EQ_1 &= -851.93358123 - (0.00803302 * GR) + (7.81749901 * NPHI) + (616.37256717 * RHOB) + (5.82298925 * PEFZ) \\
EQ_2 &= -813.26007101 - (0.05019927 * GR) + (7.84836277 * NPHI) + (604.05476725 * RHOB) + (4.44778386 * PEFZ) \\
EQ_3 &= -912.29412450 - (0.02293544 * GR) + (8.09387535 * NPHI) + (636.56215653 * RHOB) + (7.57541980 * PEFZ) \\
EQ_4 &= -797.59948993 - (0.05537415 * GR) + (7.50925631 * NPHI) + (576.91046991 * RHOB) + (15.8696758 * PEFZ) \\
EQ_5 &= -879.72452678 - (0.01232005 * GR) + (7.46172686 * NPHI) + (625.12341404 * RHOB) + (7.48251574 * PEFZ) \\
EQ_6 &= -804.28111766 - (0.02844554 * GR) + (7.57813364 * NPHI) + (600.30911344 * RHOB) + (5.61406854 * PEFZ) \\
EQ_7 &= -760.80965527 - (0.07165994 * GR) + (7.59088828 * NPHI) + (585.07851342 * RHOB) + (4.55798377 * PEFZ) \\
EQ_8 &= -863.28749692 - (0.05838246 * GR) + (7.27301650 * NPHI) + (618.03566211 * RHOB) + (10.3758678 * PEFZ) \\
EQ_9 &= -880.69013389 - (0.06437403 * GR) + (7.60872020 * NPHI) + (625.88167961 * RHOB) + (9.25990427 * PEFZ) \\
EQ_10 &= -864.08829183 - (0.06402682 * GR) + (7.31774860 * NPHI) + (620.85748459 * RHOB) + (8.94047670 * PEFZ) \\
EQ_11 &= -850.87972172 - (0.00153742 * GR) + (7.24223868 * NPHI) + (614.79449876 * RHOB) + (8.36632316 * PEFZ) \\
EQ_12 &= -773.97647518 - (0.00503267 * GR) + (7.89830633 * NPHI) + (580.07986153 * RHOB) + (6.23626842 * PEFZ)
\end{aligned}$$

```

FACIES=if(EQ_1>EQ_2EQ_1>EQ_3EQ_1>EQ_4EQ_1>EQ_5EQ_1>EQ_6AndEQ_1>EQ_7EQ_1>EQ_8EQ_1>EQ_9EQ_1>EQ_10EQ_1>EQ_11EQ_1>EQ_12,2,U)
FACIES=if(EQ_2>EQ_1EQ_2>EQ_3EQ_2>EQ_4EQ_2>EQ_5EQ_2>EQ_6EQ_2>EQ_7EQ_2>EQ_8EQ_2>EQ_9EQ_2>EQ_10EQ_2>EQ_11EQ_2>EQ_12,2,FACIES)
FACIES=if(EQ_3>EQ_1EQ_3>EQ_2EQ_3>EQ_4EQ_3>EQ_5EQ_3>EQ_6EQ_3>EQ_7EQ_3>EQ_8EQ_3>EQ_9EQ_3>EQ_10EQ_3>EQ_11EQ_3>EQ_12,1,FACIES)
FACIES=if(EQ_4>EQ_1EQ_4>EQ_2EQ_4>EQ_3EQ_4>EQ_5EQ_4>EQ_6EQ_4>EQ_7EQ_4>EQ_8EQ_4>EQ_9EQ_4>EQ_10EQ_4>EQ_11EQ_4>EQ_12,4,FACIES)
FACIES=if(EQ_5>EQ_1EQ_5>EQ_2EQ_5>EQ_3EQ_5>EQ_4EQ_5>EQ_6EQ_5>EQ_7EQ_5>EQ_8EQ_5>EQ_9EQ_5>EQ_10EQ_5>EQ_11EQ_5>EQ_12,3,FACIES)
FACIES=if(EQ_6>EQ_1EQ_6>EQ_2EQ_6>EQ_3EQ_6>EQ_4EQ_6>EQ_5EQ_6>EQ_7EQ_6>EQ_8EQ_6>EQ_9EQ_6>EQ_10EQ_6>EQ_11EQ_6>EQ_12,3,FACIES)
FACIES=if(EQ_7>EQ_1EQ_7>EQ_2EQ_7>EQ_3EQ_7>EQ_4EQ_7>EQ_5EQ_7>EQ_6EQ_7>EQ_8EQ_7>EQ_9EQ_7>EQ_10EQ_7>EQ_11EQ_7>EQ_12,4,FACIES)
FACIES=if(EQ_8>EQ_1EQ_8>EQ_2EQ_8>EQ_3EQ_8>EQ_4EQ_8>EQ_5EQ_8>EQ_6EQ_8>EQ_7EQ_8>EQ_9EQ_8>EQ_10EQ_8>EQ_11EQ_8>EQ_12,7,FACIES)
FACIES=if(EQ_9>EQ_1EQ_9>EQ_2EQ_9>EQ_3EQ_9>EQ_4EQ_9>EQ_5EQ_9>EQ_6EQ_9>EQ_7EQ_9>EQ_8EQ_9>EQ_10EQ_9>EQ_11EQ_9>EQ_12,6,FACIES)
FACIES=if(EQ_10>EQ_1EQ_10>EQ_2EQ_10>EQ_3EQ_10>EQ_4EQ_10>EQ_5EQ_10>EQ_6EQ_10>EQ_7EQ_10>EQ_8EQ_10>EQ_9EQ_10>EQ_11EQ_10>EQ_12,7,FACIES)
FACIES=if(EQ_11>EQ_1EQ_11>EQ_2EQ_11>EQ_3EQ_11>EQ_4EQ_11>EQ_5EQ_11>EQ_6EQ_11>EQ_7EQ_11>EQ_8EQ_11>EQ_9EQ_11>EQ_10EQ_11>EQ_12,5,FACIES)
FACIES=if(EQ_12>EQ_1EQ_12>EQ_2EQ_12>EQ_3EQ_12>EQ_4EQ_12>EQ_5EQ_12>EQ_6EQ_12>EQ_7EQ_12>EQ_8EQ_12>EQ_9EQ_12>EQ_10EQ_12>EQ_11,0,FACIES).

```

Figura 36 – Formulas utilizadas para a determinação de eletrofácies utilizando dos dados de Raios Gama, Densidade, Neutrônico e Fator Fotoelétrico (Del Rey, 1995).

Como já dito anteriormente, a constante intercalação vertical de siliciclásticos e carbonatos, que já ocasionam uma grande peculiaridade, se torna ainda mais intrigante quando analisamos o comportamento dos perfis na área estudada.

A grande variação de fácies proporciona a presença de diversos reservatórios, com mudanças de fluídos (gás, óleo e água) a poucos centímetros de distância de reservatórios assim como a presença de diferentes pressões em reservatórios próximos com o mesmo fluído. As figuras a seguir destacam a proximidade de reservatórios de água com de hidrocarbonetos e também mostram as diferentes pressões dos reservatórios que compõe a área estudada (Figura 39).

A continua intercalação de diferentes rochas dificulta a identificação e detalhamento das mesmas nos perfis elétricos corridos rotineiramente nos poços de petróleo. A resolução desses perfis muitas vezes é menor do que a espessura das camadas de diferentes litologias intercaladas na área de estudo.

Além disso, os arenitos híbridos podem dar respostas de perfil similares às das rochas siliciclásticas da Formação São Mateus. Por outro lado, arenitos híbridos quartzo feldspáticos oncolíticos cimentados, são de difícil distinção da resposta das rochas carbonáticas. No caso de arenitos híbridos micáceos silticos fica difícil a distinção em relação aos arenitos muito fino/finos/siltitos siliciclásticos. E, por fim, a presença de arenitos híbridos quartzo feldspáticos oncolíticos com dissolução propicia similaridades aos arenitos-reservatório quartzo feldspáticos médios a grossos (ver tabela 1).

Essas similaridades são proporcionadas pela variedade de grãos que compõe as rochas do Grupo Barra Nova. Assim, um arenito híbrido rico em feldspatos pode apresentar elevado valor de raios gama e porosidade de dissolução, e ser identificado como um arenito siliciclástico reservatório de médio a grosso (figura 1 da tabela1). Da mesma maneira, um arenito híbrido cimentado pode ter comportamento similar a um grainstone oncolítico, dependendo da quantidade de grãos feldspáticos que serviram como núcleo na formação do oncolito (baixo a médio raios gama, sem porosidade – figura 3 da tabela1). E, por fim, um arenito híbrido micáceo pode ser confundido com

arenitos muito finos/siltitos micáceos (médio raio gama, sem porosidade - figura 2 da tabela1).

Com isso, a utilização de uma série de perfis é essencial para se conseguir fazer a melhor correlação rocha-perfil possível. Utilizando-se perfis de raio gama, densidade, neutrão e fator fotoelétrico, pode-se distinguir da melhor maneira possível às rochas do Grupo Barra Nova. Mesmo assim, em uma modelagem geológica de reservatórios, o mais indicado é adotar um menor número de fácies, utilizando carbonatos, siltitos e arenitos e adotando cada um dos arenitos híbridos na respectiva fácies “similar”.

Abaixo é apresentada a descrição de trechos testemunhados integrada com os perfis elétricos (figuras 18 e 19). Note que arenitos híbridos aparecem em trechos com respostas similares a arenitos e a carbonatos. As fácies siliciclásticas não reservatórios correspondem a siltitos, pelitos carbonosos e arenitos muito finos a finos ricos em micas.

Os reservatórios são em sua grande maioria arenitos médios a grossos siliciclásticos, mas pode se também notar a existência de reservatórios de arenitos híbridos médios a grossos.

Em seguida é apresentada uma tabela (Tabela 3) com as possíveis inversões que a interpretação dos perfis pode trazer para as rochas híbridas.

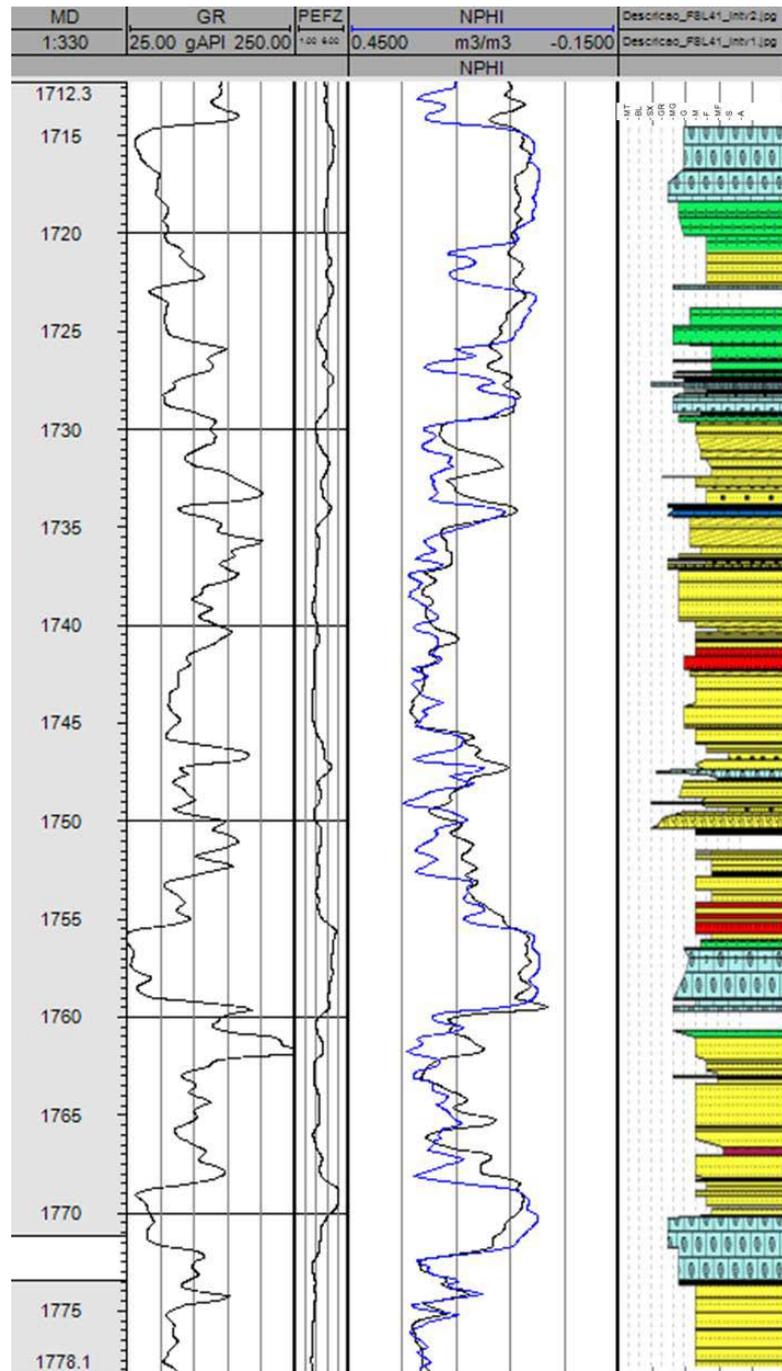


Figura 37 – Figura mostrando a correlação Rocha-Perfil. Em verde, arenitos híbridos, em amarelo rochas siliciclásticas e em azul rochas carbonáticas.

