



**ESTRATIGRAFIA EM ALTA RESOLUÇÃO APLICADA A CALCÁRIOS
MICROBIAIS: EXEMPLO DA FORMAÇÃO SALITRE, SUPERGRUPO SÃO
FRANCISCO - BA**

Porto Alegre, 2014

ANA PAULA SPOHR

**ESTRATIGRAFIA EM ALTA RESOLUÇÃO APLICADA A CALCÁRIOS
MICROBIAIS: EXEMPLO DA FORMAÇÃO SALITRE, SUPERGRUPO SÃO
FRANCISCO - BA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer

Supervisora: Ma. Ana Virgínia Alves de Santana

Porto Alegre, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Spohr, Ana Paula

Estratigrafia em alta resolução aplicada a calcários microbiais: exemplo da Formação Salitre, Supergrupo São Francisco - BA . / Ana Paula Spohr. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.
[106 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer
Coorientador(es): Ma. Ana Virgínia Alves de Santana

1. Formação Salitre 2. Calcários microbiais 3. Estratigrafia em alta resolução 4. Neoproterozoico I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila Francine T. Binotto 10/1743 CRB

Verso da folha de rosto contendo a ficha
catalográfica da monografia, de acordo com as normas da
Biblioteca do IGEO-UFRGS.

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“ESTRATIGRAFIA EM ALTA RESOLUÇÃO APLICADA A CALCÁRIOS MICROBIAIS: EXEMPLO DA FORMAÇÃO SALITRE, SUPERGRUPO SÃO FRANCISCO - BA”**, elaborado por **“ANA PAULA SPOHR”** como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Juliano Kühle

Dr. Anderson José Maraschin

MSc. Eduardo Premaor

AGRADECIMENTOS

Mais uma fase da minha vida está chegando ao final e muitas pessoas tornaram a caminhada até aqui mais especial...

Aninha minha baiana preferida! Obrigada pelo conhecimento geológico e da vida compartilhados comigo, pela orientação e ajuda no trabalho de conclusão, por proporcionar experiências de campo incríveis e me apresentar a Chapada Diamantina e sua energia inexplicável, pela amizade e alegria contagiante. Enfim, por todos os momentos maravilhosos proporcionados. Levarei pra sempre comigo todas essas lembranças. Agradeço imensamente por ter tido a oportunidade de conviver e aprender contigo.

Claiton muito obrigada por ter me dado a oportunidade de trabalhar contigo, um exemplo de profissional, orientador e professor. Foram dois anos de muito aprendizado e experiências importantes.

Joãozinho, Hugo, Mari e Zazá, obrigada pela ajuda nos trabalhos de campo na Chapada Diamantina. Com certeza o trabalho se tornou mais divertido na companhia de vocês.

Cris, Fabia e Melissa! Muito obrigada por tudo meninas! Eu só tenho a agradecer por essa amizade, por todas as histórias, trabalhos, risadas, campos e festas. Ninguém, nunca, vai conseguir apagar as lembranças maravilhosas que tenho de vocês. Vocês são incríveis!

Camila! Obrigada por essa amizade sincera! Agradeço muito por ter você em minha vida. Você foi uma das pessoas que passei a admirar muito durante o curso e sou grata por nossa amizade ter se fortalecido.

Andreas, Denise, Fran, Jade, Laércio, Mari, Rafael e Raquel! Obrigada pela parceria e amizade de vocês.

Geoformandos 2014/02, foram muitos momentos juntos, dividimos alegrias e frustrações, compartilhamos experiências e aprendizados. Obrigada por tudo! Agradeço a oportunidade de poder dividir com vocês esse momento especial.

Natanael, obrigada pelo apoio e amor incondicional! Você teve papel fundamental para que esse sonho se tornasse realidade. Obrigada por acreditar em mim e me apoiar e incentivar sempre.

À minha família - pai, mãe, irmãs e sobrinhas - obrigada pelo incentivo compreensão e apoio. Vocês, cada uma com seu jeito, me ensinaram e ensinam muita coisa. Tenho um carinho enorme por vocês.

Enfim, quero agradecer a Geologia/UFRGS por me proporcionar experiências fantásticas, enormes aprendizados e amizades incríveis. Tudo que vivi e aprendi aqui permitiram minha formação profissional e um enorme enriquecimento pessoal.

“Não pelos frutos colhidos, mas pelo terreno que preparam e as sementes que lançaram; não pelos ensinamentos recebidos, mas pelas transformações que proporcionaram em minha mente e coração.”

A todos vocês, meu carinho, respeito e GRATIDÃO.

Imagine

Imagine there's no heaven
It's easy if you try
No hell below us
Above us only sky
Imagine all the people
Living for today

Imagine there's no countries
It isn't hard to do
Nothing to kill or die for
And no religion too
Imagine all the people
Living life in peace

You may say
I'm a dreamer
But I'm not the only one
I hope someday you'll join us
And the world will be as one

Imagine no possessions
I wonder if you can
No need for greed or hunger
A brotherhood of man
Imagine all the people
Sharing all the world

You may say
I'm a dreamer
But I'm not the only one
I hope someday you'll join us
And the world will live as one

(John Lennon)

RESUMO

A descoberta de gigantes campos de petróleo (seção “Pré-Sal” das Bacias de Campos e Santos) gerou um aumento na demanda por pesquisas relacionadas a rochas calcárias microbiais (microbialitos). Com isso, levantamentos geológicos aplicando conceitos de estratigrafia de sequência em alta resolução têm sido incentivados, pois permitem uma melhor compreensão da sucessão vertical de fácies e fornecem elementos para entender a geometria e arquitetura de reservatórios, análogos ou similares, constituindo ferramenta poderosa principalmente para a indústria de hidrocarbonetos. O presente estudo teve por objetivo a análise estratigráfica em alta resolução dos depósitos carbonáticos do Neoproterozoico, da base da Formação Salitre, em afloramentos da falésia do rio Preto, município de Palmeiras, região da Chapada Diamantina centro-oriental, Bahia. Os métodos utilizados foram análise estratigráfica, com aquisição de seções verticais e horizontais (fotomosaicos), descrições petrográficas, imageamento por microscopia eletrônica de varredura, análises quimioestratigráficas, utilizando um equipamento de fluorescência de Raios-X portátil, e análise sequencial em alta resolução. A área estudada é constituída predominantemente por fácies bioconstruídas, localizadas principalmente na base das seções, microbialitos estratiformes e maciços, estromatólitos – com morfologia levemente convexa a dômica - e laminito crenulado. Associada aos microbialitos há ocorrência de brecha. No topo dos perfis são descritos laminitos, mudstones, grainstones e rudstones. Estas fácies se organizam em três associações de fácies distintas: (1) associação de fácies de rampa interna - intermaré/inframaré proximal; (2) associação de fácies de rampa interna – inframaré distal; e (3) rampa intermediária, indicando um aprofundamento da lâmina d’água em direção ao topo. Ciclos elementares e ciclos de pequena e média escala foram identificados na base dos perfis, a partir da alternância morfológica dos microbialitos, da sucessão vertical das associações de fácies e da assinatura dos perfis quimioestratigráficos. Estes ciclos formam tendências progradacionais e retrogradacionais e têm espessuras centimétricas a métricas, constituindo assim ciclos de alta frequência, em diferentes escalas. Sugere-se que o principal fator controlador da formação desses ciclos são as variações climáticas.

Palavras-Chave: Formação Salitre, calcários microbiais, estratigrafia em alta resolução.

ABSTRACT

The discovery of giant oil fields (the "pre-salt" areas of Campos and Santos basins) has brought an increase in the demand for research related to microbial limestone (microbialites). Thus, geological surveys by applying sequence stratigraphy concepts at high resolution have been demanded, as they allow a better understanding of the vertical succession of facies and provide feedback to understand the geometry and reservoir architecture, analogous or similar, providing a powerful tool mainly for hydrocarbon industry. This study aimed to carry out a high resolution stratigraphic analysis of Neoproterozoic carbonate deposits, from the base of the Salitre Formation in outcrops near the Preto river, Palmeiras, Chapada Diamantina central-eastern, Bahia, Brazil. The methods used in this study were stratigraphic analysis, with the acquisition of vertical and horizontal sections (photomosaics), petrographic descriptions, imaging by scanning electron microscopy, chemostratigraphy analysis using portable fluorescence X-ray equipment and high resolution sequence analysis. The study area consists predominantly by microbialites, located mainly on the sections' basis: stratiform and massive forms, stromatolites - with slightly convex dome-type morphology - and crenulate laminite. There were occurrence of breccia associated to microbialites. At the top of the profiles, laminite, mudstones, grainstones and rudstones are described. These facies are organized in three distinct facies associations: (1) facies association of inner ramp - intertidal / proximal subtidal; (2) inner ramp facies association - distal subtidal; and (3) middle ramp, indicating a deepening the sea level toward the top. Elementary cycles and small and medium scale cycles were identified on the basis of profiles, from the morphological alternation of microbialites, the vertical succession of facies associations and the signing of chemostratigraphy profiles. These cycles form progradational and retrogradacionais trends and have centimetric to metric thicknesses, thus constituting high-frequency cycles, at different scales. It is suggested that the main factor controlling the formation of these cycles are climate variations.

Keywords: Salitre Formation, Microbial limestone, High resolution stratigraphic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa geológico com a localização da área de estudo. Adaptado de Bizzi *et al.* (2003). 4

Figura 2.2: Imagem aérea ortorretificada da área de estudo com a localização dos pontos com levantamento de dados. *Copyrights* pertencem à empresa Engenharia Mapeamento e Aerolevantamento LTDA (ENGEMAP®). 5

Figura 2.3: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco com a localização da área de estudo. Adaptado de Danderfer (2000). 6

Figura 2.4: Carta cronostratigráfica dos Supergrupos Espinhaço e São Francisco. Adaptada de Guimarães *et al.* (2008). 8

Figura 2.5: Estágios de evolução das coberturas do Proterozoico no Cráton do São Francisco propostos por Dominguez (1993): A) Implantação da Bacia do Espinhaço-São Francisco, durante o episódio de rifteamento ocorrido por volta de 1,7 Ga. B) Soerguimento e exposição subaérea do aulacógeno do Espinhaço. C) Novo episódio de subsidência associado à evolução do aulacógeno do Espinhaço com deposição dos grupos Chapada Diamantina na região da Chapada Diamantina e Serra Geral no Espinhaço Setentrional. D) Um importante abaixamento do nível do mar resultou na exposição subaérea de quase toda a Bacia do Espinhaço, com geração de um grande vale inciso onde se depositou, durante a subsequente subida do mar, a Formação Morro do Chapéu. 11

Figura 2.6: Estágios de evolução das coberturas do Proterozoico no Cráton do São Francisco propostos por Dominguez (1993): A) A glaciação Bebedouro-Macaúbas envolveu praticamente todo o Cráton do São Francisco; B) O fim da glaciação provocou a subida do nível eustático do mar. Esta subida, associada com a expansão da subsidência das bordas para o interior do cráton, relacionada à expansão das margens passivas, resultou na implantação de importantes

plataformas carbonáticas; C) Colisões nas margens do Cráton do São Francisco com geração de cinturões de dobras e empurrões, ao final do Neoproterozoico, resultaram na colocação de cargas sobre a litosfera. A compensação isostática destas cargas deu origem a bacias de antepaís, onde se acumularam sedimentos siliciclásticos.12

Figura 3.1: Coluna estratigráfica proposta para a Formação Salitre (Misi, 1979). Figura adaptada a partir de Misi & Silva (1996).14

Figura 3.2: Coluna estratigráfica da Formação Salitre proposta Bonfim *et al.* (1985).16

Figura 3.3: Ciclos regressivos e transgressivos e a distribuição das unidades/subunidades informais nos diferentes ciclos propostos por Souza *et al.* (1993). O estudo se desenvolveu na base do primeiro ciclo regressivo, na subunidade Nova América Inferior. Figura adaptada a partir de Souza *et al.* (1993).18

Figura 3.4: Resumo das principais características dos grãos aloquímicos. Retirado de Terra *et al.* (2010).22

Figura 3.5: Classificação de rochas carbonáticas segundo Folk (1959, 1962). Extraído e adaptado de Terra *et al.* (2010).23

Figura 3.6: Classificação de rochas carbonáticas segundo Dunham (1962). Retirado de Terra *et al.* (2010).24

Figura 3.7: Classificação de rochas carbonáticas segundo Embry & Klovan (1971). Retirado de Terra *et al.* (2010).25

Figura 3.8: Classificação de rochas carbonáticas sugerida por Terra *et al.* (2010). Retirado de Terra *et al.* (2010).26

Figura 4.1: Esquema exibe a distribuição de estromatólitos holocênicos com diferentes morfologias vistas em planta e perfil (A) e batimetria associada (B). Adaptado de Logan *et al.* (1964).29

Figura 4.2: Modelo de planilha para construção de perfis colunares adotado na pesquisa.31

Figura 4.3: Esquema que apresenta as posições da câmera fotográfica em relação à superfície do afloramento para os casos em que a distorção perspectiva (a) não é existente; (b) resulta da inclinação da câmera para conseguir incluir todo o afloramento para dentro da imagem quando a altura do afloramento é relativamente

grande para a distância da câmera para o afloramento; e (c) é causada pela inclinação da superfície do afloramento. Figura modificada de Wizevich (1991).33

Figura 4.4: Ilustração do analisador portátil de fluorescência por Raios-X (pFRX) modelo Olympus Innov-X Delta com a representação dos principais componentes. Fonte: <http://www.olympus-ims.com/pt/innovx-xrf-xrd/>35

Figura 4.5: Levantamento dos perfis quimioestratigráficos com o equipamento de FRX portátil.35

Figura 4.6: Exemplo de correlação para o elemento Mn. O fator de correlação é obtido com o uso de regressão linear simples entre o valor medido na amostra padrão *versus* valor da amostra padrão certificado pelo National Institute of Standards and Technology (Mackey *et al.*, 2010).37

Figura 4.7: Roteiro de descrição das lâminas.38

Figura 5.1: Espessuras dos níveis estratiformes *versus* espessuras dos microbialitos maciços.42

Figura 5.2: (A), (B) e (C) mostram os diferentes distribuições e aspectos macroscópico dos níveis estratiformes (setas vermelhas) e maciços (setas pretas).43

Figura 5.3: Aspecto microscópico da fácies: (A) textura microgrumosa; (B) filmes de dissolução (seta vermelha) e textura microgrumosa (seta azul); (C) textura microgrumosa e estilólitos (setas vermelhas); (D) textura microgrumosa, veio de calcita espática (seta azul) e filmes de dissolução (seta vermelha).....44

Figura 5.4: Estromatólitos encontrados na área de estudo: (A) e (B) formas levemente convexas (LLH) a dômicas (LLH-SH), segundo a classificação de Logan *et al.* (1964).45

Figura 5.5: Aspecto macroscópico da fácies: (A) laminito crenulado com laminações finamente espaçadas e (B) laminito crenulado com feições de dissolução.....46

Figura 5.6: Aspecto microscópico da fácies laminito crenulado (LMC): (A) e (B) mostram a elevada concentração de filmes de dissolução, associados à dolomitização.....47

Figura 5.7: Aspecto macroscópico da fácies *mudstone* (MUD).....48

Figura 5.8: Aspecto macroscópico da fácies: (A) GST com estratificação cruzada <i>hummocky</i> (seta) em contato com RUD e (B) GST (setas) intercalado com LMC.....	49
Figura 5.9: Aspecto microscópico da fácies <i>Grainstone</i> : (A), (B) e (C) detalhe dos pelóides (setas vermelhas) ainda preservados; (D) setas vermelhas indicando feições de dissolução.	50
Figura 5.10: Aspecto macroscópico da fácies <i>Rudstone</i> , mostrando em (A) e (B) a estrutura maciça, a distribuição dos clastos e geometria tabular, com base pouco (setas) ; (C) detalhe de clastos de laminito (seta) e em (D) o tamanho e organização dos clastos e dissolução no topo (seta).	51
Figura 5.11: Aspecto microscópico da fácies <i>Rudstone</i> : (A) contato suturado dos clastos (setas); (B) detalhe da textura micogrumosa dos clastos.	52
Figura 5.12: Aspecto da fácies BRC no campo.	52
Figura 5.13: Fotomicrografias da amostra RPR-1-1, fácies L2: (A) estrutura com formato cocóide (seta); (B) estrutura com formato filamentosos (seta).	55
Figura 5.14: Fotomicrografias da amostra RPR-1-2, fácies L2: (A) textura micogrumosa e estrutura filamentosos (seta); (B) detalhe da estrutura filamentosos.	55
Figura 5.15: Fotomicrografia da amostra RPR-1-4, fácies LMC: estrutura filamentosos (seta).	56
Figura 5.16: Fotomicrografias da textura micogrumosa das amostras RPR-1-2 em (A) e (B) e RPR-1-4 em (C) e (D).....	56
Figura 5.17: Associação de fácies de rampa interna – intermaré/inframaré proximal: (A) alternância entre microbialitos estratiformes e maciços; (B) estromatólito levemente dômico; (C) brecha clasto-suportada com clastos com orientação preferencial vertical, associada a exposição subaérea; (D) vista geral das fácies no afloramento.....	58
Figura 5.18: Associação de fácies de rampa interna – inframaré distal: (A) laminitos com laminação crenulada, finamente espaçada; (B) laminitos crenulados, finamente espaçados; (C) vista de parte do perfil com laminitos crenulados, <i>mudstones</i> e veio de calcita; (D) veio deformando camadas de <i>mudstone</i> e laminitos crenulados.	60