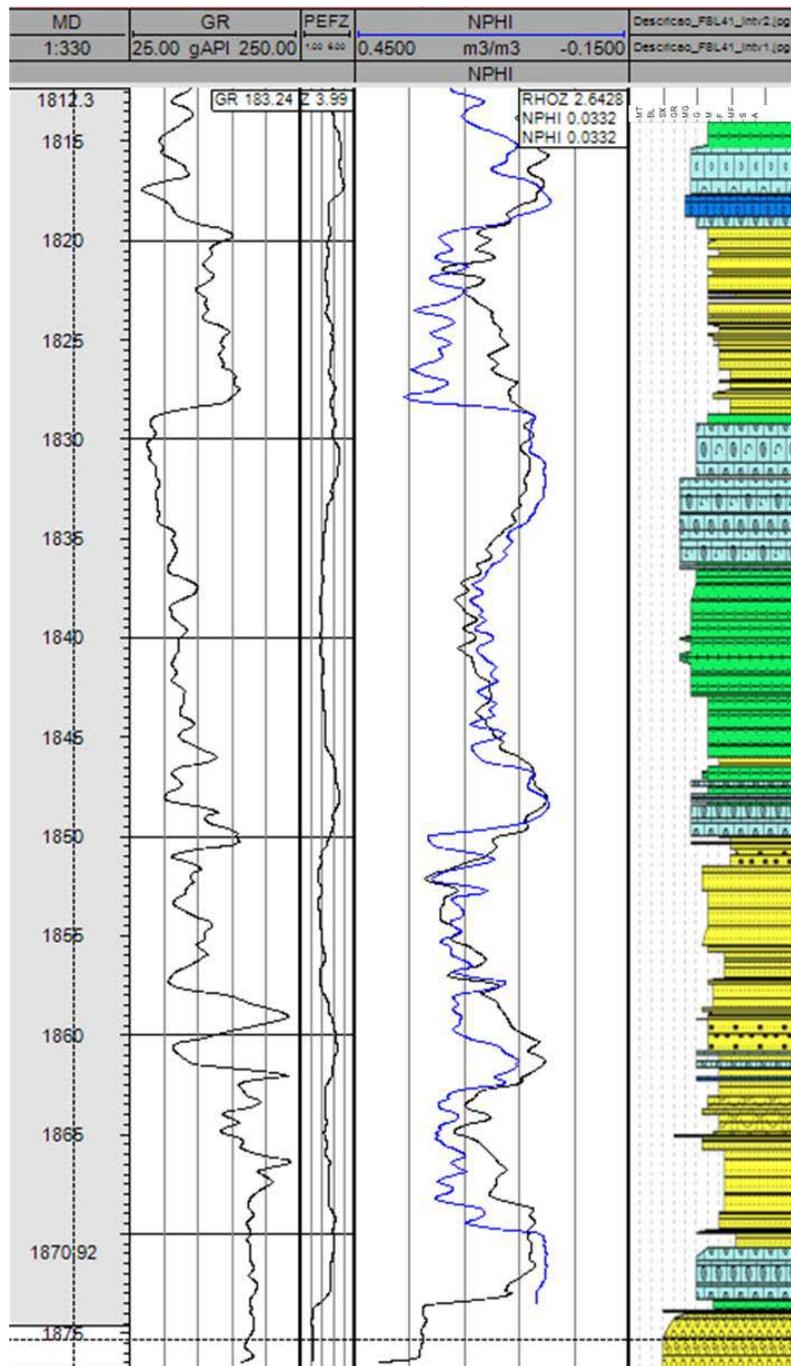
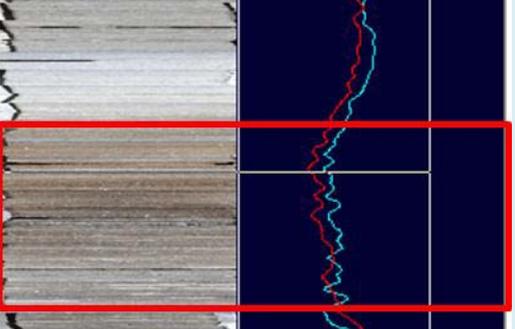
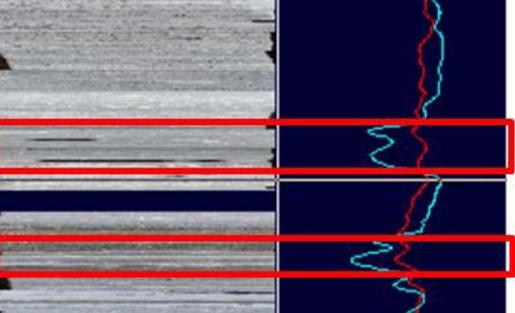
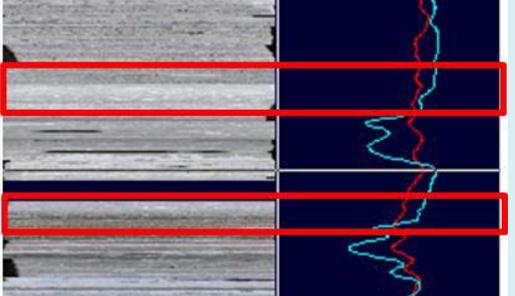


Figura 38 - Continuação de descrição, mostrando a correlação Rocha-Perfil. Em verde, arenitos híbridos, em amarelo rochas siliciclásticas e em azul rochas carbonáticas.

Tabela 3 - Possíveis correlações rocha x perfil que podem ser feitas de acordo com as rochas da Formação São Mateus

INTERPRETAÇÃO 1	Principais Constituintes	INTERPRETAÇÃO 2	PERFIS AVALIAR	Testemunho e Perfis de Densidade/Neutrão
Arenito Híbrido Poroso	Quartzo, Feldspato e Oncolitos	Arenito Médio	PE, NPHI;RHOB	
Arenito Híbrido micáceo oncolítico	Biotita, Oncolitos e Pesados	Siltito/Arenito Muito Fino Laminado	GR;PE	
Arenito Híbrido Oncolítico Cimentado	Quartzo, Feldspato e Oncólitos.	Grainstone Oncolítico	PE, NPHI;RHOB	

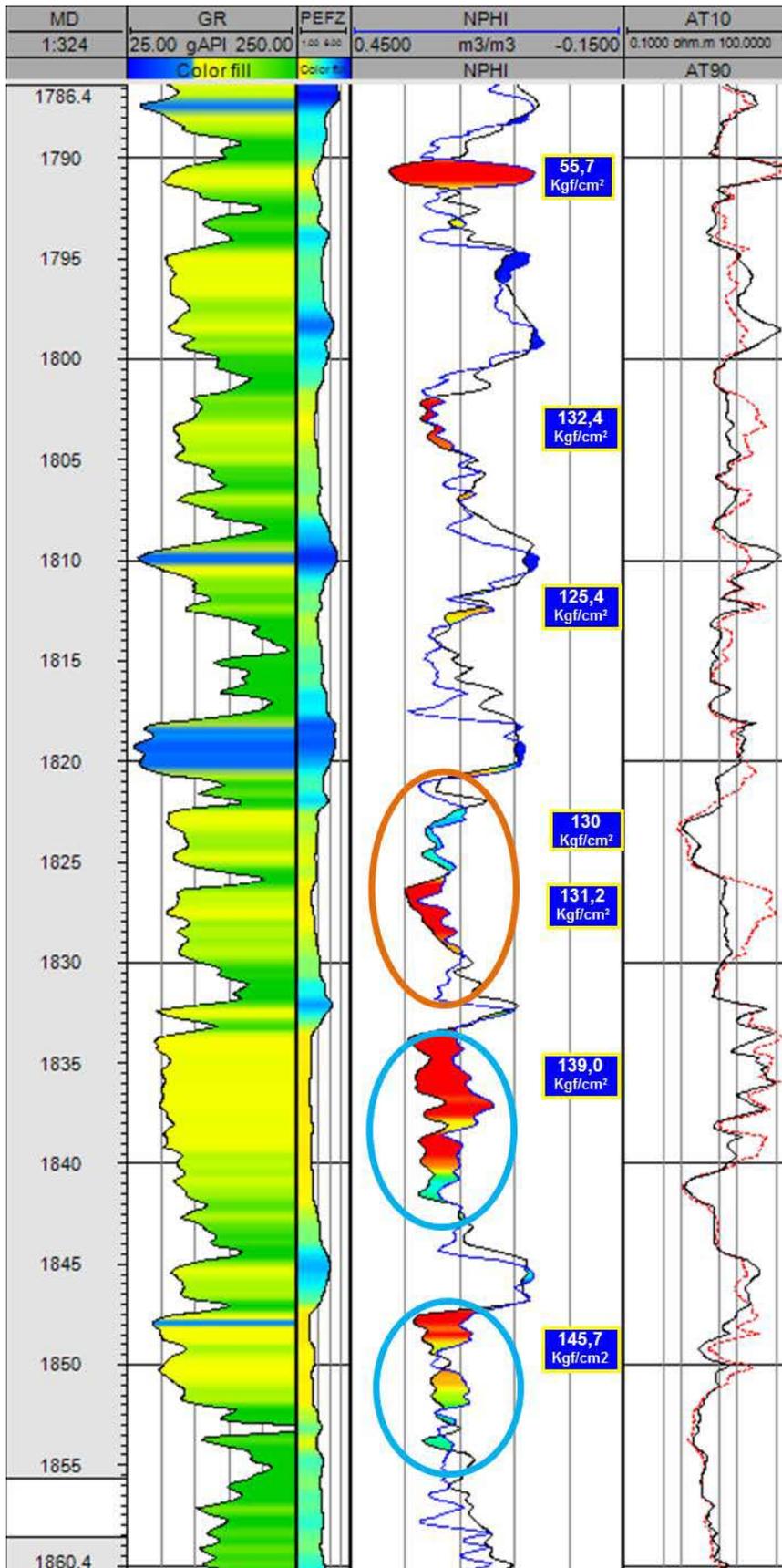


Figura 39 – Perfil mostrando os diversos reservatórios da Formação São Mateus. Note que no círculo laranja a água está acima do óleo, existem vários contatos óleo/água (círculos azuis claros) e os reservatórios possuem pressões diferentes.

8. Resultados

I. Estratigrafia de Sequencias

A. Histórico

Fatores como variações eustáticas e a tectônica (subsidência ou soerguimento), aliados ao aporte sedimentar, constituem os controles que regem a evolução e o preenchimento do espaço de acomodação em bacias de deposição.

Como descrito anteriormente, Tagliari (2012, 2013) definiu alguns tratos de sistemas para a sequencia albiana da porção terrestre da bacia do Espírito Santo. A parte basal, do topo da Formação Mariricu até o primeiro refletor sísmico que mostra uma erosão regional (equivalente ao topo da Formação São Mateus na região estudada), denominada por ele de Sequência A, mostra um aumento, da base para o topo, de fácies carbonáticas. Tal acréscimo se inicia nas porções intermediária à distal da plataforma, marcando uma gradual retrogradação, na escala de terceira ordem, das fácies siliciclásticas e resultante do implante das fácies mistas e carbonáticas onde antes as primeiras dominavam. Essa sequencia seria um Trato de Sistemas Transgressivo (TST) de 3ª Ordem na bacia.

Para Tagliari (2013), a sequencia carbonática seguinte (sequencia B), equivalente a Formação Regência na área estudada, apresenta dois tratos de sistema: O trato de sistema transgressivo (sequência B1), representando por uma retrogradação, após a erosão marcada no topo da Formação São Mateus, das fácies siliciclásticas e conseqüente avanço das fácies carbonáticas para oeste. Essa seção culmina com um nível de glauconita, que marca a superfície de inundação máxima. Logo acima, teríamos o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA)(sequencia B2) marcado por progradação das fácies siliciclásticas, com o implante de fácies híbridas em locais onde, no TST, predominavam fácies

siliciclásticas médias a grossas. Isto pode indicar uma área fonte menos ativa tectonicamente e/ou clima mais seco. A

A Figura 13, apresentada anteriormente mostra os intervalos e seus respectivos tratos de sistemas.

Bento Freire & Cordeiro (2009) definiram sequencias deposicionais de 4ª ordem para a porção superior da Formação São Mateus na área estudada, utilizando de modelo geológico onde a deposição de siliciclásticos era fruto de sistema deltaico, com atuação de tectônica salífera enquanto os carbonatos eram depositados em ambiente plataformal, com quietude tectônica (como discutido no item anterior) (Figura 42).

Esses ciclos foram definidos utilizando os perfis de densidade e neutrônico, mas também podem ser definido utilizando o *gama ray*, como sugerido por Tagliari (2012). Apenas na definição de ciclos menores (5ª ordem, considerando a 3ª Ordem de Tagliari (2013)), o perfil de raios gama não é aconselhável para utilização, devido a grande variação de grãos, principalmente de feldspatos, nas rochas da Formação São Mateus.

Ainda assim, existiam reservatórios diferentes dentro de uma sequencia de 4ª ordem (mais de um contato óleo/água; diferentes pressões nos reservatórios, entre outros). Para isso, Bento Freire (2009) definiu um zoneamento que denominou de 5ª ordem, colocando como um ciclo completo o seguinte contexto: criação de espaço através de tectônica adiastrófica, deposição de siliciclásticos finos (pró-delta) predominando sobre a sedimentação carbonática. Avanço de sistemas continentais deltaicos sobre a plataforma carbonática, formando depósitos siliciclásticos grossos (frente deltaica), diminuição de espaço de acomodação e da alimentação continental, domínio carbonático (plataforma carbonática) e o conseqüente recuo do delta.

Apesar de definir esse ciclo como completo, os testemunhos e os perfis mostram que esse tipo de comportamento não é tão comum. Assim, Bento Freire & Cordeiro (2009) colocam a influência da halocinese, ocasionando a interrupção desses ciclos, justificando assim a existência de inúmeros ciclos incompletos.

Esse modelo também explica a existência de diversos reservatórios, separados a poucos metros de distância (na vertical) e o comportamento caótico dos mesmos em uma sequência vertical.

Utilizando esse conceito, Beggiato et al (2010) e Olivito & Kahwage(2012) aplicaram o método para porção intermediária da Formação São Mateus, implementando o comportamento dos reservatórios na área estudada.

B. Sequencias de 4ª Ordem

As sequencias definidas pelo trabalho foram denominadas de 4ª ordem por estarem incluídas dentro dos tratos de 3ª ordem de Tagliari (2013).

A análise faciológica, a interpretação dos perfis elétricos e a consequente correlação rocha-perfil em escala semi-regional leva a definir um empilhamento de siliciclásticos finos, gradando a siliciclásticos grossos, a arenitos híbridos culminando em carbonatos (Figura 42). Apesar da sucessão vertical apresentar uma tendência faciológica bem definida, a intercalação vertical das fácies descritas é constante e há mudanças em pequenas espessuras (decimétricas).

A variação do nível do mar e, principalmente, o clima tiveram efeito fundamental nas sequencias descritas, já que esses fatores influenciam diretamente a preponderância de fluxos gravitacionais predominantemente carbonáticos ou fluxos gravitacionais predominantemente siliciclásticos (Figura 40).

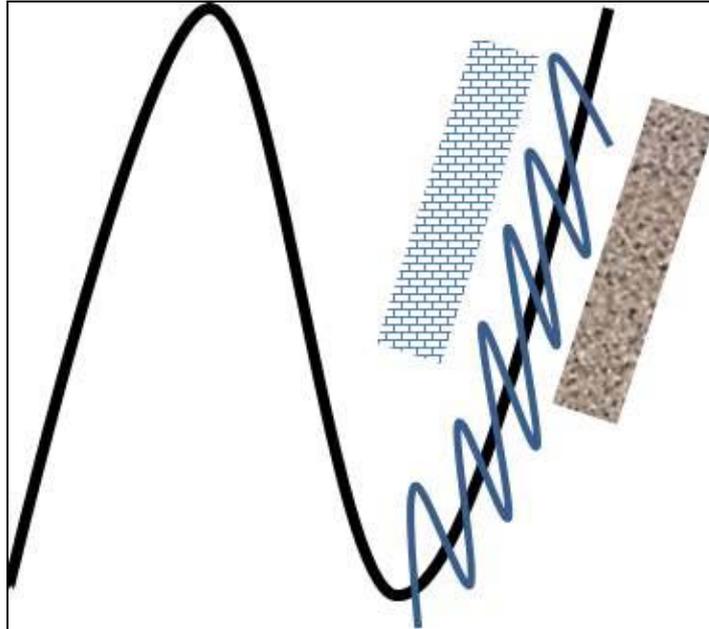


Figura 40 – Variação do Nível do mar em menor ordem, com predomínios de fluxos gravitacionais carbonáticos (nível relativo de mar alto) e predomínios de fluxos gravitacionais siliciclásticos (nível relativo de mar baixo).

Como apontado anteriormente, a grande quantidade de grãos angulosos, feldspatos, granadas e minerais pesados apontam para um clima seco com rápida deposição.

É consenso na literatura que sedimentos siliciclásticos prejudicam o crescimento da fábrica carbonática. Assim, períodos mais secos, com menor aporte sedimentar, aliado a níveis relativos do mar alto, propiciavam o aumento da fábrica carbonática e, conseqüentemente, o aumento de fluxos gravitacionais predominantemente carbonáticos (Tabela 4).

Já em períodos mais úmidos, aliados a um nível relativo de mar baixo, os depósitos continentais estavam mais próximos da porção mais íngreme da bacia (“talude”), alimentando a região dos campos com predomínio de grãos siliciclásticos. Nesse período, a fábrica carbonática estava ativa, mas com baixo crescimento devido às condições do meio. Assim, os fluxos gravitacionais predominantes eram siliciclásticos (Tabela 4).

Tabela 4 – Principais controladores da sedimentação

Clima	Aporte	Nível Relativo Mar	Atividade Tectônica	Sedimentação Dominante
Seco	Baixo	Alto	Alta	Carbonático
Úmido	Alto	Baixo	Baixa	Siliciclástico

Na metade inferior do intervalo analisado, os ciclos tendem a ser mais espessos e mais arenosos. Associando isso, neste intervalo a associação de fácies de Fluxo Gravitacionais Grossos Siliciclásticos tornam-se mais frequentes, indicando um contexto deposicional mais proximal.

Importante salientar que a deposição das rochas da metade inferior do intervalo analisado, ocorreu durante intensa atuação de tectônica salífera. Isso pode ser observado desde a interpretação sísmica (Figura 14) até a presença de inúmeros grãos intensamente fraturados. Esse cisalhamento heterogêneo de grãos individuais (e não da rocha) sugere que tal fraturamento ocorreu devido ao tectonismo atuante a profundidades relativamente rasas e antes de uma litificação significativa (UFRGS, 2012; cf. Makowitz e Milliken, 2003) (Figura 41). A precocidade do fraturamento de grãos é também sugerida pela formação de crescimentos internos de K-feldspato “cicatrizando” parcialmente grãos de microclínio e ortoclásio fraturados (UFRGS, 2012).

É notório que a espessura das sequências vão diminuindo em direção ao topo da Formação São Mateus, com aumento da intercalação e predomínio de fácies carbonáticas (Figura 38). Esse fator parece ser reflexo da diminuição do aporte, da subida do nível do mar e da diminuição na movimentação adiastrófica, já que, na sísmica, esse é o momento aonde não se observa aumento de seção na direção do eixo da falha lístricas (Figura 14–Seção sísmica DIP em profundidade mostrando falhamento lístrico arqueando camadas da Formação São Mateus. Sombreado azul corresponde ao topo do Grupo Barra Nova e Formação Regência, sombreado vermelho corresponde à base da Formação Regência e sombreado amarelo a Formação São Mateus.

Refletor marrom base da Formação Mariricu e vermelho topo do embasamento.).

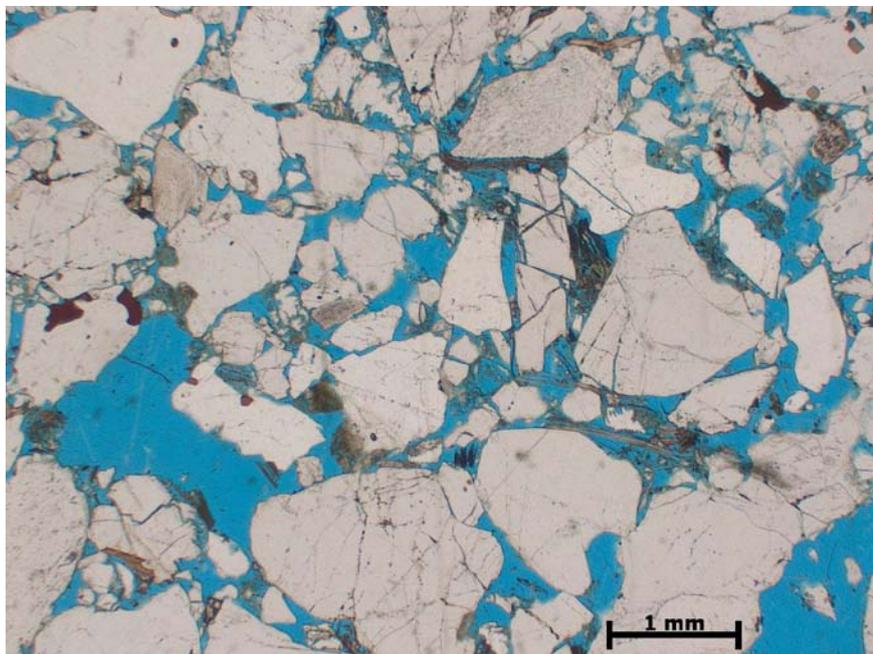


Figura 41 – Grãos de quartzo intensamente fraturados, individualmente. É possível ver a cicatrização de alguns desses grãos.