Figura 5.19: Associação de fácies de rampa intermediária: (A) <i>rudstone</i> com clastos com forma tabular, sem orientação preferencial; (B) <i>grainstone</i> com estratificação cruzada <i>hummocky</i> ; (C) <i>mudstone</i> de estrutura maciça; (D) laminito crenulado, finamente laminado.....	62
Figura 5.20: Fotomosaico do perfil RPR-1 representando a distribuição das associações de fácies ao longo do afloramento. O retângulo vermelho destaca a parte do perfil colunar interpretada no fotomosaico e as setas indicam o limite das associações de fácies.....	63
Figura 5.21: Principais subdivisões internas de uma rampa homoclinal, segundo Burchette & Wright (1992). Adaptado de Burchette & Wright (1992).	64
Figura 5.22: Modelo deposicional conceitual para a área de estudo.....	65
Figura 5.23: Perfis quimioestratigráficos de elementos do <i>Soil Mode</i>	67
Figura 5.24: Variação dos elementos do <i>Mining Mode</i> ao longo da perfil sedimentar RPR_1.	68
Figura 5.25: Variação da concentração dos elementos Si, Al, K e Ca por associação de fácies - o aumento da Si, Al e K é indicando maior presença na quantidade de minerais siliciclásticos como quartzo, argilominerais, sendo inversamente proporcional ao Ca; variação dos elementos Ti, P e Mn nas associações de fácies – aumento na concentração de P e Mn indica ocorrência de fosfogênese que pode estar associada às cianobactérias.	69
Figura 5.26: Constituintes do ciclo elementar ideal da área estudada.	70
Figura 5.27: Esquema mostrando a variação da morfologia dos microbialitos (L0, L1 e L2) e dos estromatólitos de acordo com a acomodação, resultante da taxa de crescimento microbiano de acordo com as variações do nível da água.....	71
Figura 5.28: Curva simplificada de variação do nível do mar em relação ao tempo, relativa a um ciclo elementar.....	72
Figura 5.29: Ciclos elementares e ciclos de pequena escala identificados na associação de fácies de rampa interna – intermaré/inframaré proximal do perfil RPR_1.....	74
Figura 5.30: Ciclos elementares e de pequena escala identificados no perfil RPR_1.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Comparação entre as subdivisões estratigráficas propostas por Misi (1979) e Bonfim *et al.* (1985).17

Quadro 5.1: Fácies da área estudada, características e processos deposicionais.54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF	Associação de fácies
FRX	Fluorescência de Raio-X
Ga.	Bilhões de anos
Ma.	Milhões de anos
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
ppm	Partes por milhão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos e metas.....	2
2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO.....	3
2.1. Localização da área de estudo	3
2.2. Contexto geológico	6
2.2.1. Evolução Geotectônica	9
3. ESTADO DA ARTE - CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. Revisão bibliográfica sobre a Formação Salitre	13
3.2. Revisão bibliográfica sobre sistemas carbonáticos	19
3.2.1. Componentes carbonáticos.....	19
3.2.1.1. Grãos aloquímicos.....	19
3.2.1.2. Matriz carbonática	21
3.2.1.3. Cimento	21
3.2.2. Classificação das rochas carbonáticas.....	22
3.2.2.1. Classificação de Folk (1959, 1962)	23
3.2.2.2. Classificação de Dunham (1962)	24
3.2.2.3. Classificação de Embry & Klovan (1971)	24
3.2.2.4. Classificação de Terra et al. (2010).....	25
4. MÉTODOS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO.....	27
4.1. Análise faciológica	28
4.2. Perfis colunares.....	29
4.3. Fotomosaico	32

4.4. Fluorescência de Raios-X Portátil	34
4.5. Microscopia óptica	37
4.6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	39
4.7. Estratigrafia de sequências em alta resolução em rochas carbonáticas	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1. Arquitetura deposicional.....	41
5.1.1. Fácies	41
5.1.1.1. Alternância entre microbialitos maciço e estratiforme.....	41
5.1.1.2. Estromatólito (ETR)	45
5.1.1.3. Laminito crenulado (LMC)	46
5.1.1.4. Mudstone (MUD)	47
5.1.1.5. Grainstone (GST)	48
5.1.1.6. Rudstone (RUD)	50
5.1.1.7. Brecha (BRC)	52
5.1.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	55
5.1.3. Associação de fácies (AF).....	57
5.1.3.1. Associação de fácies de rampa interna - intermaré/inframaré proximal (AF1).....	57
5.1.3.2. Associação de fácies de rampa interna - inframaré distal (AF2)	59
5.1.3.3. Associação de fácies de rampa intermediária (AF3).....	61
5.1.4. Sistema deposicional	64
5.2. Químioestratigrafia.....	65
5.3. Análise sequencial em alta resolução.....	70
6. CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS	78
ANEXOS	85
A1 – Perfis colunares	85
A2 – Tabelas	86

1. INTRODUÇÃO

Conceitos de estratigrafia de sequência aplicados a afloramentos e testemunhos, estratigrafia de sequência em alta resolução, têm fornecido uma melhor compreensão de fácies, geometrias e arquitetura de reservatórios e, por isto, constitui em ferramenta poderosa para a indústria de hidrocarbonetos e pesquisas acadêmicas (Aitken & Howell, 1996).

Com a descoberta dos gigantes campos de petróleo (seção “Pré-Sal” das bacias de Campos e Santos - Carminatti *et al.* (2008)) houve um aumento na demanda por pesquisas que utilizem métodos de análise estratigráfica em alta resolução em rochas calcárias microbiais (Freire, 2012). De acordo com Scherer *et al.* (2014), as atuais técnicas de exploração e exploração em reservatórios carbonáticos de natureza microbial baseiam-se em modelos geológicos ainda em fase de desenvolvimento e pesquisas com esse enfoque devem ser incentivadas.

A Formação Salitre, de idade Neoproterozoica, corresponde a uma sequência carbonática, com pequenas intercalações de terrígenos. Esta sequência foi depositada em uma bacia do tipo sinéclise em que foi implantada uma plataforma carbonática com morfologia do tipo rampa, em ambiente marinho raso, com frequente ação de ondas e marés (Souza *et al.*, 1993). Entretanto, os contextos ambientais que deram origem as fácies microbiais da Formação Salitre carecem de estudos mais detalhados. Além disso, ainda há pouco entendimento da diversidade faciológica das sucessões carbonáticas microbiais proterozoicas e dos mecanismos controladores que organizam essas fácies microbiais em ciclos sedimentares de alta frequência. Em decorrência disso, o presente trabalho busca, através da aplicação dos métodos de análise estratigráfica em alta resolução, contribuir para o melhor entendimento das rochas calcárias microbiais e enriquecer o acervo de dados da Formação Salitre.

1.1. Objetivos e metas

O presente trabalho tem como objetivo principal a caracterização faciológica e estratigráfica de detalhe em afloramentos do sistema carbonático da Formação Salitre, através da utilização de técnicas de estratigrafia em alta resolução. Entre os objetivos específicos destacam-se:

- Definir fácies, associações de fácies e modelo deposicional;
- Definir superfícies-chave para entender a ciclicidade do sistema;
- Individualizar e caracterizar os ciclos deposicionais em alta frequência;
- Aprimorar métodos de análise estratigráfica em alta resolução em sistemas carbonáticos microbiais.

2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. Localização da área de estudo

A Formação Salitre (Grupo Una – Supergrupo São Francisco) aflora nas bacias de Irecê, Salitre, Una-Utinga e Ituaçu, no Cráton do São Francisco.

A área de estudo localiza-se no município de Palmeiras, região centro-oriental da Chapada Diamantina, estado da Bahia. O principal acesso rodoviário à região, a partir de Salvador, dá-se pelas rodovias federais BR-116 e BR-242 (Figura 2.1). O trabalho foi realizado nos afloramentos de maior representatividade ao longo de escarpas próximas do rio Preto (Figura 2.2).

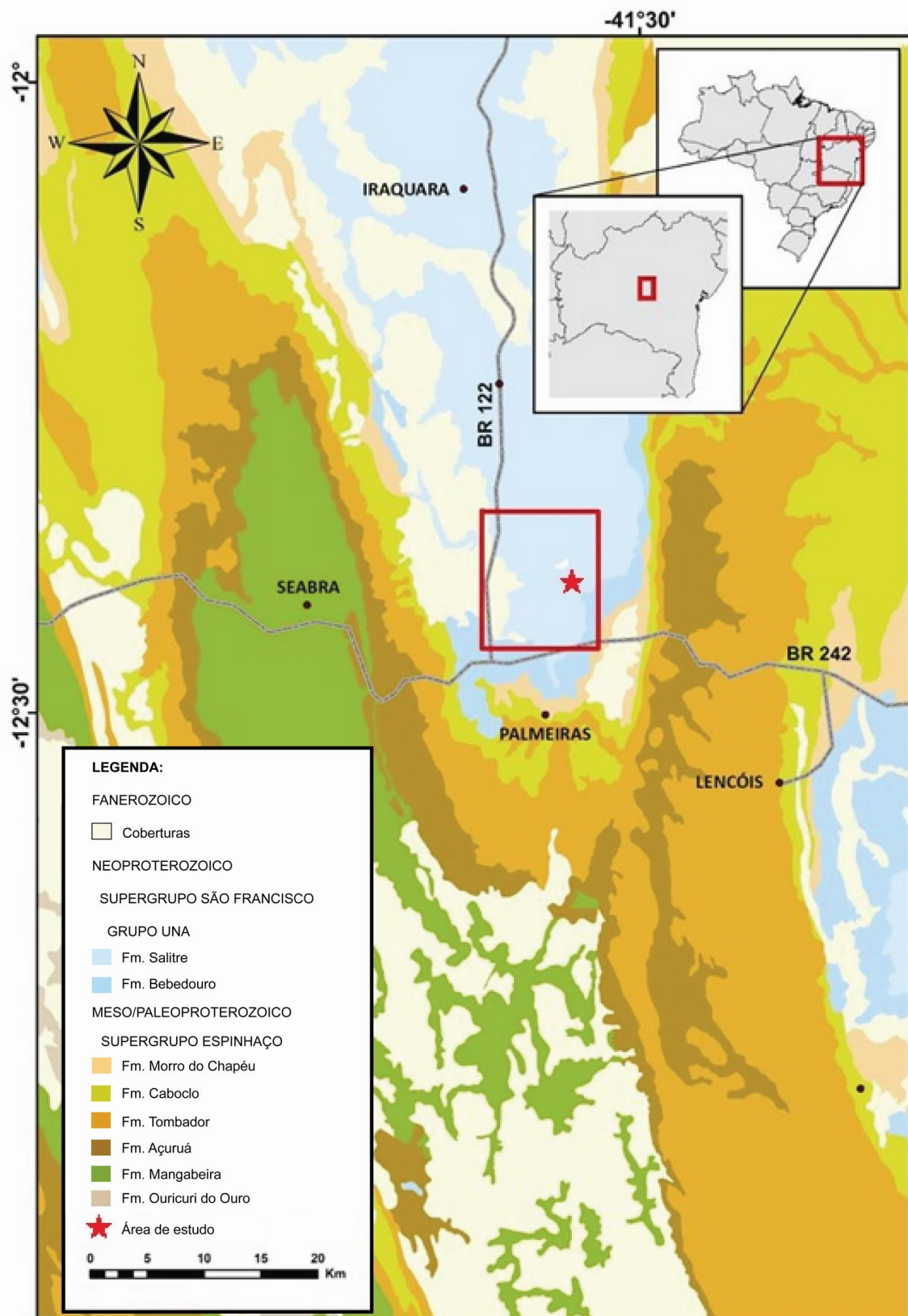


Figura 2.1: Mapa geológico com a localização da área de estudo. Adaptado de Bizzi *et al.* (2003).

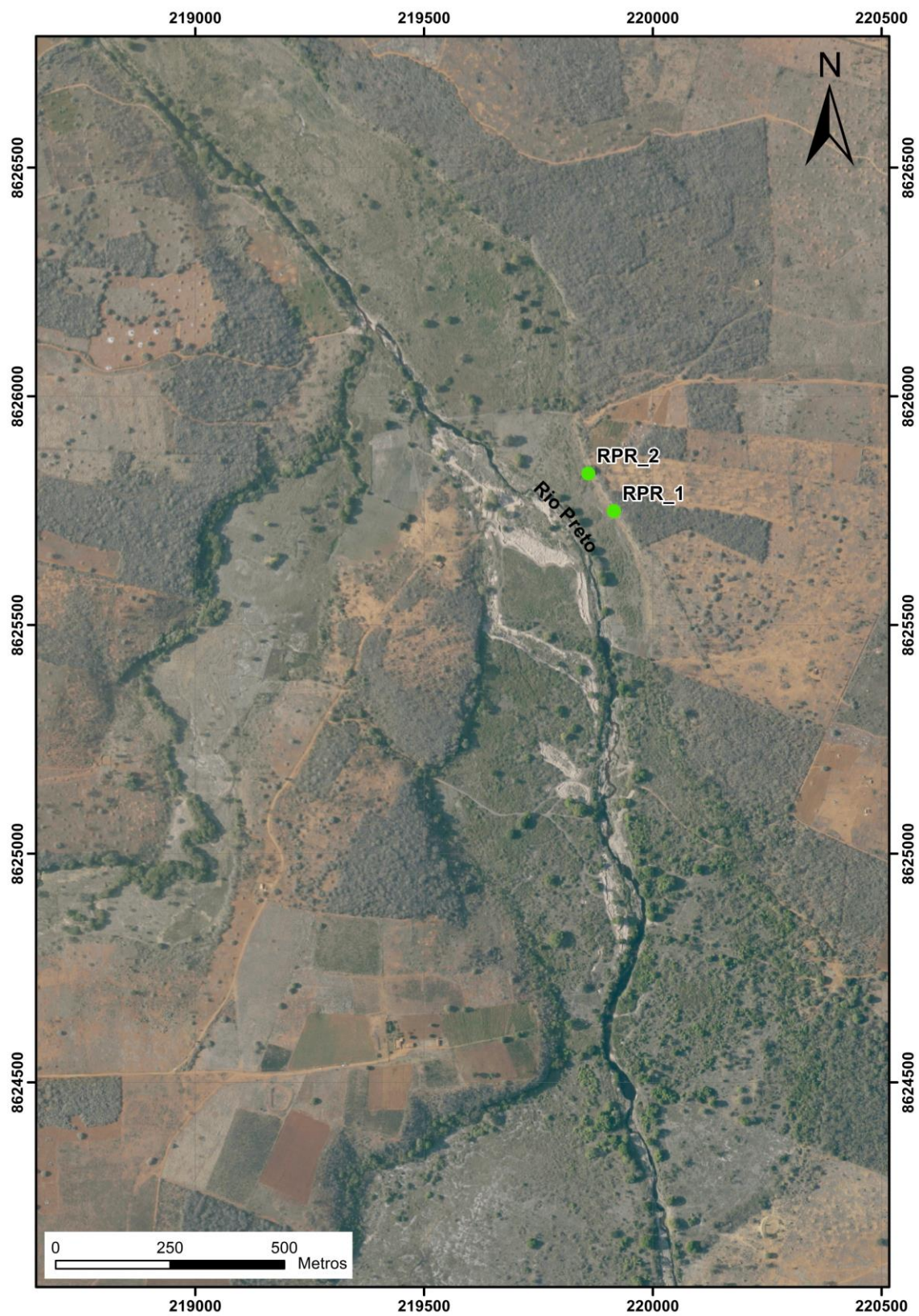


Figura 2.2: Imagem aérea ortorretificada da área de estudo com a localização dos pontos com levantamento de dados. *Copyrights* pertencem à empresa Engenharia Mapeamento e Aerolevantamento LTDA (ENGEMAP©).

2.2. Contexto geológico

As rochas da Formação Salitre são integrantes do Grupo Una pertencente ao Supergrupo São Francisco, de idade Neoproterozoica, e afloram na unidade geotectônica do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977). Essa unidade representa um extenso núcleo estabilizado ao término do Ciclo Transamazônico, margeado por regiões que foram deformadas durante o Ciclo Brasileiro, os chamados cinturões móveis brasileiros - Araçuaí, Brasília, Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (Figura 2.3).

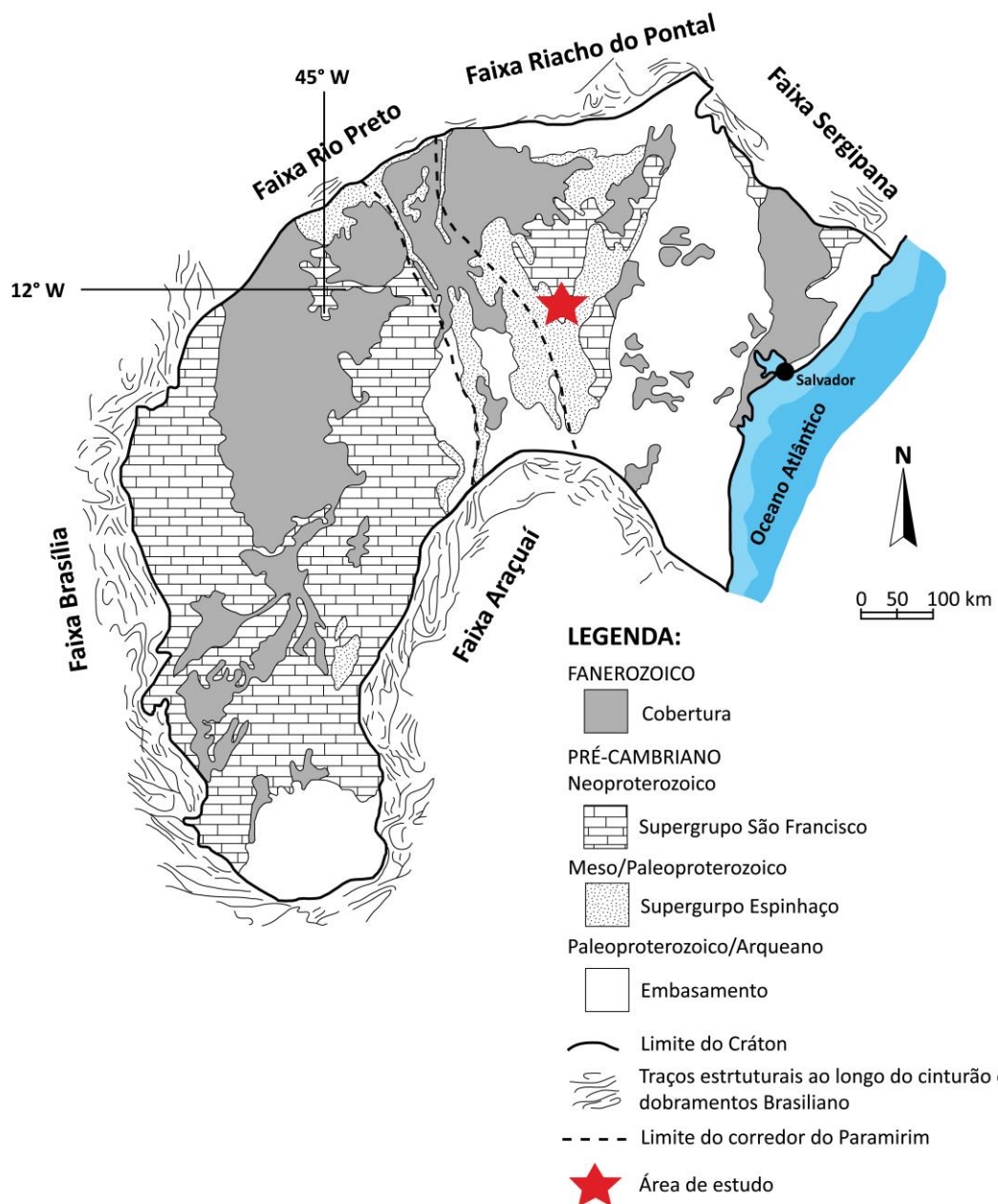


Figura 2.3: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco com a localização da área de estudo. Adaptado de Danderfer (2000).