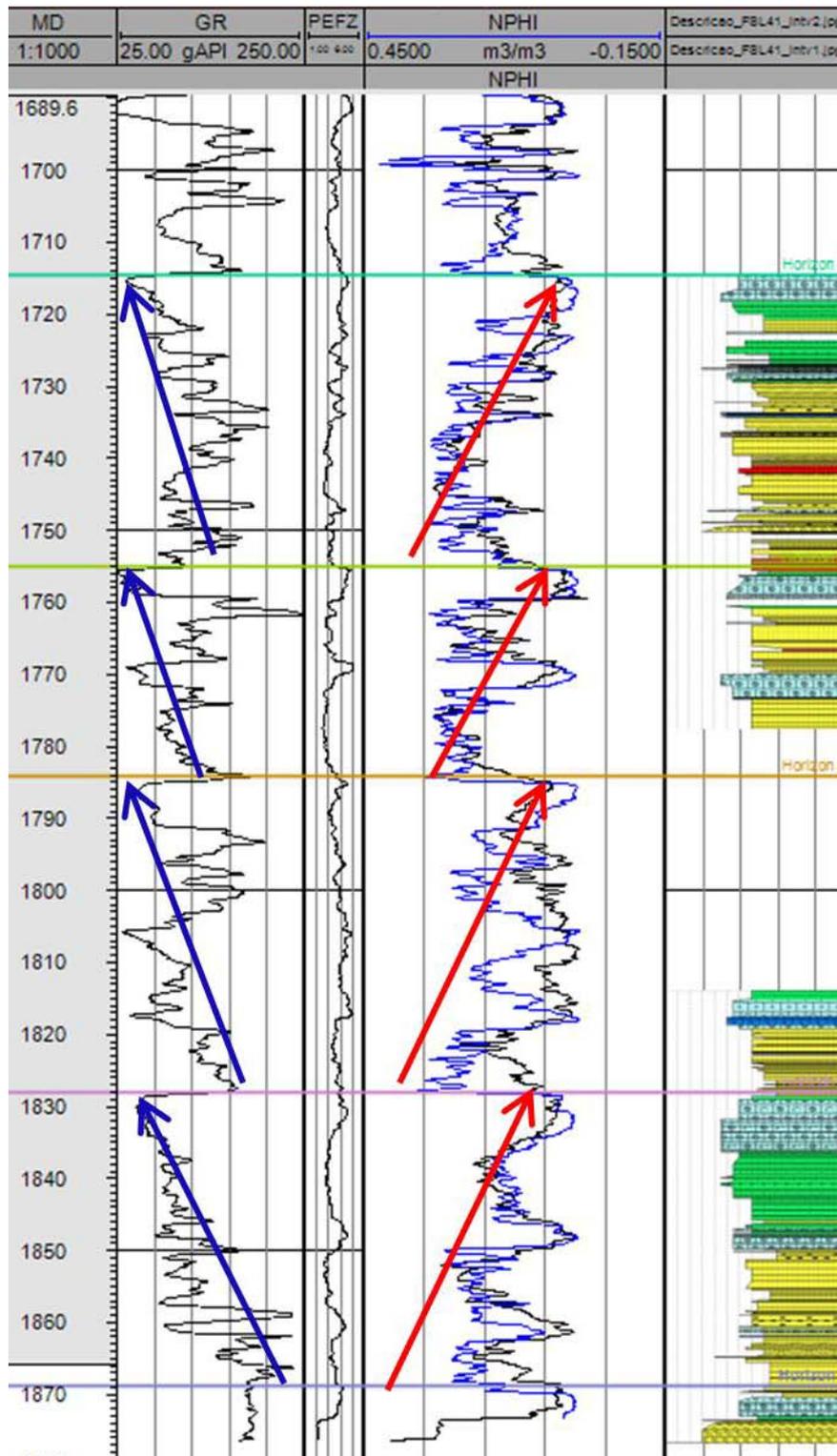


Figura 42 – Ciclos de 4ª ordem em porção amostrada na Fm. São Mateus, modificado da análise de Bento Freire & Cordeiro (2009). Nessa ordem, podemos definir os ciclos maiores utilizando o perfil de raios gama ou os perfis de densidade e neutrônico. As fácies amarelas são siliciclásticas, as verdes são híbridas e azuis são carbonatos.

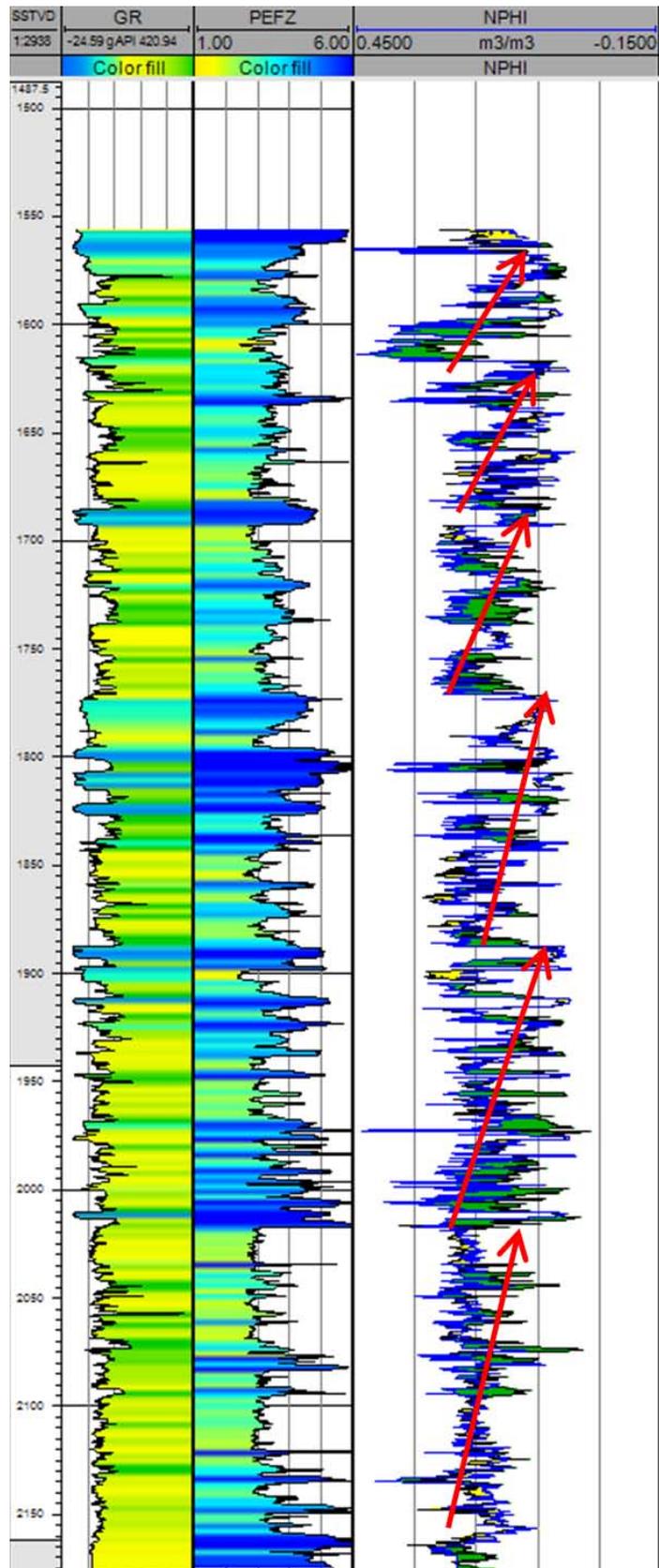


Figura 43 – Ciclos de 4ª ordem diminuindo em direção ao topo.

C. Mapas de Proporção de Fácies

A partir da correlação rocha-perfil descrita anteriormente, foi distribuído para todos os poços da área uma interpretação de associação de fácies, de acordo com os perfis elétricos de cada poço.

Como os arenitos híbridos são de difícil distinção por perfis elétricos, eles acabaram sendo englobados pela associação de fácies que mais se assemelha, já exemplificado na tabela 1. Assim, a distribuição foi feita para as fácies Siliciclásticos Médios a Grossos (Reservatórios Siliciclásticos e Híbridos); Siliciclásticos Finos (Siltitos, Arenitos Muito Fino a Fino, Híbridos Finos e Carbonatos Finos) e Carbonatos (Carbonatos Grossos).

Com essa distribuição, foram elaborados mapas de proporção dessas fácies para cinco unidades de 4ª ordem do topo da Formação São Mateus. Dessa maneira, pode se notar as principais entradas de siliciclásticos, de carbonatos e siltitos.

Os mapas são apresentados nos anexos por unidades (de I a V). A unidade V é a mais basal e a unidade I é a mais superior. Não foram utilizadas mais unidades por que grande parte dos poços não chega a maiores profundidades.

A sobreposição dos mapas propiciou a elaboração do domínio de cada rocha em cada sequência de 4ª ordem e, assim, pode-se distinguir a distribuição espacial predominante dos carbonatos, siliciclásticos grossos e siliciclásticos finos e suas mudanças ao longo das sequências definidas.

Nota-se que as áreas de deposição de siliciclásticos e carbonáticos são muitas vezes coincidentes ou, no máximo, complementares. Não é possível fazer uma distinção de domínio de carbonatos ou siliciclásticos grossos em determinada porção da área, dificultando posicionar siliciclásticos em uma porção mais proximal e carbonatos em uma mais distal. Além disso, os corpos arenosos e carbonáticos se apresentam em formato de lobos (Figura 44 a Figura 48).

Os siltitos sempre aparecem predominando em porção que temos pouco dos depósitos arenosos ou carbonáticos, aparentemente subordinados aos

lobos arenosos e/ou carbonáticos. Esse fator acaba reforçando a tese dos fluxos gravitacionais (Figura 44 a Figura 48).

O aumento de carbonato em direção ao topo é notado, mas não de uma forma constante. Existem intervalos inferiores com maior porcentagem de carbonatos do que alguns superiores. Isso pode ser reflexo de um clima mais úmido ou um período maior de nível relativo do mar mais baixo, propiciando uma maior concentração de siliciclásticos.

A direção quase sempre apontada pelos depósitos siliciclásticos e carbonáticos grossos nos mapas provem de norte/noroeste, com pequena variação para oeste. Essa direção corrobora com os estudos anteriores, que colocam a fonte dos sedimentos nessa direção. Os mapas estão no arquivo anexo (II, III, IV, V e VI) do trabalho.

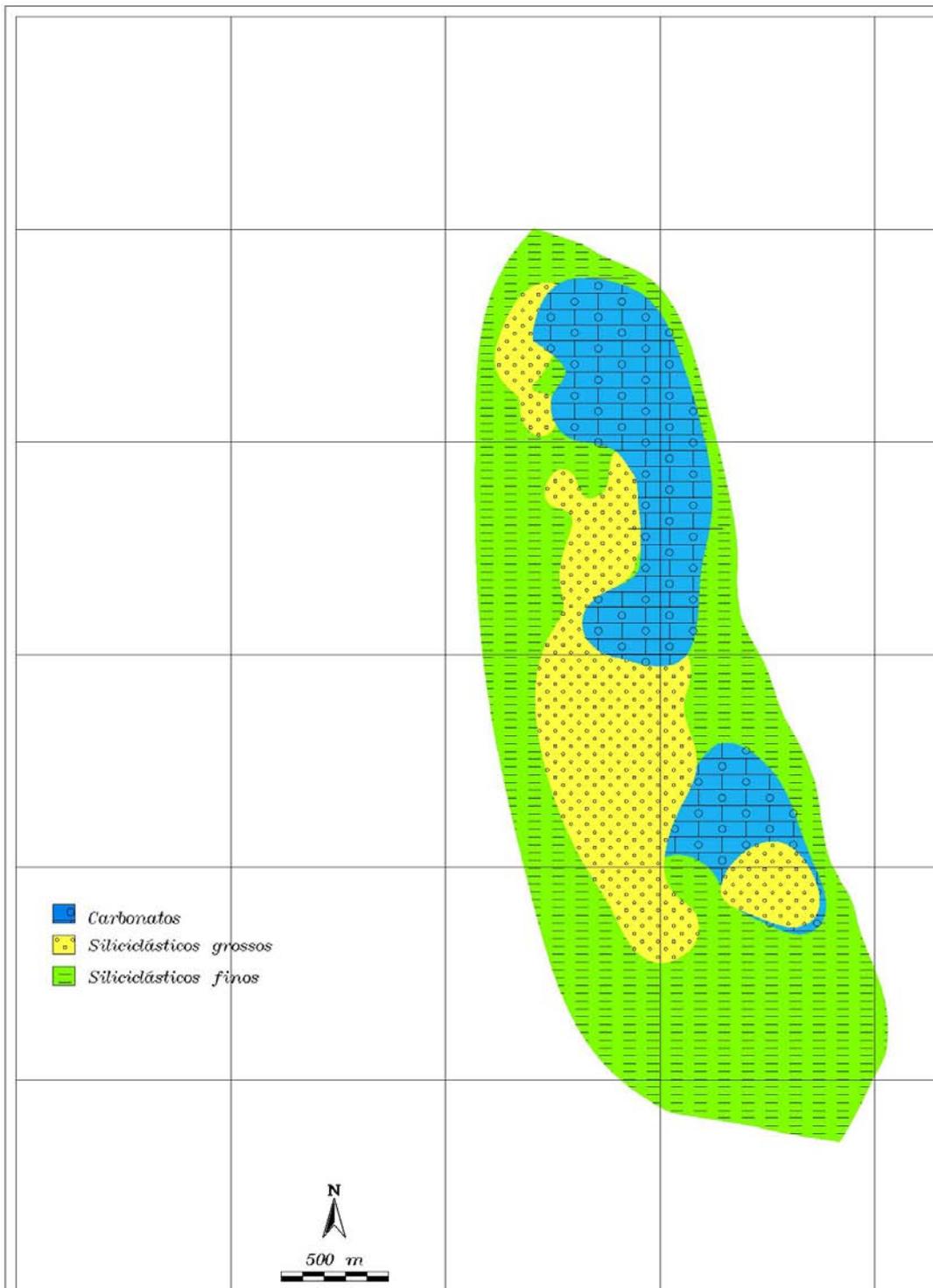


Figura 44 – Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade I

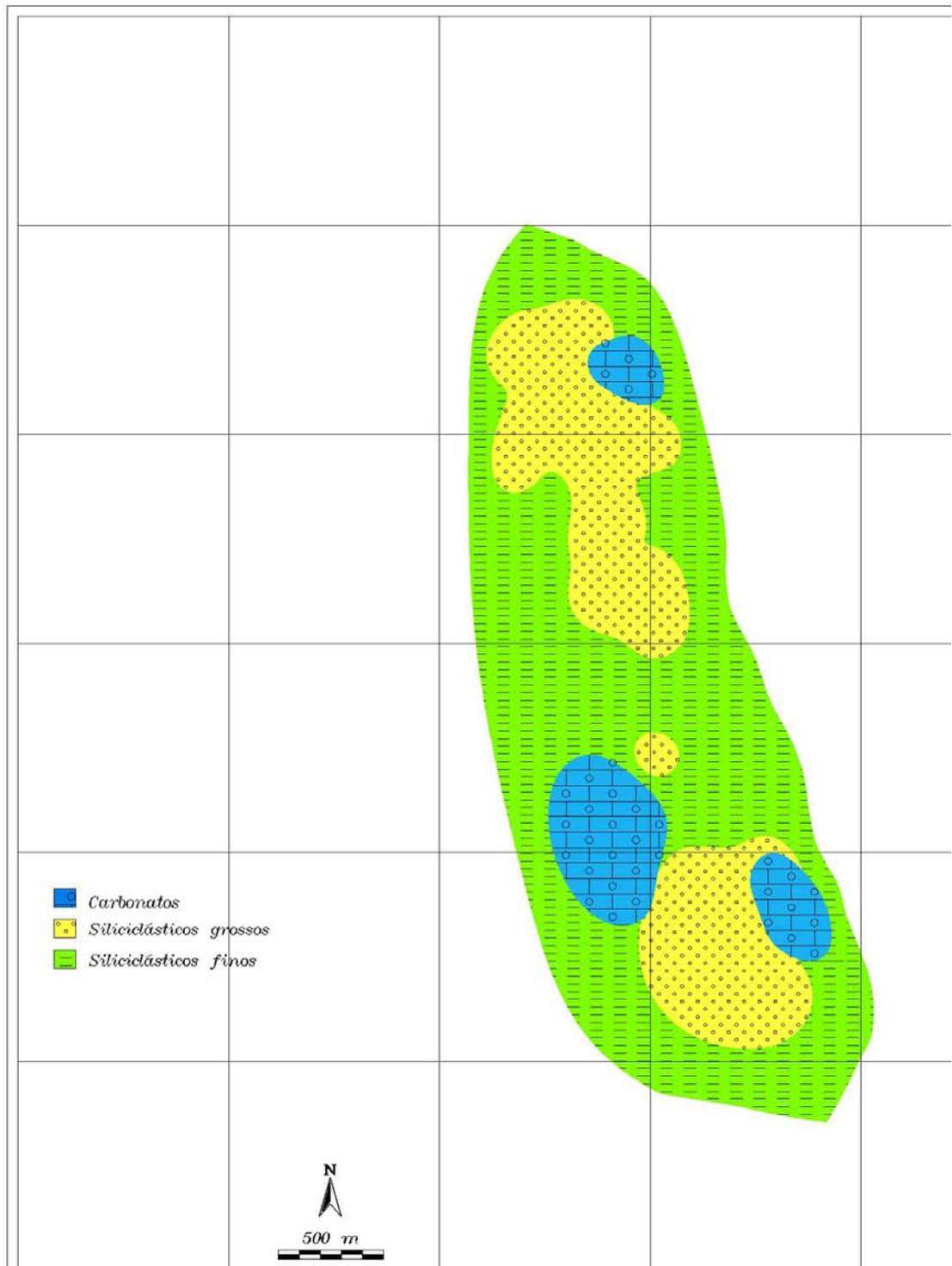


Figura 45 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grosso, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade II.



Figura 46 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grossos, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade III.



Figura 47 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grosso, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade IV.

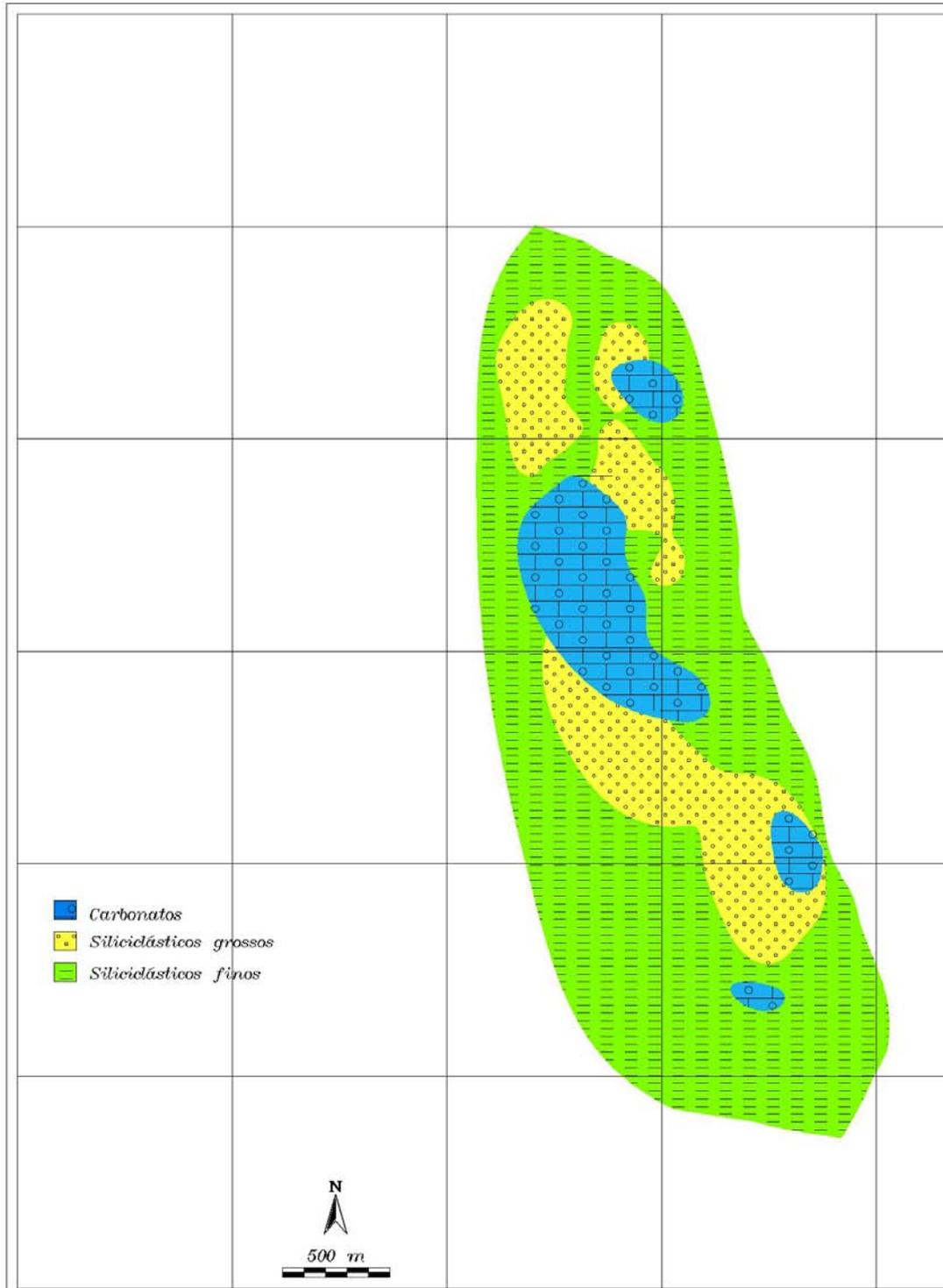


Figura 48 - Mapa da disposição de Siliciclástico Grosso, Carbonatos e Siliciclásticos Finos da Unidade V.

9. Modelo Depositional

A. Trabalhos Anteriores

Tagliari e Tagliari et al. (1993; 1996; 2012; 2013) definem a porção siliciclástica como fluvial (incluindo vales incisos), transicionais e marinho raso; enquanto as rochas carbonáticas são de plataforma marinha rasa. A variação relativa do nível eustático, com os sucessivos avanços e recuos dos sedimentos fluviais, com a incisão de vales, seria responsável pela intensa intercalação entre siliciclásticos e carbonatos.