De acordo com Dominguez (1993), a deposição do Supergrupo São Francisco ocorreu em um sítio deposicional de evolução policíclica que fora ambientado em diversos contextos tectônicos ao longo do tempo geológico. A implantação deste sítio incidiu sobre rochas arqueanas (ortognaisses migmatíticos com termos granitóides e sucessões vulcanossedimentares) há, aproximadamente, 1,75 Ga, com a deposição de rochas terrígenas Paleo/Mesoproterozoicas do Supergrupo Espinhaço.

Segundo Guimarães *et al.* (2008), o Supergrupo Espinhaço compreende duas bacias intracratônicas diacrônicas instaladas no Cratón São Francisco que foram superpostas e evoluíram entre o Estateriano e o Calimiano: uma do tipo *rift-sag*, designada Bacia Espinhaço (Grupos Rio dos Remédios e Paraguaçu), e outra do tipo sinéclise, denominada Bacia Chapada Diamantina (Grupo Chapada Diamantina) (Figura 2.4).

O Supergrupo São Francisco, por sua vez, tem como embasamento as rochas metassedimentares do Supergrupo Espinhaço e terrenos arqueanos diversos. Na Bahia, esse supergrupo ocorre em duas regiões distintas: (1) região da Bacia do São Francisco, e (2) região da Chapada Diamantina Oriental. A primeira região está localizada a oeste do estado e é representada pelos grupos Macaúbas e Bambuí.

O Grupo Macaúbas, na base, é uma associação de diamictitos, arenitos e pelitos que foram depositados em ambiente glacio-continental sob a influência parcial de ondas de tempestade, segundo Dominguez (1996). O Grupo Bambuí, no topo, é constituído por siliciclásticos e calcários interestratificados das formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade. Os sedimentos carbonáticos e pelíticos são interpretados como de plataforma marinha estável (Dardenne, 1978).

A outra área de afloramento do Supergrupo São Francisco ocorre na parte central do estado, nas bacias de Irecê, Salitre, Una-Utinga e Ituaçu, e é representada pelo Grupo Una, que compreende as formações Bebedouro e Salitre (Figura 2.4).

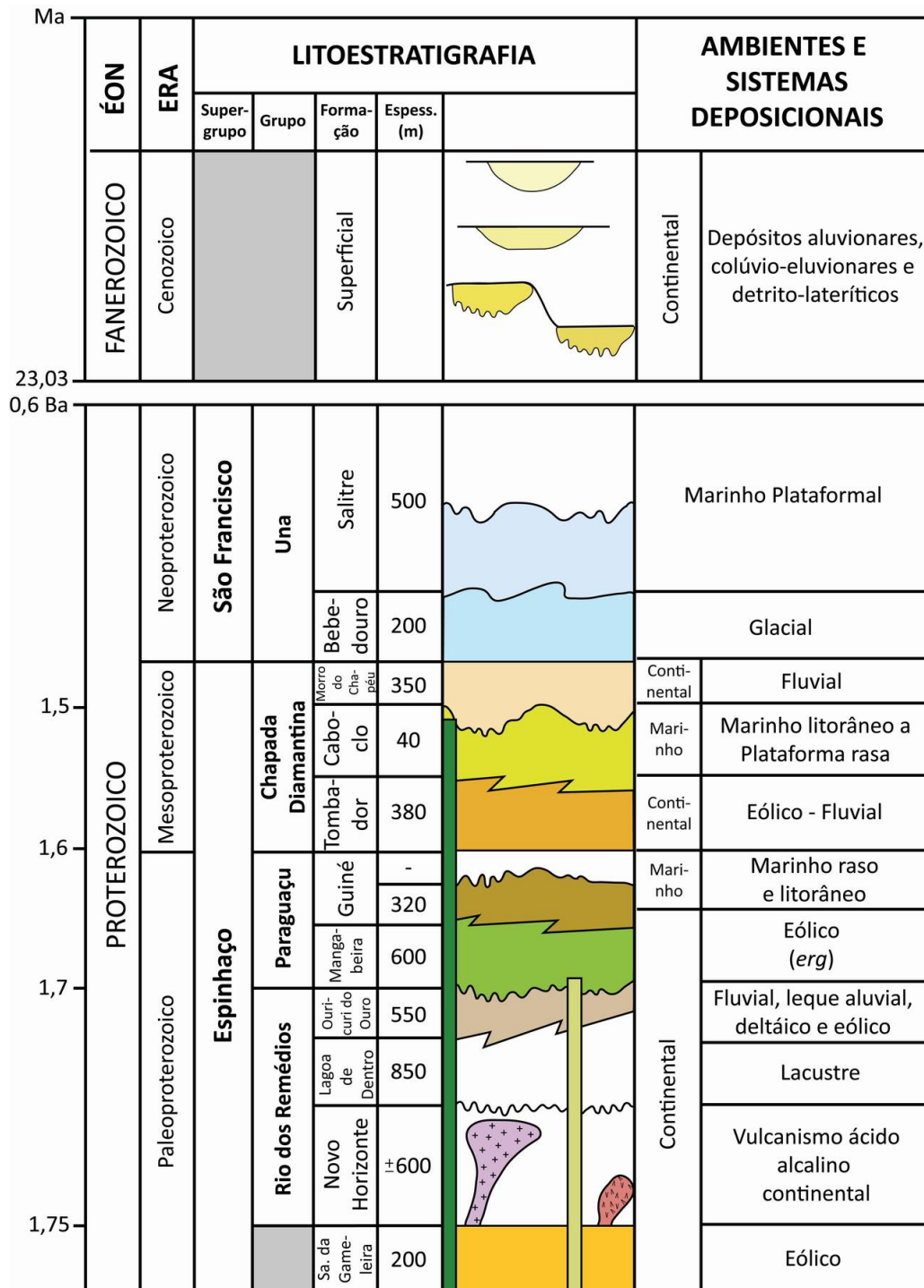


Figura 2.4: Carta cronostratigráfica dos Supergrupos Espinhaço e São Francisco. Adaptada de Guimarães *et al.* (2008).

A Formação Bebedouro, na base, é constituída de rochas de natureza terrígena, depositadas em ambiente glacial. Segundo Guimarães (1996), a unidade é constituída basicamente por diamictitos, pelitos e arenitos, estratificados e maciços, ordenados em camadas, alternados ou não, limitadas por contatos bruscos, erosivos e gradativos. Os processos associados com a deposição dessas

rochas foram: fluxos de detritos subaquáticos, correntes de turbidez de alta e baixa concentração, derretimento de *icebergs* e, localmente, processos eólicos.

A Formação Salitre, no topo, corresponde a uma sequência carbonática, com pequenas intercalações de terrígenos, ocupando a maior parte da Bacia de Irecê (Souza *et al.*, 1993). Segundo Guimarães (1996), esta sequência apresenta espessuras superiores a 1.000 m, tendo sido depositada em uma bacia do tipo rampa carbonática, em ambiente marinho raso, com frequente ação de ondas e marés.

2.2.1. Evolução Geotectônica

O Cráton do São Francisco (Almeida, 1977) abrange principalmente os estados da Bahia e Minas Gerais e é a unidade geotectônica melhor exposta e mais estudada do embasamento da plataforma sul-americana. Como dito anteriormente, essa unidade representa um extenso núcleo estabilizado ao término do Ciclo Transamazônico, e, atualmente, é margeada por regiões que sofreram movimentações durante o Ciclo Brasileiro, os chamados cinturões móveis brasileiros - Araçuaí, Brasília, Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (Figura 2.3). Segundo Barbosa *et al.* (2003) o cráton é truncado por um rifte abortado, orientado N-S, no qual se depositaram as rochas dos Supergrupos Espinhaço (Mesoproterozoico) e São Francisco (Neoproterozoico).

Durante o Mesoproterozoico, um sistema de forças em regime extensivo conduziu a um adelgaçamento da litosfera continental. Desenvolveu-se então um processo de rifteamento que resultou na instalação de ampla bacia de extensão onde se depositou o Supergrupo Espinhaço. Conforme Dominguez (1993), acumularam-se neste rifte seis sequências deposicionais, sendo elas: Rio dos Remédios – Paraguaçu, Tombador – Caboclo e Morro do Chapéu (Província Chapada Diamantina), além das sequências Borda Leste, Espinhaço e Gentio (Província do Espinhaço Setentrional). O Bloco Paramirim, situado entre as duas províncias, provavelmente atuou como alto no interior da bacia.

O termo Bacia Espinhaço – São Francisco foi utilizado por Dominguez (1993) para definir a bacia sedimentar policíclica implantada sobre o Cráton do São Francisco. Essa bacia tem origem por volta de 1,7 Ga., associada a uma fase de estiramento crustal, durante a qual foram depositadas as rochas pertencentes ao Grupo Paraguaçu na região da Chapada Diamantina e Borda Leste na região do

Espinhaço Setentrional. A deposição desses grupos é terminada por um soerguimento com exposição subaérea, o que favoreceu a implantação de um importante sistema fluvial e a deposição da Formação Tombador na Chapada Diamantina e Grupo Serra Geral na região do Espinhaço Setentrional.

Um novo episódio de subsidência, possivelmente de natureza térmico-flexural, associado à evolução do aulacógeno do Espinhaço resultou na deposição da Formação Caboclo. Importantes episódios de rebaixamento do nível do mar afetaram a Bacia do Espinhaço, resultando em exposição subaérea. Estes episódios de exposição subaérea geraram um grande vale inciso na região da Chapada Diamantina, onde, durante a subida subsequente do nível do mar, se acumulou a Formação Morro do Chapéu. Na região do Espinhaço Setentrional, a descida do nível do mar não foi suficiente para causar exposição aérea. Nesta região, durante este estágio se acumularam leques turbidíticos (Dominguez, 1993).

Em torno de 1,0 Ga., uma glaciação afetou a maior parte do Cráton. As geleiras se movimentavam de W para E na borda sudoeste do paleo-continente São Francisco e de NE para SW na Província da Chapada Diamantina. Dominguez (1993) denominou esta extensa glaciação de Bebedouro-Macaúbas, cujos depósitos são caracterizados por diamictitos e arenitos glaciais.

Com o fim da glaciação Bebedouro-Macaúbas, houve uma subida generalizada do nível do mar, que inundou praticamente todo o Cráton do São Francisco. Esta subida no nível do mar associado com uma expansão da subsidência das bordas para o interior do cráton resultou na implantação de importantes plataformas carbonáticas e deposição do Grupo Bambuí, na bacia São Francisco, e da Formação Salitre, nas bacias de Irecê, Una-Utinga e Ituaçu.

No fim do Proterozoico, colisões nas margens do cráton, as quais foram responsáveis pela formação dos cinturões de dobramento brasileiros, causaram inversão da bacia do Espinhaço-São Francisco. A intensidade da deformação foi maior ao longo do rifte, onde a litosfera havia sido afinada durante os episódios de subsidência anteriores. Os sedimentos que se acumularam nas partes externas do rifte, sobre os blocos continentais mais espessos, foram relativamente poupados da deformação (Dominguez, 1993).

Os estágios desta evolução estão representados nas figuras 2.5 e 2.6 a seguir.

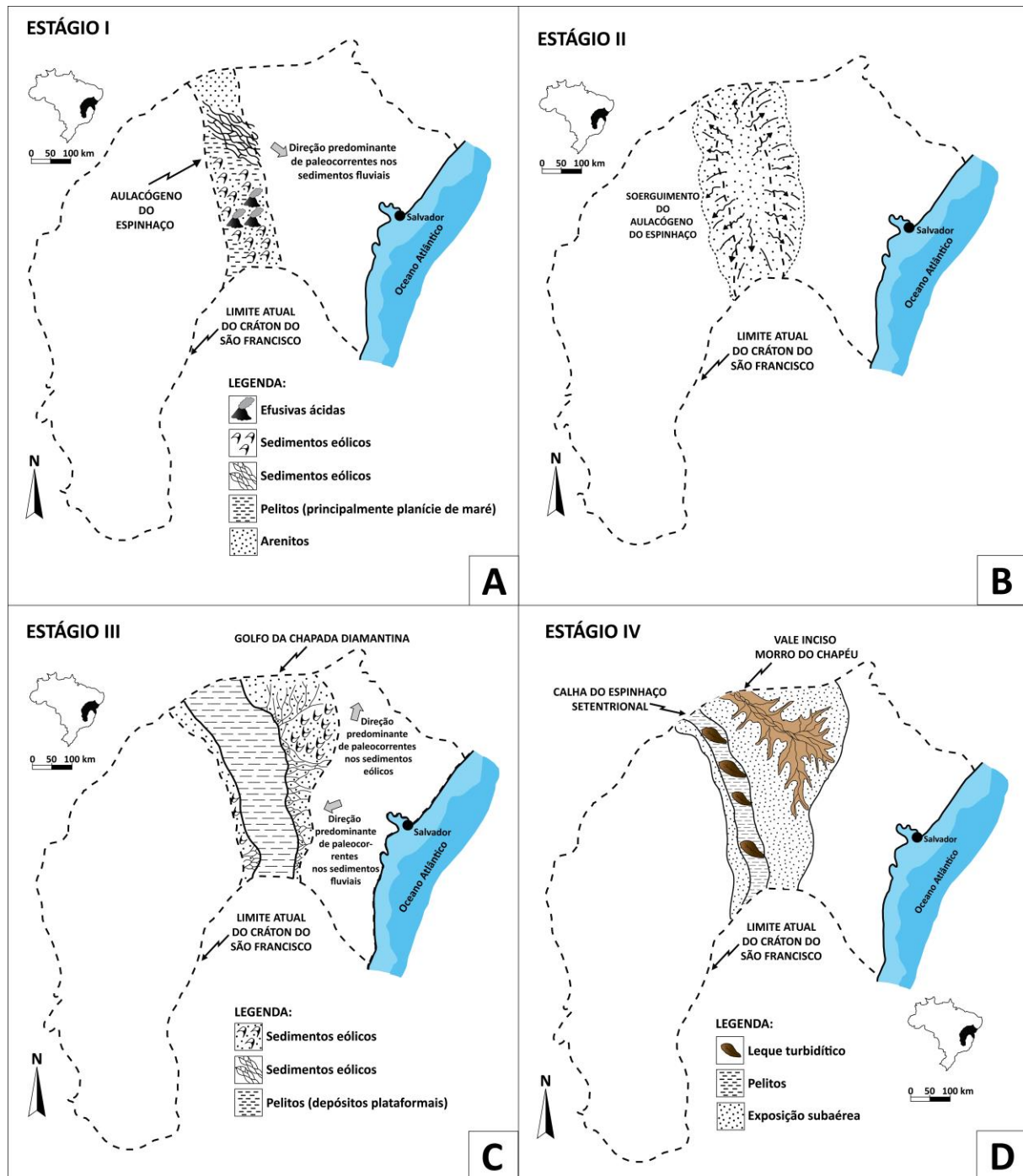


Figura 2.5: Estágios de evolução das coberturas do Proterozoico no Crátón do São Francisco propostos por Dominguez (1993): A) Implantação da Bacia do Espinhaço-São Francisco, durante o episódio de rifteamento ocorrido por volta de 1,7 Ga. B) Soerguimento e exposição subaérea do aulacógeno do Espinhaço. C) Novo episódio de subsidência associado à evolução do aulacógeno do Espinhaço com deposição dos grupos Chapada Diamantina na região da Chapada Diamantina e Serra Geral no Espinhaço Setentrional. D) Um importante abaixamento do nível do mar resultou na exposição subaérea de quase toda a Bacia do Espinhaço, com geração de um grande vale inciso onde se depositou, durante a subsequente subida do mar, a Formação Morro do Chapéu.

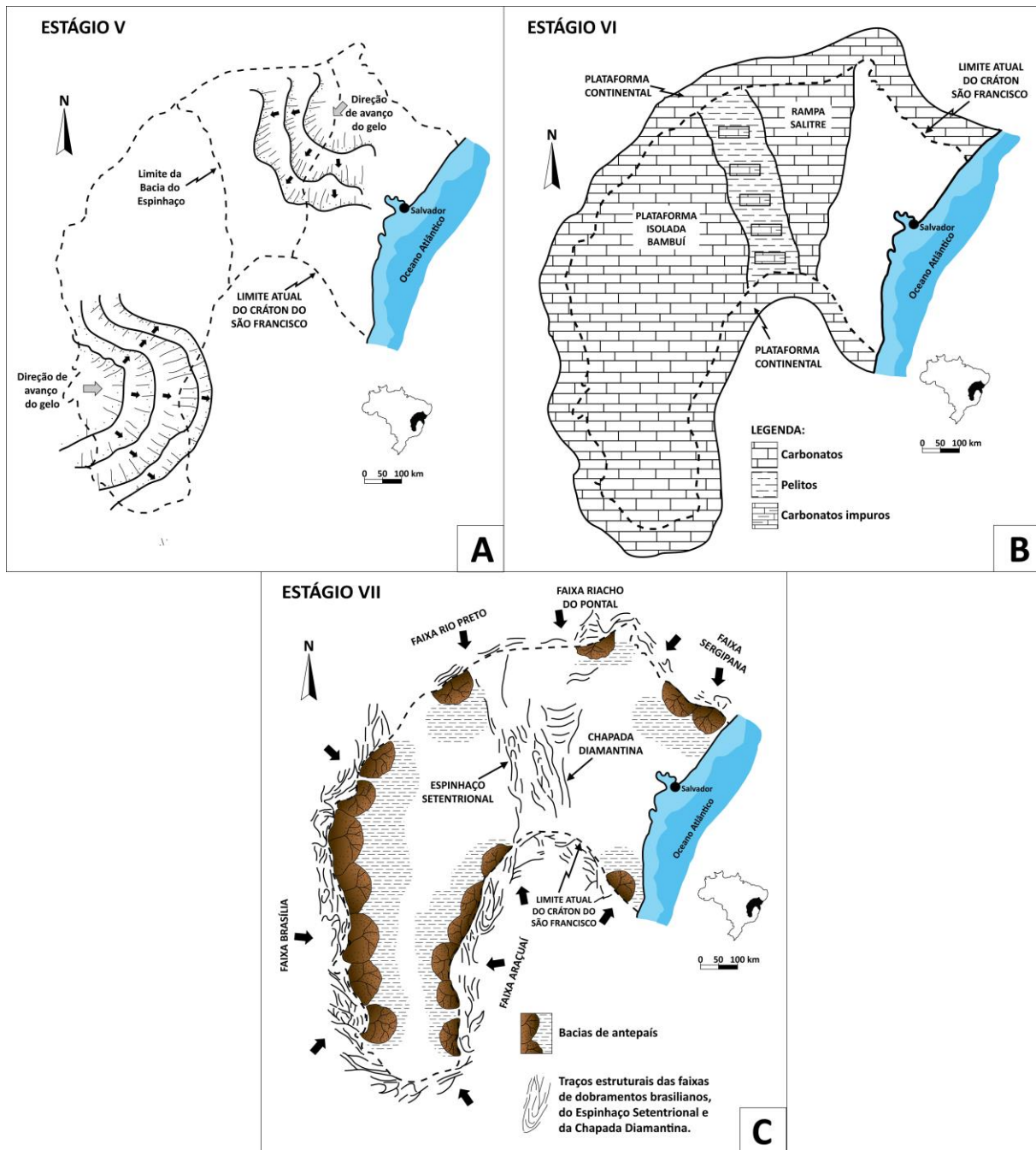


Figura 2.6: Estágios de evolução das coberturas do Proterozoico no Crátom do São Francisco propostos por Dominguez (1993): A) A glaciação Bebedouro-Macaúbas envolveu praticamente todo o Crátom do São Francisco; B) O fim da glaciação provocou a subida do nível eustático do mar. Esta subida, associada com a expansão da subsidência das bordas para o interior do crátom, relacionada à expansão das margens passivas, resultou na implantação de importantes plataformas carbonáticas; C) Colisões nas margens do Crátom do São Francisco com geração de cinturões de dobras e empurrões, ao final do Neoproterozoico, resultaram na colocação de cargas sobre a litosfera. A compensação isostática destas cargas deu origem a bacias de antepaís, onde se acumularam sedimentos siliciclásticos.