Bento Freire & Cordeiro (2009) colocam como o aporte sedimentar formando deltas que dominavam toda a porção proximal da plataforma. Esse aporte era diretamente influenciado pela atividade tectônica salífera, pois o substrato era levemente inclinado em direção ao centro regional da bacia, gerando pequenos depocentros associados às falhas. Aliado à morfologia de rampa da plataforma e a lâmina d'água rasa, o aporte sedimentar oriundo do continente aumentava, e passavam a preencher sintectonicamente os depocentros N-S gerados pelas falhas lístricas. As fácies mais grossas seriam encontradas nas frentes deltaicas, enquanto as mais finas constituíram o pro-delta, sendo retrabalhadas pelas correntes costeiras. Os carbonatos seriam depositados em períodos de menor atividade tectônica, quando o nível relativo do mar avançaria em direção ao continente. Isso geraria um recuo do sistema deltaico e provocaria uma diminuição no aporte de siliciclásticos para o interior da plataforma. Tais condições, aliadas à lâmina d'água não muito profunda, promoveriam o desenvolvimento abundante da fábrica carbonática, propiciando o desenvolvimento dos carbonatos ao longo de toda a área, recobrando as barras deltáicas que se encontrariam recuadas em direção ao depocentro das falhas mais próximas ao continente.

Segundo UFRGS (2012), o fato de termos uma sequência com muitas rochas maciças, mudança constante dos componentes primários, praticamente a não existência de carbonatos in situ (todos com algum retrabalhamento), ausência de feições de retrabalhamento nas rochas siliciclásticas (grãos angulosos e mal selecionados, abundância de feldspatos, micas e minerais

pesados) compactuam para definir o modelo deposicional de fluxos gravitacionais. Este modelo interpreta todos os depósitos da sucessão estudada como produto da re-sedimentação por fluxos gravitacionais subaquosos de sedimentos siliciclásticos aluviais, depósitos carbonáticos marinhos de água rasa, e sedimentos híbridos gerados pela mistura em água rasa desses dois tipos. O retrabalhamento que afetou os depósitos carbonáticos e híbridos, evidenciado pela conspícua abrasão dos envelopes dos oncolitos e de rodolitos, bem como pela comum ocorrência de intraclastos de cianobactérias, teria ocorrido pela ação de ondas e correntes ainda em água rasa, antes da re-deposição gravitacional em um ambiente mais profundo. Este sítio de re-deposição gravitacional seria uma calha tectônica gerada pelos falhamentos lístricos situados a oeste das acumulações.

UFRGS (2012) ainda aponta a existência de intensa bioturbação, laminações/laminações unidirecionais e, por vezes, oscilatória, como pontos que vão contra o sistema de fluxos gravitacionais. Como outra opção, coloca um sistema de shoreface bioturbado siliciclástico/híbrido, com depósitos gravitacionais carbonáticos subordinados. Este modelo representa uma rampa mista dominada por ondas, com suprimento de sedimentos siliciclásticos provindos do oeste e de carbonáticos do leste, existindo uma zona de mistura entre estas duas fontes, caracterizada por sedimentos híbridos. Mount (1984) determina quatro tipos de processos de mistura de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos que podem gerar depósitos mistos: mistura pontual, mistura de fácies, mistura "in situ" e mistura na área fonte. No modelo proposto, o processo dominante parece ser o de mistura pontual. Neste caso, tempestades e/ou outros eventos episódicos, como a movimentação dos sais Aptianos que se encontram abaixo do intervalo de estudo (Tagliari, 1993), podem ter transferindo os sedimentos carbonáticos dos shoals localizados a leste para a porção marinha rasa (shoreface) dominada por sedimentos siliciclásticos.

B. Modelo Depositional

Sistemas mistos siliciclásticos-carbonáticos costumam exibir complexos padrões de empilhamento e sedimentação, já que variações do nível do mar, mudanças de área fonte, clima e tectônica (afetando tanto a área fonte como a bacia) controlam diretamente a deposição desses sedimentos.

A região estudada sempre foi alvo de discussões, com diferentes interpretações de modelos deposicionais, citados no item anterior. Diversas evidências, assinaladas a seguir, apontam para um sistema de redeposição dos sedimentos, por fluxos gravitacionais, gerando os complexos depósitos estudados. Na tabela a seguir são apresentados aspectos esperados para cada ambiente deposicional utilizado em trabalhos anteriores.

Fatores como a intercalação das diferentes fácies em alta frequência em escala centimétrica, ausência de rocha carbonática *in situ*, assim como de cimentação precoce dos carbonatos, sedimentos siliciclásticos imaturos e sem retrabalhamento e o predomínio de estrutura maciça nas rochas da área reforçam a interpretação de fluxos gravitacionais.

Diversos trabalhos de sistemas mistos, em especial nos Alpes e Apeninos, elencam fatores similares para definir esse mesmo tipo de ambiente na mistura de siliciclásticos e carbonatos.

Apesar disso, fatores como intensa bioturbação, tipo de icnofósseis, tipos de palinórfos existentes ao longo de toda a sucessão estudada, apontam para ambientes marinhos rasos. Isto indica que os fluxos gravitacionais aconteceram em águas relativamente rasas, não correspondendo aos modelos turbidíticos clássicos de água profunda.

Tabela 5 – Tabela com Rochas, Processos, Empilhamento e Arquitetura esperado em sistemas mistos carbonáticos-siliciclásticos.

Ambiente Depositional	Empilhamento/Arquitetura	Rochas	Processos/Localização de Mistura
Fluvial	Progradacional ou Retrogradacional, com canais cortando a fábrica carbonática. Presença de paleo-solos. Clara definição de porção siliciclástica e porção carbonática	Arenitos estratificados a maciços intercalados com pelitos, ausentes de grãos carbonáticos (marinhos). Grainstones “ <i>in situ</i> ” comuns, definição da fábrica carbonática. Indícios de exposição subaérea tanto nos siliciclásticos como nos carbonatos.	Pontual, em região próxima da desembocadura do rio.
Deltaico	Progradacional, com canais cortando a fábrica carbonática (planície deltaica) e definição clara de domínio siliciclástico e carbonático. Ciclos seriam “coroados” com depósitos siliciclásticos (canais, paleossolos).	Arenitos predominantemente estratificados, bioturbados com raros grãos carbonáticos. Grainstones “ <i>in situ</i> ” comuns, apresentando cimentação precoce por exposição subaérea.	Ocorreriam em sua maior parte na Frente Deltaica.

Ambiente Depositional	Empilhamento/Arquitetura	Rochas	Processos/Localização de Mistura
Shoreface	Progradacional ou Retrogradacional, aparecendo cordões litorâneos de zona de mistura. Predomínio de siliciclásticos em direção ao continente e carbonato na direção oposta	Arenitos predominantemente estratificados, bioturbados com rara presença de grãos carbonáticos. Grainstones “ <i>in situ</i> ” comuns, apresentando cimentação precoce por exposição subaérea.	As ondas seriam responsáveis pela maior parte da mistura, restringindo a ocorrência à zona de ação das mesmas.
Fluxos Gravitacionais	Progradacional ou Retrogradacional, com geometria de lobos tanto para siliciclásticos como para carbonatos. Depósitos espacialmente coincidentes.	Arenitos predominantemente maciços com constante presença de grãos carbonáticos e intraclastos. Raros a ausentes grainstones “ <i>in situ</i> ”, ausência de cimentação precoce nos carbonatos, com difícil distinção da fábrica carbonática.	Além da mistura gerada próxima da fábrica carbonática, fluxos gravitacionais transportariam grãos carbonáticos e siliciclásticos conjuntamente.

Além desses fatores, a porção médio inferior da Formação São Mateus possui pequena amostragem na região analisada. Nessa porção que se encontra a associação de fácies descrita com base erosiva e granodecrescente ascendente. Dentro do contexto de fluxos gravitacionais, podemos atribuir a essa sequência um canal confinado de corrente de turbidez.

Pode se também atribuir esse tipo de associação tanto a um eixo de canal fluvial como a canais subaquosos hiperpicnais o que pode indicar que o contexto nesse trecho era mais proximal, com depósitos flúvio-deltaicos em meio a plataforma carbonática. Os dados de palinologia de Botelho Neto (1996), que mostram a subida do nível do mar desde a base até o topo da Formação São Mateus, dão suporte a essa interpretação.

Devido esses fatores não se descarta os ambientes citados anteriormente (*shoreface* ou deltaico), mas as atuais evidências levam a proposição da redeposição dos sedimentos por fluxos gravitacionais

Mesmo sendo incomum, a intensa bioturbação pode ocorrer em depósitos de fluxos gravitacionais, com condições de lamina d'água "rasa". Trabalhos apresentados por D'Alessandro et al (1986); Salimullah & Stow (1995) e Heard et al (2008) mostram a ocorrência de bioturbação intensa em sequências turbidíticas.

Além disso, a existência de falhamentos lístricos ocasiona a formação de relevo propício para o desenvolvimento de fluxos gravitacionais, carregando os sedimentos continentais e costeiros depositados próximos a borda da falha.

Mullins (1983), Droxler & Schlager (1985), Yose & Heller (1989), e Dolan (1989) mostram a importância do controle do nível do mar na deposição de carbonatos e consequente formação de fluxos gravitacionais carbonáticos. Níveis de mar alto propiciam o aumento de fluxos gravitacionais carbonáticos, já que a plataforma "afogada" favorece o crescimento da fábrica carbonática (figura 22). Nos períodos de mar baixo a exposição de parte da plataforma prejudica a fábrica carbonática.

Durante períodos de mar baixo, em contrapartida, nota-se o aumento da frequência de fluxos gravitacionais siliciclásticos (Vail, 1977; Shanmugam, G.&

Moiola, R.J. 1982; 1984), já que o sistema continental consegue avançar, atravessando a plataforma, e ficar mais próximo da porção mais inclinada do substrato, afetada pela halocinese. No caso do intervalo estudado, a morfologia de talude é causada devido ao falhamento lístrico (figura 21).

A alternância vertical das fácies siliciclásticas, carbonática e híbridas em alta frequência é compatível com sistemas turbidíticos, abastecidos a partir de fontes diversas controlado por eventos tectônicos, climáticos, e por variações eustáticas. Diversos exemplos foram citados em capítulos anteriores, destacando os estudos da Formação Marnoso-Arenaceo (Gandolfi et al, 1983; Zuffa, 1991); Grupo Hecho (Fontana et al, 1989; Caja et al, 2010); Formação Keeler Canyon ((Yose & Heller, 1989; Dolan, 1984) e Baja Califórnia (Dorsey & Kidwell, 1999).

A contínua intercalação das rochas na sucessão vertical, o predomínio de estrutura maciça com escassez de estruturas oscilatórias, o predomínio de grãos imaturos, rochas carbonáticas compostas por grãos retrabalhados, induzem a logo se pensar em um modelo deposicional com processos predominantemente de fluxos gravitacionais.

Além disso, não se observa cimentação carbonática precoce, não existe retrabalhamento nos siliciclásticos e a distribuição caótica vertical de arenitos, arenitos híbridos e carbonatos reforçam essa interpretação.

O abastecimento desses eventos pode estar ligado diretamente a costa como a uma direção axial, perpendicular a direção do falhamento lístrico que estrutura a área estudada.

Mesmo com esses fatores, distinguiu-se uma sequência, com o auxílio de perfis elétricos, definida como 4ª ordem, que discutiremos com mais detalhes no capítulo seguinte. A grosso modo, ela inicia-se com siliciclásticos, vai passando a siliciclásticos finos, a híbridos, chegando até os carbonatos.

Estudos paleontológicos, em especial de palinologia e de icnofósseis, poderiam auxiliar a definir melhor a batimetria e outros aspectos paleoambientais na definição do sistema deposicional do intervalo analisado.