3. ESTADO DA ARTE - CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

3.1. Revisão bibliográfica sobre a Formação Salitre

A Formação Salitre, objeto de estudo deste trabalho, é constituída por várias litofácies carbonáticas, tendo sido depositada em uma bacia formada no contexto de um mar epicontinental, segundo Dominguez (1993).

A partir de estudos isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Misi & Veizer, 1996), os sedimentos carbonáticos desta formação foram posicionados no Vendiano (700 – 560 Ma.). Esta datação mostra-se coerente com os resultados obtidos para os carbonatos correlatos ao Grupo Bambuí, no estado de Minas Gerais (Guimarães, 1996).

Subdivisões litoestratigráficas do pacote carbonático da Formação Salitre foram propostos por Misi & Souto (1975). Estas foram posteriormente modificadas por Misi (1976, 1979), Bonfim *et al.* (1985) e Souza *et al.* (1993). As subdivisões propostas por estes autores baseiam-se em mapeamentos geológicos regionais.

Misi (1976, 1979) propôs a existência de cinco diferentes unidades estratigráficas mapeáveis que não foram nomeadas com o intuito de evitar a proliferação de nomes que pudessem aumentar a confusão já existente (Figura 3.1).

Unidades		Descrições	
	A 1	Ciclo 2	Calcário escuro, rico em matéria orgânica Calcarenito oolítico, oncolítico
	A		Estratificações cruzadas Margas, pelitos
	B 1	Ciclo 1	Dolomito silicoso, estruturas <i>tepee</i> Dolomito intraclástico, estratos cruzados
	B		Calcário Dolomítico laminado Camadas argilosas
	C		Dolomito argiloso, vermelho (<i>Cap Dolomites</i>)
Bebedouro		Diamictitos, quartzitos	

Figura 3.1: Coluna estratigráfica proposta para a Formação Salitre (Misi, 1979). Figura adaptada a partir de Misi & Silva (1996).

As unidades propostas por (Misi, 1979) foram:

- Unidade C: constituída por dolomitos e calcários dolomíticos vermelhos e argilosos, que capeiam os diamictitos (sequências glaciogênicas da Formação Bebedouro). Esta unidade pode apresentar ou não estromatólitos circulares na porção basal e gretas de ressecamento, que evidenciam uma exposição aérea do carbonato durante sua formação.

- Unidade B: composta por calcários cinza-claros, por vezes dolomíticos, finamente laminados (ritmitos) e interestratificados com leitos argilosos, podendo ocorrer algumas vezes intercalações de calcário preto oolítico. A sedimentação relativamente profunda com tendência regressiva indica que esta unidade é uma sequência marinha tipo *shallowing upward*, de ambiente equivalente a inframaré a intermaré.

- Unidade B1: representada por dolarenitos (silicosos e oolíticos) e dololutitos cinza-claros, com nódulos e lentes de sílica e de calcita. Ocorrem estruturas sedimentares como *tepee* e laminações estromatólíticas, que caracterizam exposição subaérea em clima árido, além de brechas intraformacionais lamelares. Podem ocorrer também corpos lenticulares e de espessuras métricas de calcários pretos, ricos em matéria orgânica, oolíticos,

parcialmente dolomitizados. Esta unidade contém as principais ocorrências de Pb-Zn e fosfato da Bacia Irecê.

- Unidade A: caracterizada pela presença de siltitos, argilitos calcíferos e margas, cinza-escuros quando não alterados, cinza-claros ou avermelhados de maneira geral, expostos na borda oeste da bacia. Agregados de cristais cúbicos de pirita podem também ocorrer. De uma forma geral, a espessura desta unidade varia de poucos metros a 100 m. Sua deposição parece estar associada a um ambiente marinho relativamente mais profundo.

- Unidade A1: formada por calcilitos pretos e calcários oolíticos e pisolíticos, ricos em matéria orgânica. Condições rasas de sedimentação são características e estruturas indicativas de ambiente agitado são comuns, tais como estratificações cruzadas, com abundantes intraclastos, e marcas de onda, dentre outras. Os calcilitos desta unidade ocorrem frequentemente bastante deformados, principalmente na região de Irecê, com dobras apertadas e com vergência para sul, indicando esforços compressivos de norte para sul. Segundo Misi & Silva (1996), estes dobramentos e cavalgamentos estariam relacionados à tectônica brasileira, ou seja, seriam reflexo da tectônica da faixa Rio Preto sobre a cobertura.

Bonfim *et al.* (1985) propuseram uma outra subdivisão, um pouco mais completa. Nomearam as unidades e dividiram as mesmas em quatro, assim representadas da base para o topo: Unidades Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê (Figura 3.2).

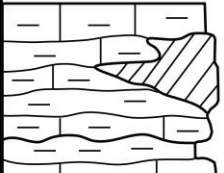
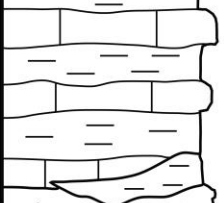
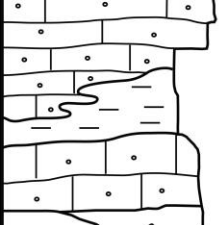
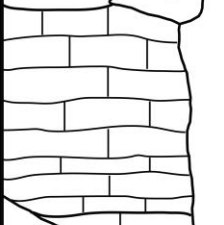
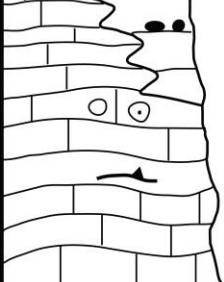
Ambiente de deposição	Unidades - Formação Salitre	
CONTINENTAL		
TALUDE DISTAL E PROXIMAL (TRANSGRESSIVO)		<p style="text-align: center;">IRECÊ</p> <p style="text-align: center;">CALCILUTITOS, MARGAS, ARENITOS, SILTITOS E PELITOS</p>
INFRAMARÉ (TRANSGRESSIVO)		<p style="text-align: center;">JUSSARA</p> <p style="text-align: center;">CALCARENITOS ONCOLÍTICOS, CALCARENITOS QUARTOZOS, ARENITOS, ARCÓSEOS</p>
INFRAMARÉ RASO A INTERMARÉ (REGRESSIVO)		<p style="text-align: center;">GABRIEL</p> <p style="text-align: center;">CALCILUTITOS E CALCARENITOS</p>
INTERMARÉ A SUPRAMARÉ		<p style="text-align: center;">NOVA AMÉRICA</p> <p style="text-align: center;">CALCILUTITOS E CALCARENITOS, TAPETES ALGAIS, FAIXAS E NÍVEIS DOLOMITIZADOS</p>

Figura 3.2: Coluna estratigráfica da Formação Salitre proposta Bonfim *et al.* (1985).

Misi & Silva (1996) fizeram uma comparação entre as subdivisões realizadas por Misi (1979) e Bonfim *et al.* (1985) e propuseram uma tabela que representa esta correlação (Quadro 3.1).

Quadro 3.1: Comparação entre as subdivisões estratigráficas propostas por Misi (1979) e Bonfim *et al.* (1985).

UNIDADES (1)	UNIDADES (2)
A1	Irecê/Jussara
A	Irecê/Gabriel
B1	Nova América
B	Irecê
?	Jussara
C	-

Souza *et al.* (1993), estudando a Bacia de Irecê, dividiram a Formação Salitre em unidades e subunidades informais (Figura 3.3), em parte anteriormente propostas em Bonfim *et al.* (1985). As unidades e subunidades propostas por Souza *et al.* (1993) foram:

- Unidade Nova América: Possui ampla distribuição areal, é subdividida em Nova América Inferior e Nova América Superior. A primeira é formada, da base para o topo, por calcilutitos, calcarenitos, brechas, estromatólitos localizados e laminito microbial com estruturas do tipo *tepee* e pseudomorfos de evaporito. Apresenta sucessões cíclicas de fácies típicas de ambiente de intermaré e de supramaré, este último com predomínio no topo. A subunidade Nova América Superior corresponde a dolarenitos - intraclásticos, oolíticos e oncolíticos - e doloruditos, interpretados como depositados em ambiente de mais alta energia.

- Subunidade Sarandi: A ocorrência é restrita à parte central da Bacia de Irecê. É composta por calcissiltitos e calcarenitos peloidais, por vezes contendo oncolitos e intraclásticos. Apresenta dolomitização incipiente e estratificações do tipo cruzada e plano-paralela. É interpretada como depósitos em ambiente de inframaré.

- Unidade Jussara: Restrita a áreas mais centrais da bacia. É subdividida em Jussara Inferior e Superior. Na subunidade Jussara Inferior ocorre calcarenitos - com oncolitos e níveis de oólitos - e calcilutitos, enquanto que a subunidade Jussara Superior é caracterizada por calcarenitos, de granulação diversa.

Localmente há ocorrência de estromatólitos colunares e trombólitos. A unidade é interpretada como depósitos de inter a inframaré.

- Unidade Irecê: Apresenta maior concentração de afloramentos na região centro-oeste da bacia. É composta por litotipos carbonáticos (calcarenitos finos, calcilutitos e margas) e terrígenos (siltitos e arenitos imaturos). Esses litotipos ocorrem de forma alternada e têm deposição associada a ambientes de baixa energia, abaixo do nível das ondas.

O empilhamento e repetição dessas unidades indicam a natureza cíclica da deposição, marcada por quatro ciclos de sedimentação alternados, sendo dois regressivos e dois transgressivos (Figura 3.3).

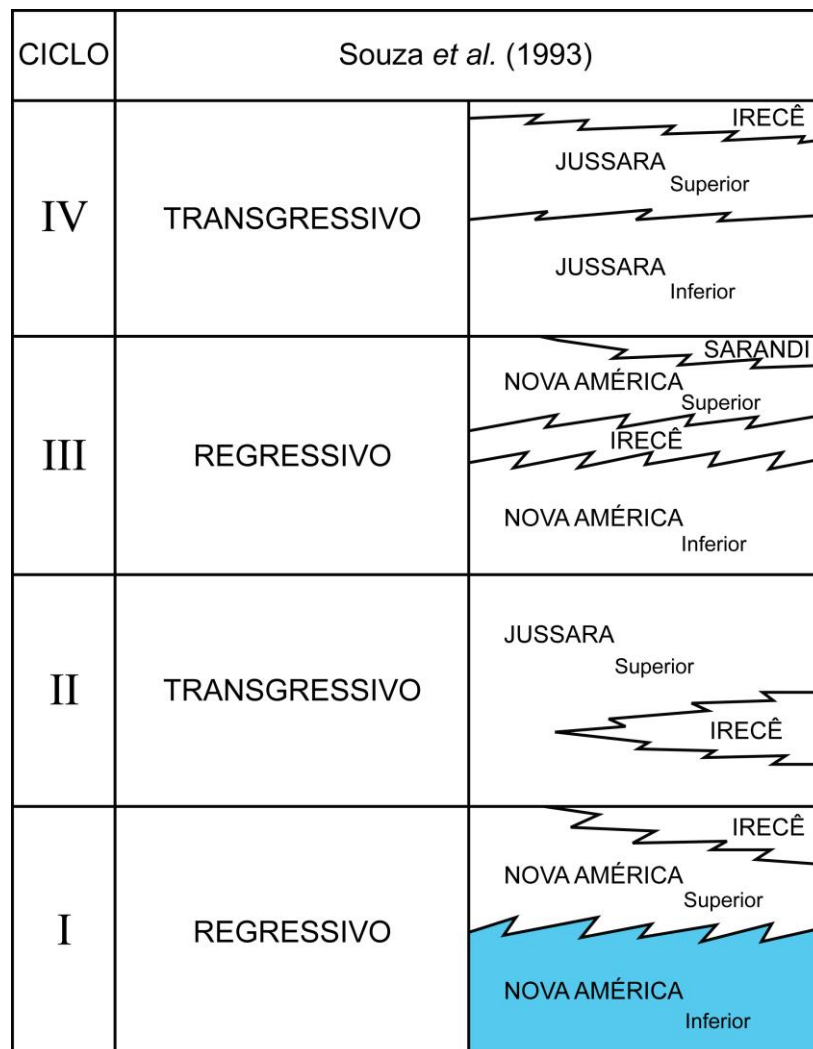


Figura 3.3: Ciclos regressivos e transgressivos e a distribuição das unidades/subunidades informais nos diferentes ciclos propostos por Souza *et al.* (1993). O estudo se desenvolveu na base do primeiro ciclo regressivo, na subunidade Nova América Inferior. Figura adaptada a partir de Souza *et al.* (1993).

3.2. Revisão bibliográfica sobre sistemas carbonáticos

Rochas carbonáticas se formam a partir de precipitação de carbonatos dentro do ambiente de deposição. Referindo-se a sedimentos carbonáticos, alguns aspectos são de extrema importância e os diferenciam dos sedimentos siliciclásticos: (1) a composição dos sedimentos é fundamental na caracterização do ambiente de deposição, (2) as variações de tamanho de grão não precisam sinalizar mudanças no regime hidráulico, (3) grandes estruturas morfológicas tais como plataformas são produzidas inteiramente por sedimentos formados *in situ*, elas são autogeradas e autossustentáveis, (4) o modelo temporal e espacial da acumulação depende da natureza dos próprios sedimentos (James *et al.*, 2010).

As rochas carbonáticas são essencialmente orgânicas, e seu crescimento e produção estão principalmente relacionados com os ambientes oceânicos, nos quais a luz, temperatura das águas e a distribuição dos nutrientes são os principais fatores controladores.

3.2.1. Componentes carbonáticos

As rochas carbonáticas possuem uma mineralogia pouco diversificada, composta predominantemente por carbonato de cálcio na forma de polimorfos de calcita e aragonita, além de dolomita. Seus principais constituintes deposicionais são os grãos aloquímicos, a matriz carbonática e o cimento.

3.2.1.1. Grãos aloquímicos

Os grãos formadores do arcabouço compreendem, em geral, seis principais tipos texturais, denominados por Folk (1959) de aloquímicos. Grãos aloquímicos são gerados no interior da bacia sedimentar, podendo ou não sofrer transporte. Os principais grãos aloquímicos são: oólitos, oncólitos, pelóides e *pellets*, esferulitos, intraclastos e bioclastos (Figura 3.4).

Os oólitos são partículas envelopadas, esféricas a subesféricas, originadas por acreção físico-química em torno de um núcleo. Os oólitos possuem, em geral, tamanho areia, variando normalmente entre 0,2 mm e 1,0 mm em alguns casos raros podem ultrapassar os 2,0 mm. A estrutura interna dos oólitos é formada por envelopes concêntricos contínuos em torno do núcleo, constituídos por cristais

aciculares com os seus eixos dispostos tangencialmente ou radialmente à superfície do grão (Terra *et al.*, 2010).

Segundo Terra *et al.* (2010) os oncólitos são grãos formados pela acreção organo-sedimentar de cianobactérias. Eles caracterizam-se por possuírem envelopes descontínuos, geralmente pouco nítidos, frequentemente com sedimento interno preso entre os envelopes e forma subesférica a subelíptica. A forma externa dos oncólitos, assim como nos oólitos, é dependente da forma dos núcleos no início. Com o desenvolvimento da acreção, os oólitos tendem a ser mais esféricos que os oncólitos, já que o processo de acreção inorgânica exige uma energia ambiental muito mais elevada do que a acreção orgânica.

Os pelóides são definidos como grãos micríticos de forma subesférica sem estrutura interna. Os pelóides podem ser grãos aloquímicos micritizados de origem desconhecida, clastos de lama ou, então, fragmentos de bioclastos naturalmente arredondados não reconhecíveis. Para os grãos elipsoides de seção circular, com diâmetro em geral entre 0,1 mm e 0,5 mm de origem fecal, utiliza-se o termo pelóide fecal ou *pellet* (Terra *et al.*, 2010).

Os esferulitos são partículas de forma esférica ou subesférica de contornos lisos ou lobados de tamanho geralmente menor que 2 mm. Observados ao microscópio, geralmente apresentam na porção central formas esféricas ou subesféricas, como composição micrítica e ricas em vacúolos. Não apresentam núcleos e sua estrutura interna é variada, desde estruturas radiadas a vacuoladas (Terra *et al.*, 2010).

Intraclastos são fragmentos penecontemporâneos de sedimentos carbonáticos, parcialmente litificados, que são erodidos e redepositados. Os intraclastos podem ser de fragmentos de lama parcialmente consolidada ou de areia carbonática parcialmente litificada. O reconhecimento da composição dos intraclastos em uma rocha carbonática pode ser muito importante para as reconstituições paleoambientais (Terra *et al.*, 2010).

Os bioclastos são os principais constituintes das rochas carbonáticas e englobam todos os fósseis de estruturas calcárias de organismos ou os fragmentos destas estruturas (Terra *et al.*, 2010). Entre os principais constituintes bioclásticos presentes nas rochas carbonáticas destacam-se fragmentos de gastrópodes, bivalvos, espinhos e placas de equinóides e crinóides, foraminíferos bentônicos e planctônicos, algas calcárias, briozoários, corais, entre vários outros.

3.2.1.2. *Matriz carbonática*

Segundo Terra *et al.* (2010), lama carbonática é um dos constituintes mais comuns e abundantes das rochas carbonáticas. Frequentemente, o termo é utilizado como sinônimo de micrita, mas micrita refere-se apenas a carbonato de granulação argila, composto por cristais com dimensões entre 1 μm e 4 μm . Diversos limites granulométricos já foram utilizados para estabelecer o tamanho máximo dos constituintes da matriz. Atualmente, todo material menor que 0,0625 mm, que corresponde ao tamanho silte, é tratado como matriz.

Segundo Folk (1962), a micrita pode se formar de diferentes maneiras: (1) rápida precipitação química ou bioquímica no fundo oceânico; (2) por segregação diagenética; (3) produto da abrasão de carbonatos preexistentes.

3.2.1.3. *Cimento*

Outro constituinte bem frequente nas rochas carbonáticas é o cimento. A cimentação ocorre quando os fluídos nos poros estão supersaturados com a fase da cimentação. Há um fluxo desses fluidos e não ocorrem fatores cinéticos que inibam a sua precipitação. Os minerais carbonáticos mais importantes relacionados ao processo de cimentação são aragonita, calcita magnesiana, calcita de baixo teor de magnésio e dolomita. O cimento é sempre o preenchimento de algum espaço poroso existente na rocha (Terra *et al.*, 2010).

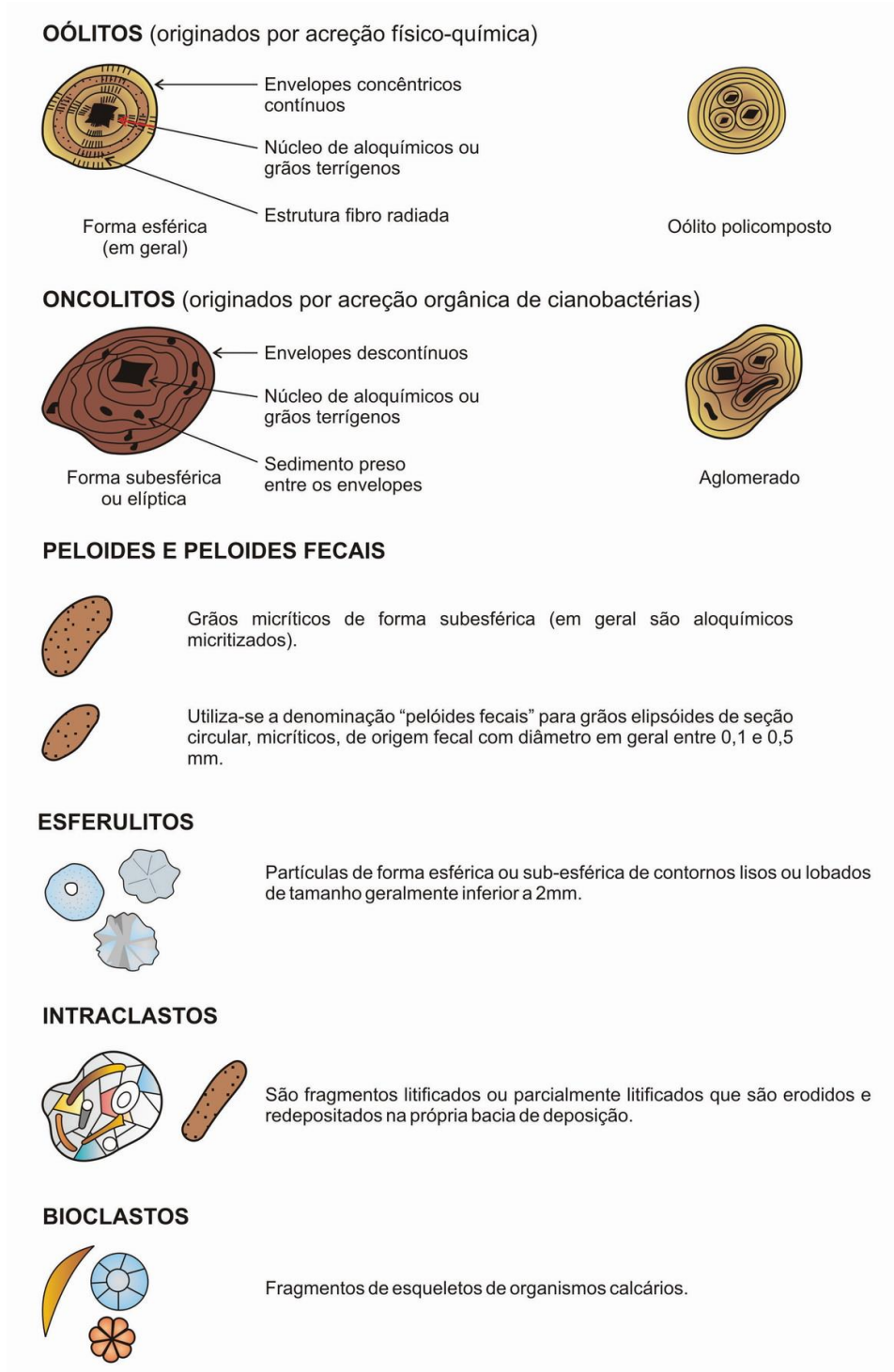


Figura 3.4: Resumo das principais características dos grãos aloquímicos. Retirado de Terra *et al.* (2010).

3.2.2. Classificação das rochas carbonáticas

As rochas carbonáticas apresentam diversas propostas de classificação, dentre as quais se destacam Folk (1959, 1962), Dunham (1962), Embry & Klovan

(1971) e Riding (2000). Terra *et al.* (2010) reúnem, adaptam e modificam essas propostas, além de introduzir novas denominações.

3.2.2.1. Classificação de Folk (1959, 1962)

Esta é uma classificação litológica, baseada essencialmente nos componentes da rocha carbonática, isto é grãos aloquímicos, matriz e cimento. A classificação abrange quatro grupos básicos: (1) carbonatos onde os grãos aloquímicos estão cimentados por calcita espática; (2) carbonatos com grãos aloquímicos em matriz de calcita microcristalina; (3) carbonatos formados por calcita microcristalina sem presença de aloquímicos, e (4) carbonatos formados por estruturas orgânicas desenvolvidas *in situ*, denominados por ele de biolíticos. Os primeiros grupos abrangem as rochas aloquímicas, o terceiro compreende as rochas ortoquímicas e o quarto grupo é representado pelas rochas recifais e construções autóctones (Figura 2.1).

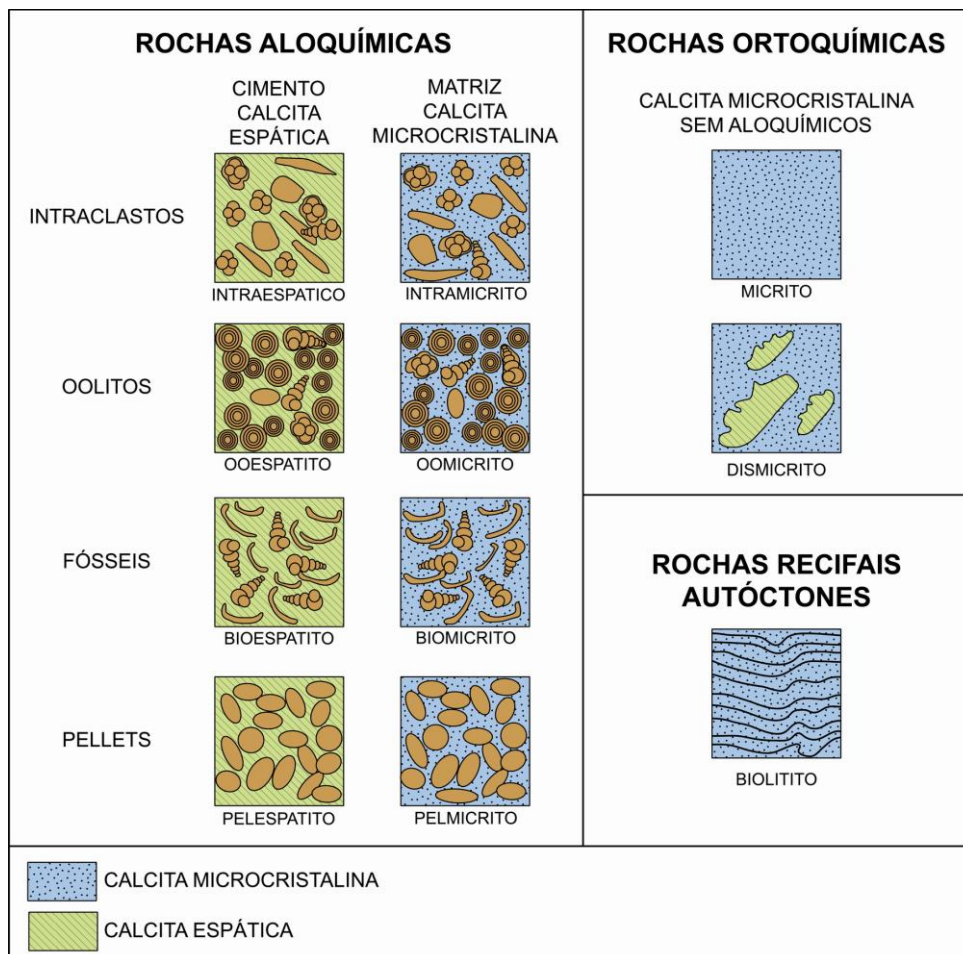


Figura 3.5: Classificação de rochas carbonáticas segundo Folk (1959, 1962). Extraído e adaptado de Terra *et al.* (2010).

3.2.2.2. Classificação de Dunham (1962)

Esta classificação é baseada essencialmente na textura deposicional da rocha carbonática (Figura 3.6). Segundo Dunham (1962), três feições são especialmente úteis para classificar carbonatos que preservam sua textura deposicional: (1) a presença ou ausência de lama carbonática; (2) a abundância de grãos, que permite subdividir os carbonatos lamosos em *mudstones* (menos de 10% de grãos), *wackestone* (mais de 10% de grãos) e *packstones*, e (3) a evidência de trapeamento de sedimentos durante a deposição do carbonato que caracteriza o *boundstone*. Rochas carbonáticas que praticamente não preservam feições deposicionais são consideradas à parte, e são denominados carbonatos cristalinos.

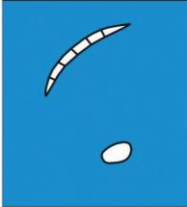


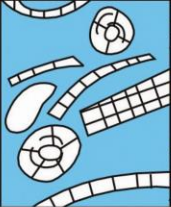


TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL					Textura deposicional não-reconhecível
Componentes originais não-ligados durante a deposição				Componentes originais ligados durante a deposição	
Contém Matriz (Partículas tamanho argila/silte fino)			Sem matriz, grão-suportado		
Suportado pela matriz		O arcabouço é grão-suportado com matriz			
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Boundstone</i>	<i>Crystalline</i>
					

Figura 3.6: Classificação de rochas carbonáticas segundo Dunham (1962). Retirado de Terra et al. (2010).

3.2.2.3. Classificação de Embry & Klovan (1971)

Esta classificação é uma ampliação da classificação de Dunham (1962) para rochas recifais. Embry & Klovan (1971) utilizaram a classificação de Dunham (1962), eliminando a categoria *Bounstone* e incluindo mais cinco categorias: *Floatstone*, *Rudstone*, *Bindstone* e *Framestone* (Figura 3.7).











CALCÁRIOS ALÓCTONES					CALCÁRIOS AUTÓCTONES				
Componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição (<10% grão >2 mm)				Textura deposicional não-reconhecível	Componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição		Componentes originais ligados organicamente durante a deposição		
Contém Matriz (Partículas tamanho argila/silte fino)					>10% grãos >2 mm		Organismos que atuam como obstáculos	Organismos que encrustam e ligam	Organismos que constroem um arcabouço rígido
Suportado por matriz		Sem matriz, grão-suportado	Suportado pela matriz		Suportado por componentes maiores que 2 mm				
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos					O arcabouço é grão-suportado com matriz			
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Crystalline</i>	<i>Floatstone</i>	<i>Rudstone</i>	<i>Bafflestone</i>	<i>Bindstone</i>	<i>Framestone</i>
									

Figura 3.7: Classificação de rochas carbonáticas segundo Embry & Klovan (1971). Retirado de Terra *et al.* (2010).

3.2.2.4. Classificação de Terra *et al.* (2010)

Esses autores sugerem uma junção das diversas classificações clássicas existentes, adaptando ou modificando alguns termos, além de introduzir novas denominações. As rochas carbonáticas foram divididas em quatro grupos de acordo com a textura deposicional: (1) elementos não ligados durante a formação (*mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *floatstone*, *rudstone*, bioacumulado e brecha); (2) elementos ligados durante a formação *in situ* (*boundstone*, estromatólito, tombolito, dendrolito, leiolito, esferulitito, travertino & tufa); (3) elementos ligados ou não durante a formação (laminito, liso e crenulado), e (4) textura deposicional não reconhecível (calcário cristalino, dolomito) (Figura 3.8).

Classificação de Rochas Carbonáticas Aplicável às Bacias Sedimentares Brasileiras								
NOMENCLATURA PRINCIPAL	TEXTURA	DEFINIÇÃO	NOMENCLATURA COMPLEMENTAR	REFERÊNCIA OU MODIFICADO DE	TERMOS CORRELATOS	TEXTURAS MODIFICADORAS	TAMANHO MÉDIO DOS ELEMENTOS EM CORTE VERTICAL E EMPACOTAMENTO	FORMA EXTERNA (escala de testemunhos)
Elementos não ligados durante a formação								
MUDSTONE		Rocha suportada pela matriz com menos de 10% de grãos (tamanho área ou maior)	COM (Caso ocorram grãos) oolitos, oncolitos, pelóides, pelóides fecais, intraclastos, bioclastos, esterilitos ou CALCULITTO A BIRSEYES- rocha suportada pela matriz com porosidade fenestral ou lenites de calcita espálica.	Dunham (1962)	Calcilito, Diemictro, mudstone a birseayes.			
WACKSTONE		Rocha suportada pela matriz com mais de 10% de grãos (tamanho área ou maior)	COM (para os grãos) - oolitos, oncolitos, pelóides fecais, intraclastos, bioclastos, esterilitos.	Dunham (1962)				
PACKSTONE		Rocha suportada pelos grãos com matriz.	** (composição principal) oolítico, oncolítico, peloidal fecal, intraclastos, bioclastos, esterilitos, com fragmentos de estromatolitos, trombolitos, laminitos, leólitos.	Dunham (1962)	Calcarenito, oomictido, biemictro, peimetro.			
GRAINSTONE		Rocha suportada pelos grãos, sem matriz (< 5% de matriz).	** (composição principal) oolítico, oncolítico, peloidal fecal, intraclastos, bioclastos, esterilitos, com fragmentos de estromatolitos, trombolitos, laminitos, leólito, dendroito.	Dunham (1962)	Calcarenito, oocospalito, biocospalito, pelespalito, intraespalito	C/ feições de exposição; Com feições pedogenéticas; Bioturbado; Dolomitizado; Silicificado; Com <i>Hardgrounds</i> ; etc.		
FLOATSTONE		Rocha suportada pela matriz com mais de 10% dos grãos maiores que 2 mm.	COM (para os grãos) - oolitos, oncolitos, pelóides, pelóides fecais, intraclastos, bioclastos, esterilitos. Com fragmentos de estromatolitos, trombolitos, laminitos, leólito, dendroito.	Emery&Klovan (1971)				
RUDESTONE		Rocha suportada pelos grãos com mais de 10% dos grãos maiores que 2 mm.	** (composição principal) oolítico, oncolítico, peloidal fecal, intraclastos, bioclastos, esterilitos; com fragmentos de estromatolito, trombolito, laminito, leólito, dendroito, esterilito.	Emery e Klowan (1971)	Brecha			
BIACUMULADO		Rocha constituída pela dominância de um tipo de organismo sem retabamento (<i>in situ</i>) e granulometria área ou maior.	** (organismo formador ex. oitracóides, bivalvos, macroforaminíferos, crinóides, etc...	Carozzi (1972)				
BRECHA		Rocha suportada pelos grãos com mais de 50% dos grãos angulosos maiores que 2 mm.	** (composição principal) intraclastica, com fragmentos de estromatolito, trombolito, laminito, leólito, dendroito, esterilito.	Flugel (2004), Pettipin (1974)	Brecha de Colapso, Breccia, Rudstone com clastos angulosos			
Elementos ligados durante a formação - <i>in situ</i>								
BOUNDSTONE		Rocha formada <i>in situ</i> cujos componentes da trama original (fábrica original) foram ligados durante a deposição.	** (principais organismos formadores: ex. coralgais, a rudistas, a estromatoporóides, etc...	Dunham (1962)	Bolito, Bafflestone, Bindstone, Framestone, Siliacado, etc.			
ESTROMATOLITO		ESTROMATOLITO ARBORESCENTE - os componentes internos se organizam de forma ramificada divergente e possuem comprimento maior que a largura.					Muito pequeno - 0,2 cm Pequeno - 0,5 a 1,0 cm Médio - 0,5 a 1,5 cm Grande - 1,5 cm Denso: todos os elementos se tocam; Normal: alguns elementos se tocam; Aberto: raros ou nenhum dos elementos se tocam	Finamente laminado Levente dômico Dômico Tabular Colunar Conforme
TROMBOLITO		ESTROMATOLITO ARBUSTIFORME - os componentes internos se ramificam ou não desde a base e a razão altura/largura é aproximadamente 1:1.		Riding (2000)		Mosqueado (<i>modified</i>) Bioturbado		
DENDROLITO		ESTROMATOLITO DENDRIFORME - os componentes internos se organizam de forma intensamente ramificada divergente em que o comprimento é muito maior que a largura.				C/ feições de Exposição		Levente dômico, Dômico, Colunar
LEIOLITO		Depósito com textura microscópica coagulada (clotted) , maciça e dômica. Na maioria das vezes de origem microbial.				Dolomitizado; Silicificado, etc.		Levente dômico, Dômico
ESPERULITTO		Depósito microbial de estrutura dendrítica formada por cianobactérias esqueléticas.						Levente dômico, Dômico
TRAVERTINO & (TUFA)		Carbonato microbial dômico, sem laminação ou colgatos.						
Elementos ligados ou não								
LAMINITO		Rocha composta por partículas de formas esféricas ou subesféricas de contornos lisos ou tobaços (esterilitos) de tamanho geralmente inferior a 2 mm e que podem ocorrer de forma amalgamada ou isolados.	ESTERILITO-suportado com argila (>10%)= ESFERULITTO COM ARGILA. Argila-suportado, com esterilitos= ARGILITO COM ESFERULITOS; No caso da argila ocorrer em lamelas= ARGILITO LAMELAR COM ESFERULITOS	Este trabalho Pettipin (1957)				
CALCÁRIO CRISTALINO		Rocha carbonática de granulação fina (lamosa e/ou peloidal) formada pela recorrência de laminações delgadas. As laminações tendem a ser plano-paralelas, com superfície lisa (origem microbial ou não) ou crenulada (origem microbial).	LISO CRENULADO	Demico (1994)	Estera, estera microbial, tapete microbial, estera algal, laminito microbial, Bolaminito			
DOLOMITO		Rocha carbonática totalmente recristalizada não sendo possível identificar sua textura original (deposicional). CALCÁRIO MICROCRISTALINO: cristais entre 5 e 50 µm Rocha carbonática totalmente dolomitizada não sendo possível identificar sua textura original (deposicional). MICRODOLOMITO: cristais entre 5 e 50 µm		Folk (1962), Dunham (1962)	Espalito Microespalito Doloespalito Microdoloespalito			

Figura 3.8: Classificação de rochas carbonáticas sugerida por Terra *et al.* (2010). Retirado de Terra *et al.* (2010).