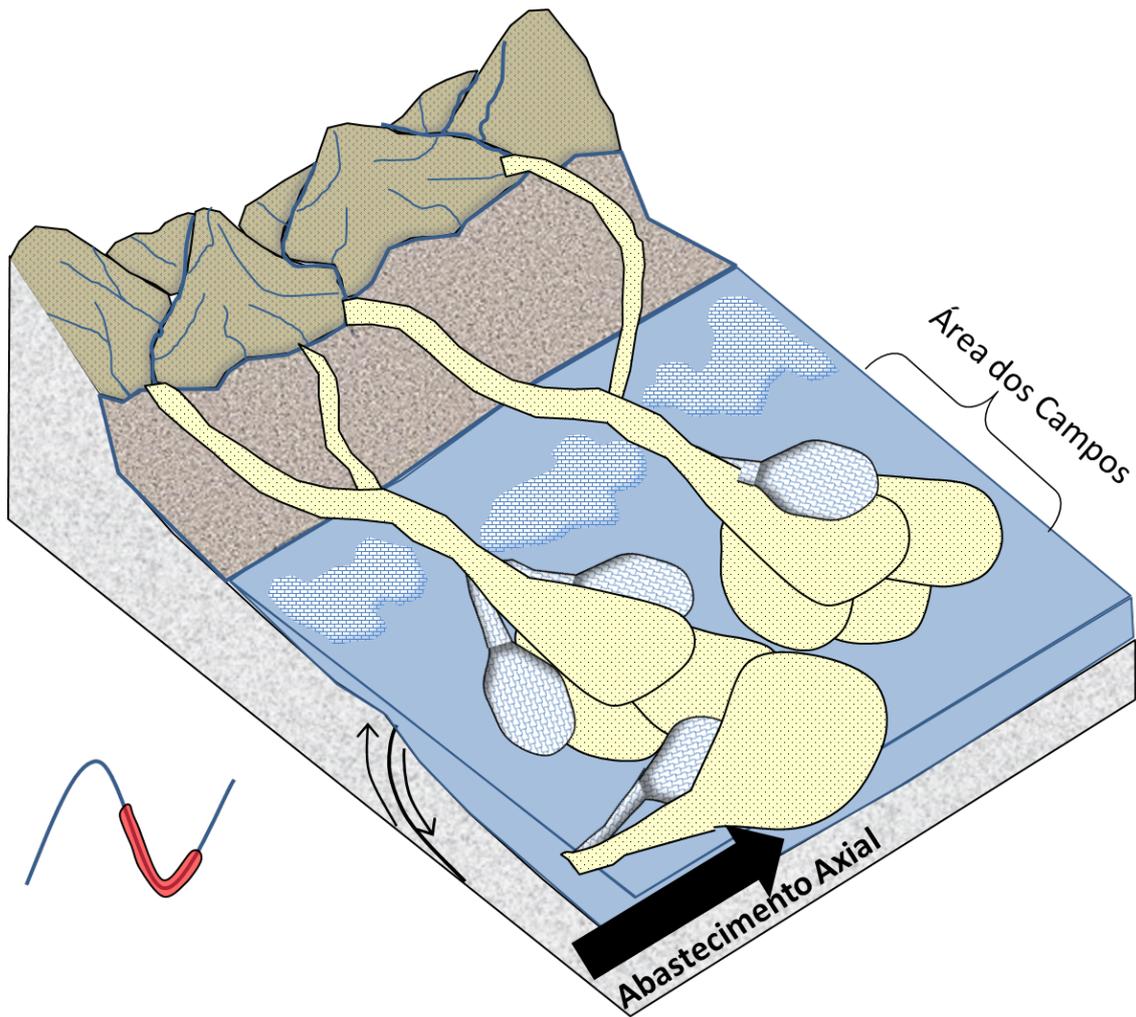


Figura 49 – Sistema Depositional da Área Estudada durante o período de Nível de Mar Baixo.

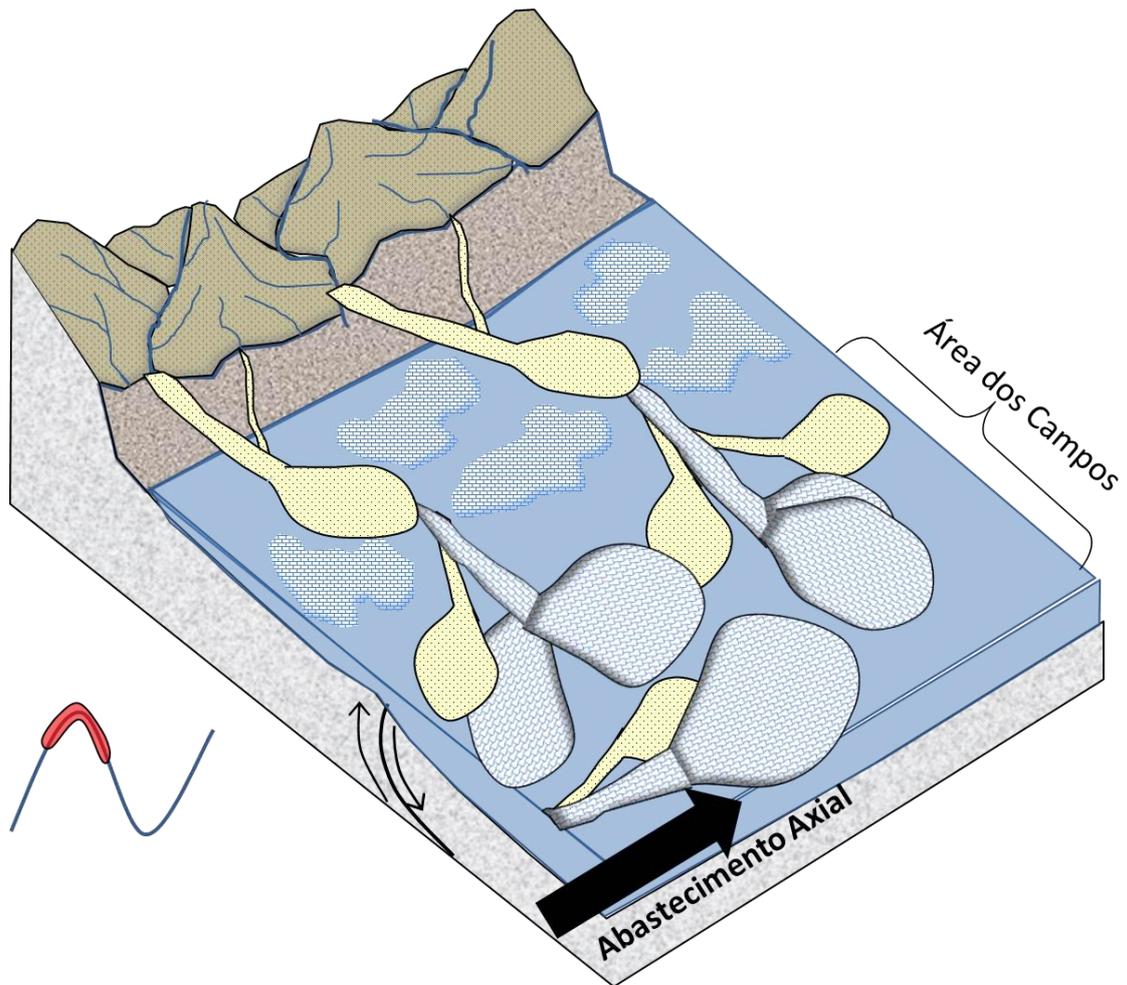


Figura 50 – Sistema Depositional da Área Estudada durante o período de Nível de Mar Alto.

10. Conclusões e Recomendações

A descrição petrográfica se mostrou essencial para embasar a descrição macroscópica dos testemunhos, podendo identificar fatores não perceptíveis em uma escala menor.

A complexa intercalação vertical e horizontal entre rochas carbonáticas, híbridas e siliciclásticas indica rápidas e contínuas mudanças no suprimento sedimentar. A difícil distinção de um padrão e a distribuição caótica das rochas confirmam a constante mudança de áreas-fonte e o dinamismo do sistema deposicional.

Os grãos siliciclásticos são predominantemente angulosos e ricos em feldspatos, granadas e minerais pesados, derivados de depósitos aluviais de primeiro ciclo, com rápido transporte e rápida deposição.

A ocorrência comum de grãos fraturados, sem que as fraturas cortem a rocha, mostra que a tectônica era ativa durante a deposição dos sedimentos.

Os depósitos mais finos não possuem fração argila, e são compostas por siltitos, pelitos carbonosos e arenitos muito finos a finos ricos em biotita. São fácies predominantemente com laminação plano-paralela.

Os grãos carbonáticos se encontram em sua imensa maioria retrabalhados, apresentando abrasão dos envelopes de oncolitos. A presença constante desses grãos carbonáticos, inclusive nas rochas siliciclásticas, indica que as fábricas carbonáticas de água rasa estavam atuantes durante todo o período deposicional da seção analisada. Não se nota cimentação precoce dos carbonatos, uma ocorrência comum nesse tipo de rocha

Os arenitos híbridos são quase sempre bimodais, com grãos carbonáticos mais grossos que os grãos siliciclásticos. Quanto maior o número de grãos carbonáticos, maior a compactação química e conseqüentemente maior a cimentação.

Estruturas maciças predominam tanto nas rochas carbonáticas, como nas siliciclásticas e nas híbridas ao longo da seção estudada. Também é fato que a bioturbação ocorre ao longo de todas as sequências. Apenas os intervalos “mais finos” (siliciclásticos e híbridos) apresentam sistematicamente laminação/laminação plano-paralela.

É comum a intercalação caótica de rochas híbridas ou mesmo carbonáticas em meio às sequencias siliciclásticas. Isso também vale para siliciclásticos e híbridos em meio às sequencias carbonáticas ou a carbonatos e siliciclásticos em meio às sequencias de arenitos híbridos.

Na tabela anexo 1 são apresentados diversos casos de mistura siliciclásticos carbonáticos. Fluxos gravitacionais são eventos comuns responsáveis pela mistura de carbonatos e siliciclásticos. Nota-se que nas sequencias que tivemos mistura e que os carbonatos são retrabalhados e redepositados (alodápicos, sensu Dolan, 1989), o processo dominante é de fluxo gravitacional. Em outros sistemas deposicionais dificilmente observa-se constante retrabalhamento e redeposição dos grãos carbonáticos.

Fatores como a re-re-sedimentação dos grãos carbonáticos, a intercalação caótica de toda sessão com o domínio de rochas maciças apontam para uma deposição sob sistema de fluxos gravitacionais. Apesar disso, não se descarta outro ambiente, principalmente devido a intensa bioturbação e a geologia regional, que aponta agua relativamente rasa para a área.

A utilização de tomografia nos testemunhos existentes seria interessante para verificar se as fácies maciças são originalmente assim ou se a intensa bioturbação e/ou afetou de tal maneira a impossibilitar a visualização de laminações na rocha.

Também seria importante a aquisição de novos dados (testemunhos), em especial na porção intermediária da Formação São Mateus, na região norte da área estudada, analisando o comportamento das fácies em situação teoricamente mais proximal.

11. Bibliografia

AZEVEDO, R.L.M.de (2004). Paleoceanografia e a Evolução do Atlântico Sul no Albiano. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Vol. 12, nº 2, p. 231-249.

BEGGIATO, L.D.; BENTO FREIRE, E.; COSMO, C.A.; CORDEIRO, D.D.; ALMEIDA, E.J.B.; CABRAL E SILVA, R.R.; NOVAIS, L.C.C. (2010). Análise dos Resultados do adensamento de malha nos campos de Fazenda São Rafael e Fazenda Santa Luzia – resultados e perspectivas da aplicação da estratigrafia de sequencias em campos maduros. In: 2º Seminário de Geologia de Reservatórios (seminário interno). Relatório Interno Petrobrás. Aracaju-SE.

BENTO FREIRE, E.; CORDEIRO, D.D. (2009). Gerenciamento da Produção no Campo de Fazenda Santa Luzia por Meio das Técnicas da Estratigrafia de Alta Resolução e Perfis de Saturação: Um Caso para Estudo. Relatório Interno Petrobrás. Vitória-ES.