4. MÉTODOS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

O presente trabalho foi dividido em três etapas principais, sendo elas: Pré-campo, Campo e Pós-campo.

Na etapa Pré-campo foram desenvolvidos todos os procedimentos que antecedem o período de campo. O objetivo foi identificar afloramentos mais representativos e os seus principais acessos. Para isso foram utilizadas imagens aéreas ortorretificadas na escala 1:10.000, além de mapas de localização e geológicos.

Na etapa de campo, realizado entre os dias 20 de julho e 02 de agosto de 2013, o foco principal foi adquirir dados através do levantamento de perfis colunares, levantamento de perfis quimioestratigráficos, aquisição de fotografias das fácies e dos afloramentos e amostragem para estudos petrográficos e de microscopia eletrônica de varredura.

A etapa pós-campo consistiu no refinamento, na integração e na interpretação dos dados adquiridos em campo. Compreendeu a digitalização das seções colunares e construção das seções laterais (fotomosaicos), interpretação e correlação dos dados quimioestratigráficos e litológicos, confecção e descrição de lâminas.

A revisão bibliográfica, que foi realizada durante todas as etapas do projeto, correspondeu ao levantamento bibliográfico atualizado de trabalhos, artigos e publicações relacionadas às rochas carbonáticas em geral, e deu suporte tanto para os estudos iniciais quanto para as interpretações e conclusões.

A seguir serão descritas as principais atividades realizadas nas três etapas mencionadas.

4.1. Análise faciológica

O conhecimento sobre as técnicas de análise faciológica auxilia para uma boa descrição das fácies e constitui a principal ferramenta para uma correta interpretação dos sistemas deposicionais.

O conceito de fácies é definido como um corpo rochoso com características específicas, podendo ser uma camada apenas ou um conjunto delas, conforme citado e debatido por Walker (2006) e por tantos outros autores até então. Reading (1996) conceitua como um corpo de rocha distinto que se formou sobre certas condições de sedimentação, refletindo um processo particular, um conjunto de condições ou um ambiente. A fácies é definida pelos seguintes atributos: cor, composição, textura, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero.

Para a descrição das fácies carbonáticas, retrabalhadas ou bioconstruídas, adotou-se a nomenclatura e os códigos propostos em Terra *et al.* (2010), trabalho que reúne e adapta as principais propostas para classificação de carbonatos vigentes (Folk, 1959, 1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971; R. E. Riding & Awramik, 2000). As fácies descritas foram divididas em dois grupos: (1) com elementos ligados durante a formação (rochas bioconstruídas) e (2) com elementos não ligados durante a formação.

Para as rochas bioconstruídas, utilizou-se o termo genérico microbialito que, segundo Burne & Moore (1987) refere-se a depósitos biossedimentares formados pela interação entre comunidades microbianas bentônicas e sedimentos. Os microbialitos foram divididos conforme a morfologia e ocorrência utilizando como base a classificação de Logan *et al.* (1964) - mostrada na Figura 4.1 - e o método operacional desenvolvido no projeto MICROBIAIS (Scherer *et al.*, 2014), em que essas rochas são divididas de acordo com a proporção dos seus diferentes tipos/fábrica. Essa divisão tornou-se necessária devido à importância para compreensão dos ciclos básicos na análise sequencial de alta resolução, método a ser explanado mais adiante.

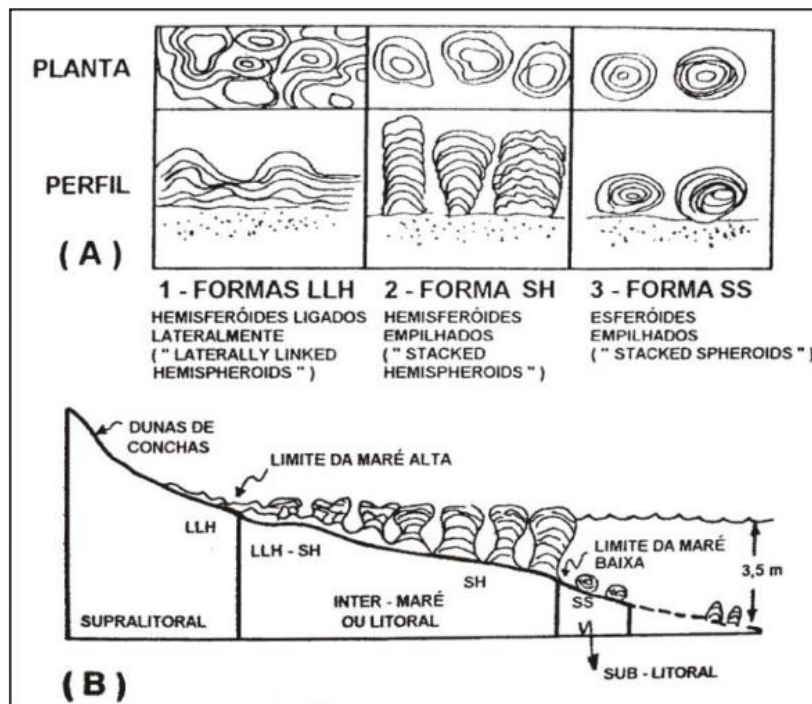


Figura 4.1: Esquema exhibe a distribuição de estromatólitos holocênicos com diferentes morfologias vistas em planta e perfil (A) e batimetria associada (B). Adaptado de Logan *et al.* (1964).

Em campo a composição da rocha, se calcítica ou dolomítica, foi feita visualmente a partir da resposta da fácies ao ataque de ácido clorídrico (HCl), concentrado a 10%.

As diferentes fácies foram agrupadas em associações de fácies que caracterizam subsistemas deposicionais e implicam em um significado genético dentro de sistemas deposicionais previamente definidos (Collinson, 1969; Miall, 1984). Através da identificação das fácies e das suas associações pode-se inferir um sistema deposicional, de acordo com o método proposto em Walker & James (1992).

4.2. Perfis colunares

O levantamento de um perfil colunar é uma maneira de representar graficamente a sucessão vertical de fácies de uma área aflorante, visando analisar o padrão de acumulação do sistema deposicional em questão.

Através do levantamento do perfil colunar é possível sumarizar um grande volume de dados, ter uma impressão da sucessão vertical de fácies, identificar as

possíveis repetições e mudanças nas fácies e ainda correlacionar seções de idades similares em diferentes lugares.

O perfil colunar é representado em dois eixos, o horizontal indica a granulometria do sedimento que forma cada camada e, no vertical, é representada a espessura de cada estrato e o empilhamento destes na escala escolhida (1:20) e estruturas presentes em cada pacote de rocha sedimentar.

No levantamento dos perfis utilizou-se uma trena para a determinação das espessuras das fácies e um modelo de perfil colunar, adaptado do projeto ao qual essa pesquisa está inserida. Neste modelo, o cabeçalho apresenta espaços para o preenchimento de informações básicas de cada afloramento. O restante da folha é utilizado para o preenchimento da coluna estratigráfica e suas descrições, conforme vistas anteriormente, além de informações associadas como espessura das fácies, código e descrição das fácies, medidas estruturais, como o acamamento sedimentar (S_0), estruturas sedimentares e geometria, amostras e fotos (Figura 4.2).

4.3. Fotomosaico

Fotomosaico é o resultado da união e sobreposição de um conjunto de fotografias tiradas de um afloramento com o intuito de representar a extensão lateral do mesmo, permitindo assim identificar as principais fácies, associações de fácies, elementos arquiteturais e superfícies-limítrofe.

As fotografias são obtidas com câmera fotográfica digital ao longo da extensão lateral do afloramento com uma escala de referência. Para evitar distorções nas imagens adquiridas é fundamental manter uma distância adequada e constante e um correto posicionamento da câmera em relação ao afloramento. Segundo Wizevich (1991), para minimizar a distorção de perspectiva é importante que o plano focal da câmera esteja paralelo à face do afloramento e à distância adequada para que abranja toda a extensão vertical do afloramento, aumentando assim a precisão das relações espaciais nas imagens (Figura 4.3).

Para evitar erros no momento de captura das imagens, o autor acima citado sugere que as fotografias sejam obtidas com uma superposição de aproximadamente 60% para facilitar a posterior montagem do fotomosaico.

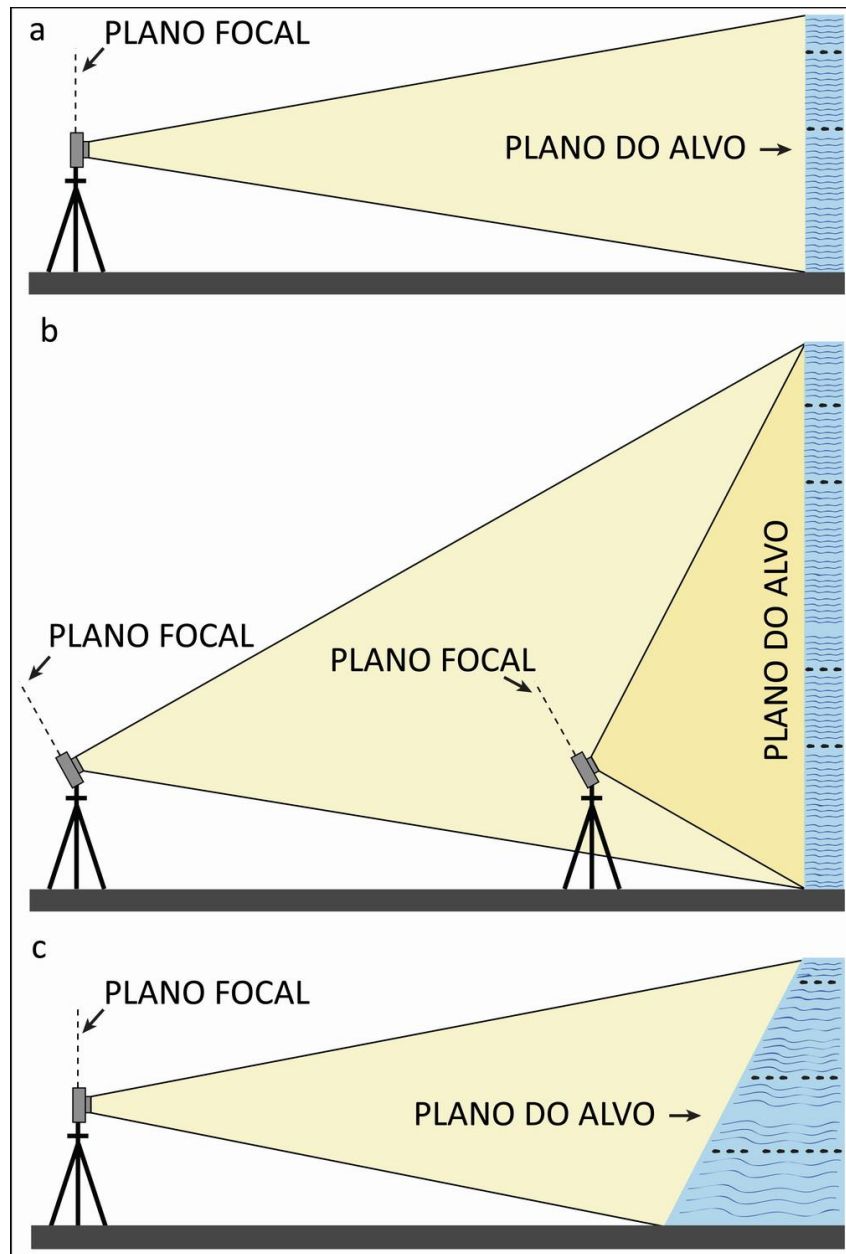


Figura 4.3: Esquema que apresenta as posições da câmera fotográfica em relação à superfície do afloramento para os casos em que a distorção perspectiva (a) não é existente; (b) resulta da inclinação da câmera para conseguir incluir todo o afloramento para dentro da imagem quando a altura do afloramento é relativamente grande para a distância da câmera para o afloramento; e (c) é causada pela inclinação da superfície do afloramento. Figura modificada de Wizevich (1991).

As fotografias foram obtidas com uma câmera digital modelo NIKON 5100 e lente SIGMA NIKON 50/500 mm e selecionadas para montagem de fotomosaicos no programa *Microsoft Image Composite Editor* ou *Adobe Photoshop 7.0*. Depois de montados, os fotomosaicos foram interpretados com o auxílio do programa *Adobe Illustrator Cs4*.

4.4. Fluorescência de Raios-X Portátil

A análise de Fluorescência de Raios-X (FRX) é uma técnica não destrutiva que permite identificar e determinar a concentração de elementos maiores e traços presentes na amostra analisada.

A análise consiste em bombardear a amostra com fótons de alta energia a fim de provocar a excitação dos átomos da substância que pretendemos analisar. Quando um átomo no estado fundamental fica sob a ação de uma fonte externa de energia, no caso raios-X, ele absorve esta energia, promovendo elétrons a níveis mais energéticos. Como na natureza tudo tende a buscar o estado de estabilidade, o átomo excitado tende naturalmente a retornar ao seu estado fundamental, ocorrendo uma emissão de energia, ejetada do átomo na forma de um fóton de raios-X com energia característica daquele elemento. Esta energia é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação e correspondente quantificação (Hinrichs, 2012).

O equipamento de análise consiste de um dispositivo de excitação de amostra e de um dispositivo que analisa a resposta da amostra à excitação. A análise é feita por um espectrômetro de dispersão em comprimento de onda: um conjunto cristal com um detector adicional.

Instrumentos de FRX portáteis permitem visualizar de forma rápida e com precisão as mudanças de composição da rocha, no campo ou no laboratório. O princípio de funcionamento dos equipamentos de FRX portátil é o mesmo dos equipamentos tradicionais, já descrito acima.

O equipamento utilizado para o levantamento dos dados quimioestratigráficos foi o analisador portátil de fluorescência de raios-X, modelo Olympus Innov-X Delta (Figura 4.4), que pode ser utilizado diretamente no solo ou rocha (Figura 4.5). O equipamento foi calibrado em campo com amostras padrões NIST 2710a e NIST 2711a (Padrões de Materiais de Referência para conteúdo de Elementos) cuja certificação encontra-se em Mackey *et al.* (2010). Os dados foram adquiridos na sequência dos dois padrões mencionados, no início e no final de cada série de medidas entre as medidas de amostras desconhecidas.



Figura 4.4: Ilustração do analisador portátil de fluorescência por Raios-X (pFRX) modelo Olympus Innov-X Delta com a representação dos principais componentes. Fonte: <http://www.olympus-ims.com/pt/innovx-xrf-xrd/>



Figura 4.5: Levantamento dos perfis quimioestratigráficos com o equipamento de FRX portátil.

Os perfis quimioestratigráficos foram levantados em seções verticais, associados aos perfis colunares para uma possível correlação, em intervalos com

espaçamentos entre 30 e 60 cm e ortogonais ao acamamento primário da rocha. Dois modos foram executados para cada amostra para obter os dados de elementos químicos mais relevantes. O primeiro é o *Mining Mode* que fornece os principais elementos relacionados com a litologia da rocha (Si, Ca, Al, K, Fe...). O segundo é o modo *Soil Mode* que fornece uma lista de concentrações de elementos traço (Mo, U, Th, Rb, Zr, Mn, etc.). O tempo de cada medida foi de 60 segundos.

Leituras de "branco" (amostra de sílica fornecida pela Olympus) foram obtidas diariamente como controle de qualidade para monitorar possíveis contaminações ou interferências.

Os valores foram anotados em planilhas apropriadas e, ainda em campo, correlacionados ao perfil litológico correspondente. No escritório, os dados de ambos os modos foram tabulados em planilhas do aplicativo EXCEL e corrigidos. O valor de correção é obtido com o uso de regressão linear simples entre o valor medido na amostra padrão *versus* valor certificado obtido na amostra padrão. Na figura Posteriormente os dados dos elementos que apresentaram valor de correção próximo a 1 foram armazenados nos *softwares* ANASETE® para construção de perfis quimioestratigráficos.