BOTELHO NETO, J. (1996). Porção Norte da Plataforma de Regência – Bacia do Espírito Santo: Caracterização Palinoestratigráfica e Evolução Paleambiental. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro-RJ.

CATUNEANU, O. (2006). Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, Amsterdam, v.1, 375 p.

CAVAZZA, W. AND G. GANDOLFI. (1992). Diagenetic processes along a basin-wide marker bed as function of burial depth: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 62, p. 261-272.

COFFEY, B.P.; READ, J.F. (2004). Mixed carbonate-siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, southeastern USA. *Sedimentary Geology*, Vol 166, p. 21-57.

D'ALESSANDRO, A.; EKDALE, A.A.; SONNINO, M. (1986). Sedimentologic Significance of Turbidite Ichnofacies in the Saraceno Formation

(Eocene), Southern Italy. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 56, no. 2, p. 294-306.

DE ROS, L.F.; ALVARENGA, R.; ARMELENTI, G.; GOLDBERG, K.; KUCHLE, J.; SCHERER, C.M.; MARTINI, M.; BEGGIATO, L.D. (2012) Complex Mixed Carbonate-Siliciclastic Albian Reservoirs from the Espírito Santo Basin, Eastern Brazil. In: AAPG Annual Convention and Exhibition. Long Beach, USA

DEL REY, A.C. (1995). Avaliação Quantitativa de Perfis – Fazenda Santa Luzia. Relatório Interno Petrobras. São Mateus-ES.

DEL REY, A.C. (2006). Simulação Física de Processos Gravitacionais Subaquosos: uma aproximação para o entendimento da sedimentação marinha profunda. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre-RS.

DOLAN, J.F. (1989). Eustatic and Tectonics Controls on Depositional of Hybrid Siliciclastic/Carbonate Basinal Cycles: Discussion with Examples. *AAPG Bulletin*, Vol 73, No 10, p. 1233-1246.

DORSEY, R.J.; KIDWELL, S.M. (1999). Mixed Carbonate-Siliciclastic Sedimentation on a Tectonically active margin: Example from the Pliocene of Baja California Sur, Mexico. *Geology*, Vol. 27, p. 935-938.

DORSEY, R.J.; UMHOEFER, P.J. (2000). Tectonic and Eustatic Controls on Sequence Stratigraphy of the Pliocene Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, Vol 112, No 2, p. 177-199.

DROXLER, A.W.; SCHLAGER, W. (1985). Glacial Versus Interglacial Sedimentation Rates and Turbidites Frequency in the Bahamas. *Geology*, Vol 13, p. 799-802.

FALCONE, C.M.O. (2006). Sedimentação Mista Carbonato-Siliciclástica Durante o Albo-aptiano na Porção Emersa da Bacia Sergipe-Alagoas. Tese de Doutorado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo-RS.

FONTANA, D.; E. SPADAFORA. (1994) The Miocene Bismantova Formation in the Vetto -Carpinetti syncline (Parma - Reggio Emilia Apennines): evolution of sediment provenance. *Giornale di Geologia*, v. 56, p. 119-132.

FONTANA, D., G. G. ZUFFA AND E. GARZANTI. (1989). The interaction of eustacy and tectonism from provenance studies of the Eocene Hecho Group Turbidite Complex (Eocene-Central Pyrenees, Spain). *Basin Research*, v. 2, p. 223-237.

FRANÇA, R.L.; DEL REY, A.C.; TAGLIARI, C.V.; BRANDÃO, J.R.; FONTANELLI, P.R. (2007). Bacia do Espírito Santo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Vol. 15, p. 501-510.

GANDOLFI, G., L. PAGANELLI AND G. G. ZUFFA, (1983). Petrology and dispersal pattern in the Marnoso-Arenacea Formation (Miocene, northern Apennines). *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 53, p. 493-507.

GARCIA-GARCIA, F.; SORIA, J.M; VISERAS; FERNANDEZ, J. (2009). High-Frequency Rhythmicity in a Mixed Siliciclastic-Carbonate Shelf (Late Miocene, Guadix Basin, Spain): A Model of Interplay Between Climatic Oscillations, Subsidence, and Sediment Dispersal. *Journal of Sedimentary Research*, Vol 79, p. 302-315.

HEARD, T.G.; PICKERING, K.T.; ROBINSON, S.A. (2008). Milankovitch forcing of Bioturbation Intensity in Deep-Marine Thin-Bedded Siliciclastic Turbidites. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 272 p. 130–138.

HEINERICI, J.; TIBANA, P.; WINTER, W.R. (1983). Evolução tectono-sedimentar da Plataforma de Regência – Bacia do Espírito Santo. Relatório Interno Petrobras.

MAKOWITZ, A. MILLIKEN, K. L. (2003). Quantification of brittle deformation in burial compaction, Frio and Mount Simon Formation sandstones. *Journal of Sedimentary Research*, v. 73, no. 6, p. 1007–1021.

MARTINI, M. (2010). Controles Depositionais sobre a Composição Primária, Padrões Diagenéticos e Porosidade dos Depósitos Mistos Siliciclásticos-Carbonáticos dos Campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda

São Rafael, Bacia do Espírito Santo. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre-RS.

MIDDLETON, G.V.; HAMPTON, M.A. (1973) Sediment Gravity Flows: Mechanics of Flow and Deposition. In: Middleton, G.V.; BOUMA, A.H. (Eds), Turbidites and Deep Water Sedimentation. Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles-EUA, pp. 1-38.

MOUNT, J.F. (1984). Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments. *Geology*, v. 12, p. 432-435.

MULLINS, H.T. (1983). Comments and Reply on "Eustatic control of Turbidites and winnowed turbidites" *Geology*, v.11, p. 57-58.

NOVAIS, L.C.C. (2005). Lineamento Transversais nas Porções Centro e Norte da Bacia do Espírito Santo e na Faixa Proterozóica Adjacente: Influência na Sedimentação e na Compartimentação Estrutural. Dissertação de Mestrado apresentada a UERJ, Rio de Janeiro-RJ.

OLIVITO, J.P.R.; KAHWAGE, M.A. (2012). Relatório de Modelagem Geológica 3D da porção central do Campo de Fazenda São Rafael. Relatório Interno Petrobrás. Vitória-ES.

SALIMULLAH, A.R.M.; STOW, D.A.V. (1995). Ichnofacies Recognition in Turbidites/Hemiturbidites Using Enhanced FMS Images: Examples from ODP Leg 129. *The Log Analyst*, Vol 36, No 4.

SHANMUGAM, G.; MOIOLA, R.J. (1982). Eustatic control of turbidites and winnowed turbidites. *Geology*, Vol. 10; pp 231-235.

SHANMUGAM, G.; MOIOLA, R.J. (1984). Eustatic control of Calciclastic Turbidites. *Marine Geology*, Vol. 56, p. 273-278.

SPADAFORA, E., L. F. DE ROS, S. MORAD, G. G. ZUFFA AND I. S. AL-AASM..(1998). Diagenetic evolution of synorogenic hybrid and lithic arenites (Miocene), northern Apennines, Italy. In: Carbonate Cementation in Sandstones. Ed. MORAD, S. IAS Special Publication 26, p. 241-260.

SUNDE, R.F.; COFFEY, B.P.(2009). Lithology-Based, Sequence Stratigraphic Framework of the Mixed Siliciclastic-Carbonate Lower Cretaceous Sediments, Atlantic Coastal Plain, Eastern United States. *Frontiers + Innovation, CSPG CSEG CWLS Convention*, Calgary, Canada.

TAGLIARI, C.V. (1993). Evolução das Sequências Mistas (Siliciclásticas e Carbonáticas) sob a influência da Halocinese Durante o Albo-aptiano na Plataforma de Regência, Bacia do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 101p. Porto Alegre-RS.

TAGLIARI, C.V.; COSMO, C.A.; PEREIRA FILHO, J.S.; BRANDÃO, J.R.; DEL REY, A.C.; BOMFIM, R.A.G. (1996). Campo de Fazenda Santa Luzia: Exemplo de Acumulação na Sequência Albiana, Bacia do Espírito Santo. Relatório Interno Petrobras. São Mateus-ES.

TAGLIARI, C.V., CUNHA, A.A.S., PAIM, P.S. (2012). Orbital-driven cyclicity and the role of halokinesis on accommodation within siliciclastic to carbonate, shallow-water albian deposits in the Espírito Santo Basin (southeastern Brazil). *Cretaceous Research*, Vol.35, p. 22-32.

TAGLIARI, C.V.; FONTANELLI, P.R.; BRANDÃO, J.R.; PAIM, P.S.G. (no prelo) Evolução geológica das sequências mistas (siliciclásticas e carbonáticas) sob influência da tectônica que envolve o embasamento e da halocinese durante o Albiano - Plataforma de Regência – Bacia do Espírito Santo. *Boletim de Geociências da Petrobras*.

TESTA, V., BOSENCE, D.W.J. (1998) Carbonate-Siliciclastic Sedimentation on High-Energy, Ocean Facing, Tropical Ramp, NE Brazil. In: Carbonate Ramps. Ed. Wright, V.P & Burchette, T.P. *Geological Society, Special Publications*. Londres, Inglaterra.

UFRGS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.(2012). Caracterização e Modelagem Estratigráfica-Petrológica Integrada dos Sistemas Mistos Siliciclásticos-Carbonáticos dos Campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo. DE ROS, L.F. (Coordenação). Projeto de Pesquisa financiado pela Petrobras. Porto Alegre-RS.

VAIL, P. R., MITCHUM, R. M., JR., AND THOMPSON, S. (1977). III, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: Global cycles of relative changes of sea level, in Payton, C. E., ed., Seismic stratigraphy—Applications to hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir 26*, p. 83-97.

VIEIRA, R.A.B; COSTA, L.A.R.; ALVES, R.G. (1992) Bacias do Espírito Santo e Mucuri: Estudo Geológico e Análise Exploratória das Porções Onshore e Nearshore. Petrobras/Relatório Interno. São Mateus-ES.

VIEIRA, R.A.B. (1998). Análise Estratigráfica e Evolução Paleogeográfica da Seção Neoptiana na Porção Sul da Plataforma de São Mateus, Bacia do Espírito Santo, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre-RS.

VITAL, H.; GOMES, M.P.; TABOSA, W.F.; FRAZÃO, E.P.; SANTOS, C.L.A.; PLÁCIDO JUNIOR, J.S. (2010). Characterization of the Brazilian Continental Shelf Adjacent to Rio Grande do Norte State, NE, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, Vol 58, p. 43-54.

WITSCHARD, M.; DOLAN, J.F. (1990). Contrasting structural styles in siliciclastic and carbonate rocks of an offscraped sequence: The Peralta accretionary prism, Hispaniola. *Geological Society of America Bulletin*, Vol 102, p. 792-806.

YOSE, L.A.; HELLER, P.L. (1989). Sea-level control of mixed-carbonate-siliciclastic, gravity-flow deposition: Lower part of the Keeler Canyon Formation (Pennsylvanian), southeastern California. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 101, p. 427-439.

ZUFFA, G.G. (1980). Hybrid Arenites: Their Composition and Classification. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol 50 No 1.

ZUFFA, G.G. (1985). Optical Analyses of Arenites: Influence of Methodology on Compositional Results. *In*: Zuffa, G.G. Provenance of Arenites.

ZUFFA, G.G. (1991). On the use of Turbidite Arenites in Provenance Studies: Critical Remarks. In: Developments in Sedimentary Provenance Studies Ed. Morton, A.C.; Todd, S.P.; Haughton, P.D.W. Geological Society Special Publications, Vol. 57, p. 23-29. Londres, Inglaterra.