Element: Mn

	standard name	measured values	certified values
1	Nist 2710a 29/07 M	0.2334	0.214
2	Nist 2710a 29/07 T	0.2325	0.214
3	Nist 2711a 29/07 M	0.0727	0.0675
4	Nist 2711a 29/07 T	0.0766	0.0675

R^2

factor

0.917

1.000

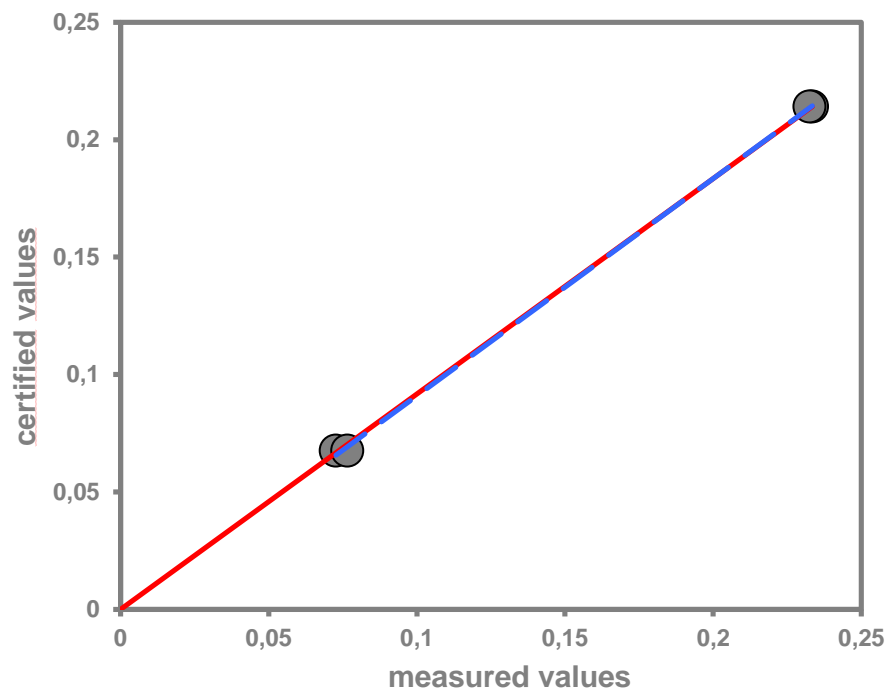


Figura 4.6: Exemplo de correlação para o elemento Mn. O fator de correlação é obtido com o uso de regressão linear simples entre o valor medido na amostra padrão *versus* valor da amostra padrão certificado pelo National Institute of Standards and Technology (Mackey *et al.*, 2010).

4.5. Microscopia óptica

Os estudos petrográficos tiveram como finalidade complementar a descrição das fácies com informações de difícil visualização no campo, como por exemplo, constituintes aloquímicos, matriz, diagênese, etc.

A preparação das amostras para a análise microscópica por luz transmitida consiste da confecção de lâminas delgadas, que são uma seção extremamente fina (da ordem de 0,03 mm) de uma rocha, solo ou mineral. É obtida quando um pedaço da amostra é cortado com uma serra, montada numa lâmina de vidro e polida com pó abrasivo progressivamente mais fino até a espessura da rocha ser apenas 0,03 mm. A vantagem principal é que todos os cristais e/ou minerais presentes na seção

tem uma mesma espessura, conhecida, o que permite determinar uma série de propriedades ópticas.

Foram confeccionadas 6 lâminas delgadas das principais fácies vistas no campo. A confecção das lâminas realizou-se na Unidade de Operações de E&P - Bacia de Santos – PETROBRAS.

As lâminas delgadas foram descritas, utilizando-se um microscópio óptico convencional, orientadas pelo seguinte roteiro da Figura 4.7:


		FOLHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DE CARBONATOS	
		© Gerson J. S. Terra Folha 1/1	
LÂMINA:		LOCAL/PERFIL:	
PROF.:	BACIA:	Fm.:	Unid.:
1. CONSTITUINTES			
2. RELAÇÕES TEXTURAIS/CONTATO ENTRE GRÃOS			
3. MATRIZ			
4. DIAGÊNESE			
5. TAMANHO DOS GRÃOS			
6. OUTROS FENÔMENOS DIAGENÉTICOS			
7. ESTRUTURAS SEDIMENTARES			
8. POROSIDADE			
9. NOME DA ROCHA			
10. INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL			
11. IDADE APROXIMADA			
12. OBSERVAÇÕES			

Figura 4.7: Roteiro de descrição das lâminas.

Foram obtidas também fotomicrografias das lâminas a fim de destacar e ilustrar feições importantes das mesmas.

4.6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O imageamento por MEV visou melhorar a caracterização das fácies, especialmente para definir com maior precisão a natureza microbiana das mesmas.

O princípio de um microscópio eletrônico de varredura consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra ou lâmina. Por um sistema de bobinas de deflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O feixe interagindo com a amostra produz elétrons e fótons que são coletados por detectores adequados e convertidas em um sinal de vídeo (Dedavid *et al.*, 2007). Dessa forma, é possível caracterizar propriedades da amostra, tais como composição, superfície topográfica, cristalografia, etc.

A imagem formada a partir do sinal captado na varredura eletrônica de uma superfície pode apresentar diferentes características, uma vez que a imagem resulta da amplificação de um sinal obtido de uma interação entre o feixe eletrônico e o material da amostra. Diferentes sinais podem ser emitidos pela amostra. Dentre os sinais emitidos, os mais utilizados para obtenção da imagem são originários dos elétrons secundários, que fornecem informações a respeito da topografia da área analisada, e/ou dos elétrons retroespalhados, que fornece informações sobre o número atômico médio da superfície analisada.

Foram analisadas 3 lâminas delgadas no microscópio JEOL 6610-LV do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto de Geociências da UFRGS.

Cada lâmina foi lavada com água, detergente e álcool e, após secagem, foi recoberta por uma delgada camada de ouro, através do metalizador DENTOM VACUUM - DESK V, a fim de torná-la condutora. Foi então, aderida em um suporte e analisada no microscópio eletrônico de varredura JEOL 6610-LV, em imagens por elétrons secundários, operando em alto vácuo, a 15 kV e distância de trabalho de 13 e 14 mm.

As imagens por elétrons secundários (*Secondary Electrons* ou *Secondary Electron Image*) no MEV resultam da interação do feixe eletrônico com o material da amostra. Estes elétrons resultantes são de baixa energia (< 50 eV), e formarão imagens com alta resolução (3-5 nm). O contraste na imagem é dado, sobretudo, pelo relevo da amostra, que é o principal modo de formação de imagem no MEV (Dedavid *et al.*, 2007).

4.7. Estratigrafia de sequências em alta resolução em rochas carbonáticas

Estratigrafia de sequência aplicada a afloramentos e testemunhos, estratigrafia de sequência em alta resolução, fornece uma melhor compreensão de fácies, geometrias e arquitetura de reservatórios e, por isto, constitui em ferramenta poderosa para a indústria de hidrocarbonetos e pesquisas acadêmicas (Aitken & Howell, 1996).

A análise estratigráfica em alta resolução aplicada às rochas carbonáticas se baseia na repetição cíclica de fácies e na presença de quebras significativas no registro, geralmente abruptas e com desenvolvimento de estruturas de dissolução/exposição. O método admite que o empilhamento de sequências carbonáticas seja regido por um padrão hierárquico e que essas sequências demonstram uma evolução na disponibilidade do espaço de acomodação, representada por fácies ora de ambientes mais rasos ora de ambientes mais profundos.

Strasser *et al.* (1999) definiram que sequências que mostram uma evolução de fácies correspondente ao ciclo mais curto reconhecível das mudanças ambientais (reflexo de alterações do nível de base) são chamadas de ciclos elementares ou básicos. Estes ciclos demonstram uma repetição no registro geológico que indica uma periodicidade dos fatores controladores da deposição e formação dos sedimentos que os compõem. Tipicamente as espessuras destes ciclos variam entre poucas dezenas de centímetros a poucos metros.

Ciclos elementares são empilhados em ciclos de pequena escala, que podem medir de um a vários metros. Os ciclos de pequena escala empilhados verticalmente formam ciclos de média escala que, por sua vez, podem formar ciclos de grande escala, com algumas dezenas de metros de espessura (Strasser *et al.*, 1999).

Enquanto os ciclos elementares são facilmente reconhecíveis pela mudança de fácies, sobretudo em carbonatos de água rasa em que fácies retrabalhamento são escassas, ciclos de pequena escala geralmente necessitam de um método adicional para o seu reconhecimento. Como exemplo, citam-se os trabalhos desenvolvidos por Scherer *et al.* (2014) e Freire (2012), que aliam levantamentos de perfis gama espectral e quimioestratigráfico, com FRX portátil, aos perfis litológicos para definição de ciclos de pequena a média escala.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Arquitetura deposicional

Foram levantados dois perfis colunares na escala de detalhe 1:20, totalizando 30,52 m de espessura. Para melhor representar o empilhamento vertical de fácies, estes perfis foram digitalizados no *software Adobe Illustrator CS4*. Os perfis colunares digitalizados encontram-se no Anexo 1.

5.1.1. Fácies

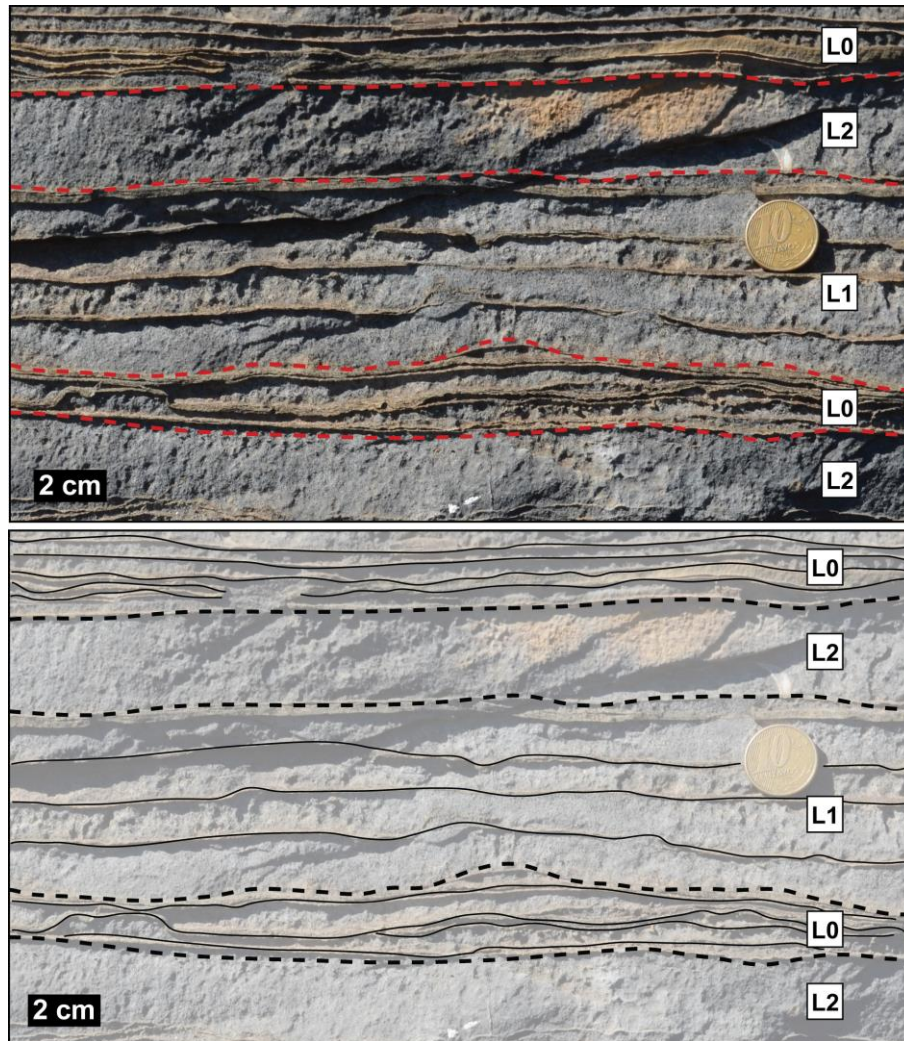
Com base nos perfis colunares levantados e das lâminas delgadas descritas foram individualizadas sete diferentes fácies sedimentares, identificadas a partir da combinação de texturas e estruturas.

5.1.1.1. Alternância entre microbialitos maciço e estratiforme

Descrição: Esta fácies é composta por carbonatos calcíticos, caracterizados por duas formas: (1) estratiforme, de coloração acinzentada, laminação plano-paralela a irregular, com espessura variando de milimétrica a centimétrica e (2) maciço, de coloração cinza escuro, de espessura milimétrica a centimétrica. Esta fácies ocorre na base das seções levantadas.

Os níveis maciços e estratiformes aparecem intercalando-se em diferentes proporções, conforme mostrado na Figura 5.1. Devido à importância dessa intercalação para a análise sequencial em alta frequência, optou-se por dividir essa fácies de acordo com as espessuras dos níveis maciços da seguinte maneira:

- L₀: espessura do nível maciço é < 0,5 cm;
- L₁: espessura do nível maciço é > 0,5 cm e < 1 cm;
- L₂: espessura do microbialito maciço é > 1 cm.



L0: espessura do nível maciço é $< 0,5$ cm;

L1: espessura do nível maciço é $> 0,5$ cm e < 1 cm;

L2: espessura do nível maciço é > 1 cm.

Figura 5.1: Espessuras dos níveis estratiformes *versus* espessuras dos microbialitos maciços.

As fácies L2, L1 e L0 apresentam uma geometria tabular, conforme visualizado Figura 5.2.

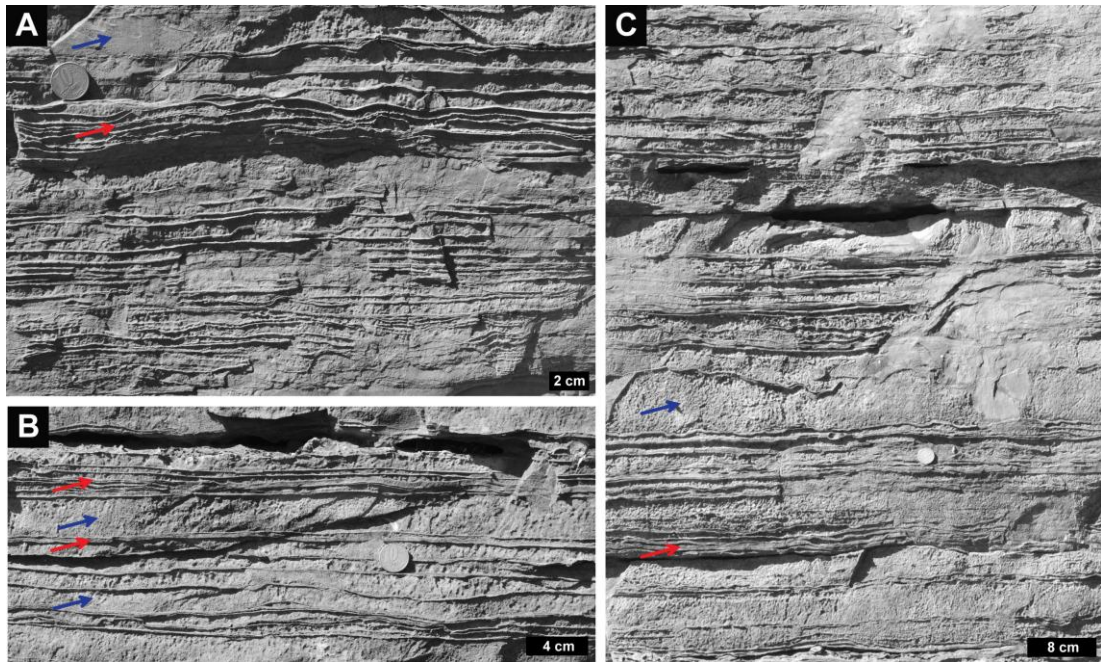


Figura 5.2: (A), (B) e (C) mostram os diferentes distribuições e aspectos macroscópico dos níveis estratiformes (setas vermelhas) e maciços (setas pretas).

Em lâmina delgada, os níveis maciços apresentam predominantemente textura microgrumosa, com diferentes níveis de recristalização. Nos níveis estratiformes, predominam filmes de dissolução, normalmente com dolomitização incipiente a intensa, e presença de matéria orgânica. Localmente há presença de quartzo preenchendo níveis de dissolução, fraturas preenchidas por calcita espática e raros grãos de quartzo angulares (Figura 5.3).

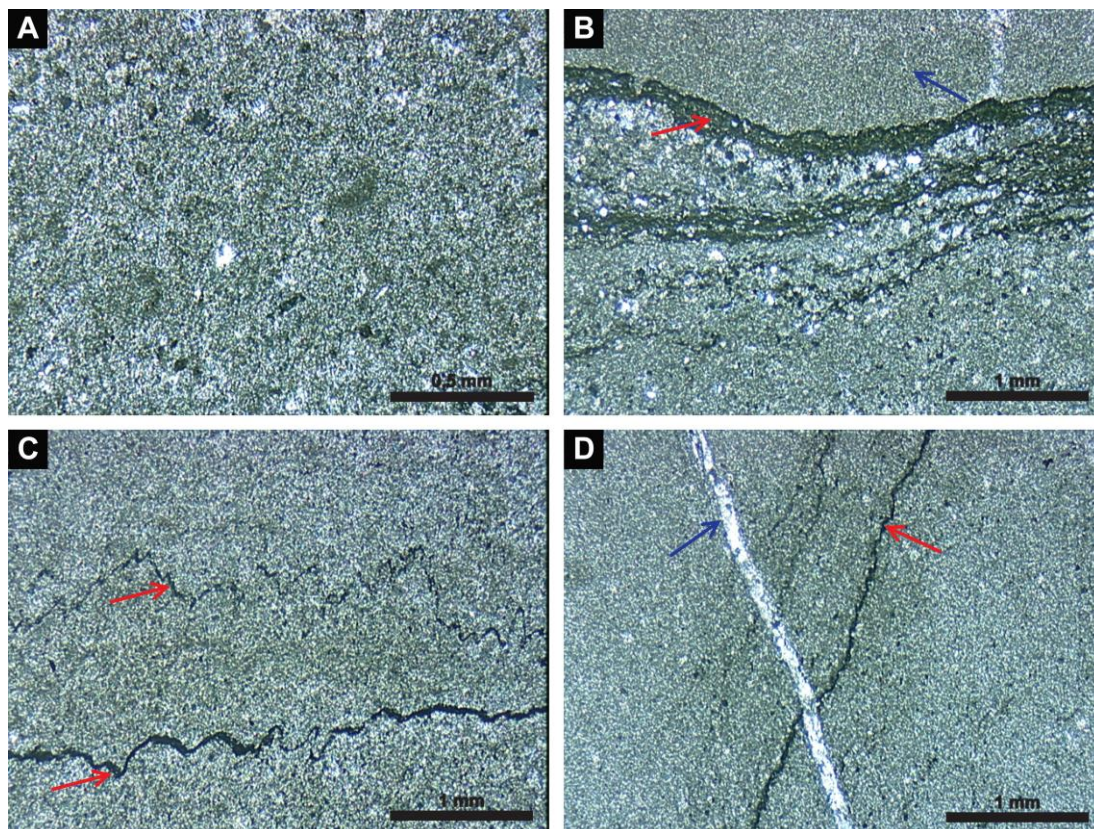


Figura 5.3: Aspecto microscópico da fácies: (A) textura microgrumosa; (B) filmes de dissolução (seta vermelha) e textura microgrumosa (seta azul); (C) textura microgrumosa e estilólitos (setas vermelhas); (D) textura microgrumosa, veio de calcita espática (seta azul) e filmes de dissolução (seta vermelha).

Interpretação: A alternância entre níveis maciços e estratiformes, associado à textura microgrumosa, permite interpretar esta fácies como depósitos biossedimentares formados pela interação entre comunidades microbianas bentônicas e sedimentos (Burne & Moore, 1987). A geometria tabular indica a formação de biostromas. O processo de formação consiste na precipitação mineral em uma matriz orgânica, constituída normalmente por cianobactérias, gerando uma estrutura bioinduzida (Dupraz *et al.*, 2009) ou a partir de processos de aglutinação “*trapping and binding*” onde cianobactérias filamentosas aprisionam os sedimentos presentes nas correntes de água que passam por entre as colônias e os envelopam sobre os filmes microbianos. Os filamentos destas bactérias “capturam” as partículas flutuantes do meio (Noffke *et al.*, 2001, 2003).

Segundo Hofmann (1976) o tipo de cianobactéria presente pode controlar o tecido interno dos microbialitos, por exemplo, cianobactérias filamentosas tendem a produzir estruturas laminadas, enquanto cianobactérias cocóides forma estratos maciços. A distribuição dos diferentes tipos cianobactérias construtoras é refletida

na morfologia e fábrica dos microbialitos e está relacionada às condições físico-químicas e hidrológicas do ambiente. A alternância maciço/estratiforme visualizada em campo é interpretada como resposta às mudanças nas condições citadas (Bahniuk *et al.*, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2014).

5.1.1.2. Estromatólito (ETR)

Descrição: Esta fácies é caracterizada por carbonatos calcíticos, de coloração acinzentada, na amostra sã, e ocre, nos níveis intemperizados, formando estratos com base plana e topo convexo. Internamente apresentam laminação ondulada, acompanhando a convexidade de topo. Em termos de dimensões, apresentam poucos centímetros, chegando ao máximo de 10 cm de espessura. Quanto a geometria externa (Figura 5.4), os corpos estromatolíticos variam de formas levemente convexas (LLH) a dômicas (LLH-SH), segundo a classificação de Logan *et al.* (1964). Diferenciam-se dos microbialitos estratiformes por apresentarem um crescimento mais pronunciado, formando estruturas levemente dômicas. Encontram-se normalmente associada aos microbialitos estratiformes e maciços, na base das seções estudadas.

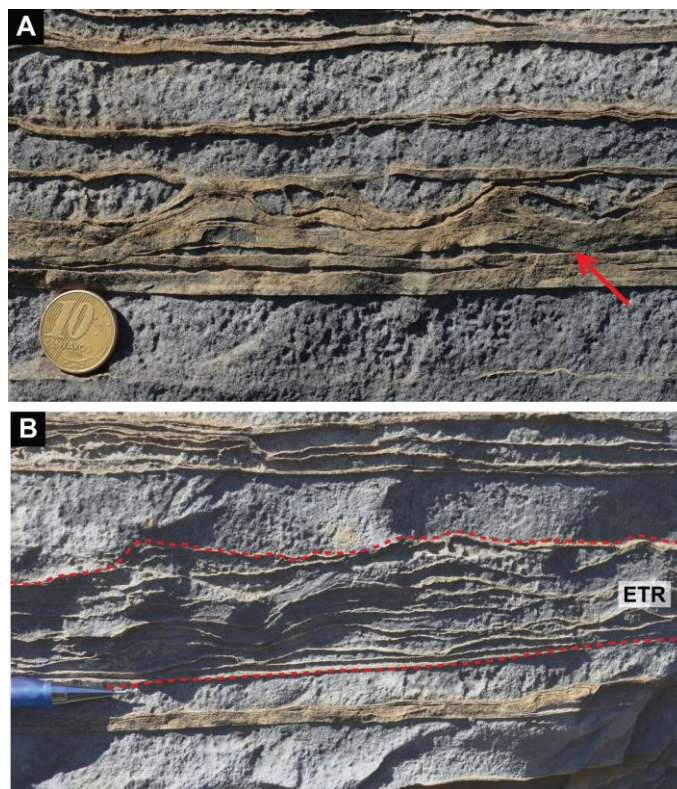


Figura 5.4: Estromatólitos encontrados na área de estudo: (A) e (B) formas levemente convexas (LLH) a dômicas (LLH-SH), segundo a classificação de Logan *et al.* (1964).

Interpretação: A presença de carbonatos com laminação ondulada, dispostas em camadas com base plana e topo convexo, sugere depósitos estromatolíticos. Os estromatólitos são estruturas organossedimentares formadas por processos de organomineralização (R. E. Riding & Awramik, 2000; Dupraz *et al.*, 2009). Esses processos correspondem à precipitação mineral em uma matriz orgânica, constituída normalmente por cianobactérias gerando uma estrutura bioinduzida, ou a partir da aglutinação, “*trapping and binding*” (Noffke *et al.*, 2001, 2003).

As variações de morfologia (LLH a LLH-SH) podem estar associadas a variações físico-químicas do meio (salinidade, temperatura, concentração de íons, lâmina d’água, etc) que permitem o maior ou menor desenvolvimento de um tipo de bactéria em relação à outra (Walter, 1976).

5.1.1.3. *Laminito crenulado (LMC)*

Descrição: Rocha carbonática de granulação fina formada pela recorrência de laminações finamente espaçadas, plano-paralelas e com a superfície crenulada (Figura 5.5). Apresenta coloração acinzentada e feições de dissolução, como estilólitos e pseudo-brechas, são comuns. Esta fácies ocorre na parte central e superior dos perfis levantados, em pacotes centimétricos a métricos. Por vezes a visualização das características e estruturas da fácies é dificultada devido à deformação (dobras e/ ou fraturas) que ocorre em parte do afloramento.

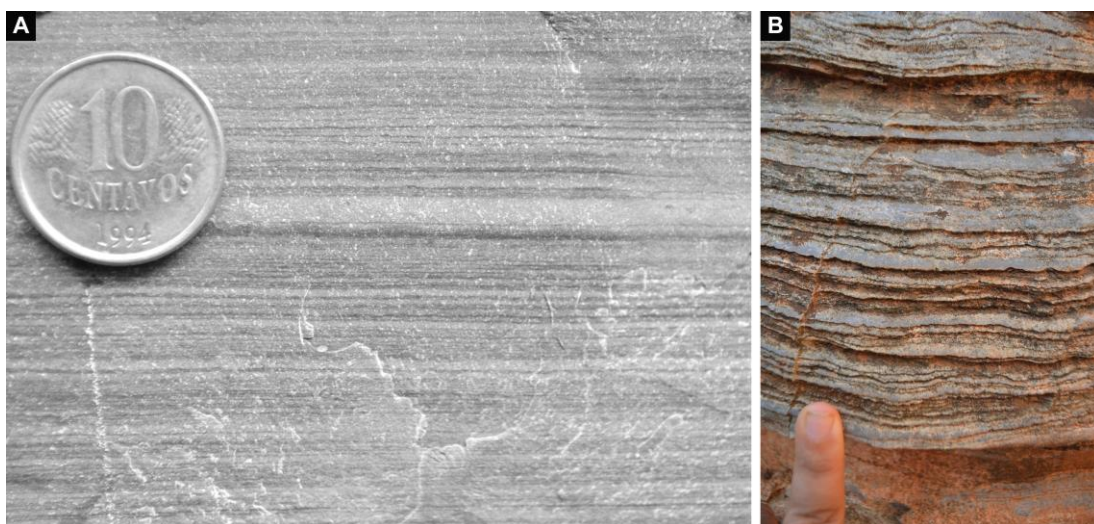


Figura 5.5: Aspecto macroscópico da fácies: (A) laminito crenulado com laminações finamente espaçadas e (B) laminito crenulado com feições de dissolução.

Em lâmina delgada, apresenta laminação plano-paralela, irregular a crenulada. Ocorre elevada concentração de filmes de dissolução normalmente associados à dolomitização (Figura 5.6).

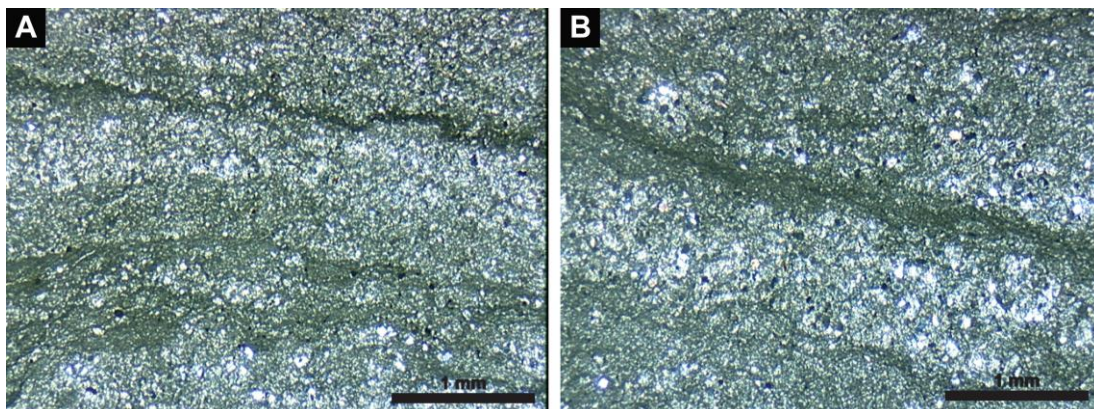


Figura 5.6: Aspecto microscópico da fácies laminito crenulado (LMC): (A) e (B) mostram a elevada concentração de filmes de dissolução, associados à dolomitização.

Interpretação: A recorrência de laminações delgadas, plano-paralelas e com superfícies crenuladas, atesta para a fácies LMC uma origem microbial (Terra *et al.*, 2010). Ao longo do tempo, formam-se sucessivas lâminas, cujo desenvolvimento depende da regularidade temporal, do tipo de substrato, e dos sedimentos, da baixa energia do ambiente e das condições físico-químicas do ambiente (Walter, 1976; Riding & Awramik, 2000).

O processo para formação desta rocha é do tipo bioconstrutivo, de forma direta (*Trapping and binding*) ou indireta. Demicco & Hardie (1994) citam, além do processo acima mencionado, o crescimento de sais entre lâminas e/ou compactação diferenciada, próxima ou não de minerais evaporíticos, como possíveis processos para formação de lâminas crenuladas. A geometria apresentada indica uma forma bioconstrutiva do tipo biostroma.

5.1.1.4. Mudstone (MUD)

Descrição: Calcilutito, cinza escuro, maciço ou com laminação incipiente. Apresenta estratos tabulares com espessura centimétrica (Figura 5.7). É comum a presença de concreções de sílica paralelas ao acamamento primário e feições de dissolução. Os *mudstones* ocorrem na parte superior dos perfis levantados.

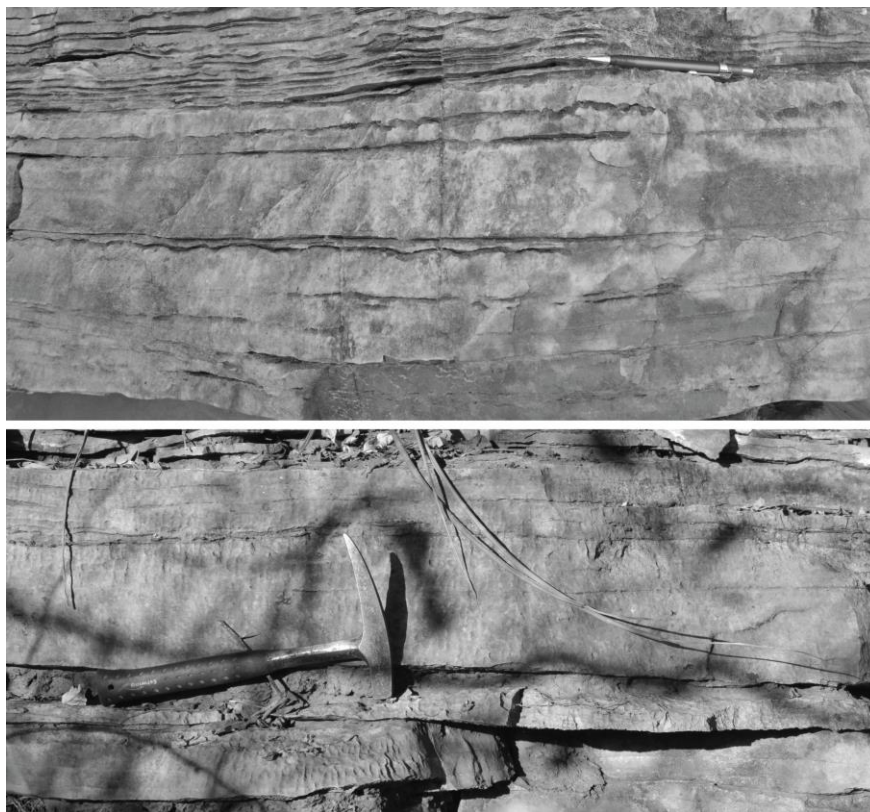


Figura 5.7: Aspecto macroscópico da fácies *mudstone* (MUD).

Interpretação: O principal processo envolvido na deposição desta fácies é a precipitação e/ou decantação de material fino, lama carbonática. Os processos envolvidos na produção desse material, no presente e no passado, podem ter de origem inorgânica e/ou orgânica. Conforme verificado em Flügel (2010) estes processos envolvem: (1) precipitação físico-química desencadeada pelas flutuações de salinidade e temperatura da água; (2) precipitação de carbonatos por alterações do microambiente devido a processos metabólicos de bactérias, cianobactérias; (3) processos metabólicos de cianobactérias e algas que causam precipitação de carbonato; (4) precipitação de carbonato mediada por matrizes orgânicas causando a formação de organomineralizações; (5) processos envolvidos na decomposição e desintegração dos esqueletos de algas calcárias e invertebrados em partículas finas. Atualmente a maioria dos exemplos modernos de deposição de lama carbonática é atribuída a processos de precipitação biogênica ou biologicamente induzida (Flügel, 2010).

5.1.1.5. *Grainstone* (GST)

Descrição: Calcarenito fino a médio, com menos de 5% de matriz. Em campo, apresentam geometria lenticular e poucos centímetros de espessura,

normalmente intercalados em laminitos crenulados ou no topo de *rudstones*, na parte superior das seções estudadas. Apresentam coloração acinzentada e estratificação cruzada *hummocky* (Figura 5.8).

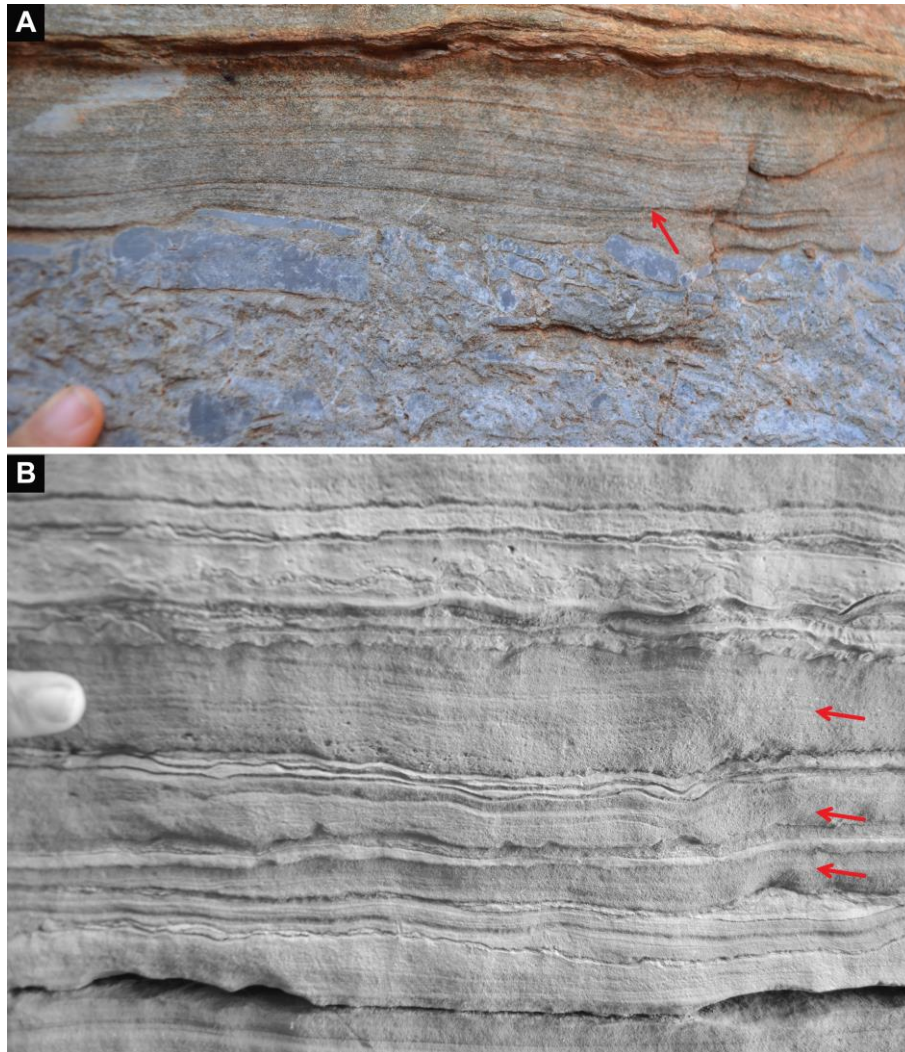


Figura 5.8: Aspecto macroscópico da fácies: (A) GST com estratificação cruzada *hummocky* (seta) em contato com RUD e (B) GST (setas) intercalado com LMC.

Microscopicamente os *grainstones* são constituídos por diferentes grãos aloquímicos, sendo reconhecíveis apenas os grãos peloidais, que representam cerca de 20% da lâmina. Ocorrem pequenas manchas que possivelmente são relíquias microbiais. Ocorrem feições diagenéticas como dolomitização, além de intensos e frequentes filmes de dissolução (Figura 5.9).

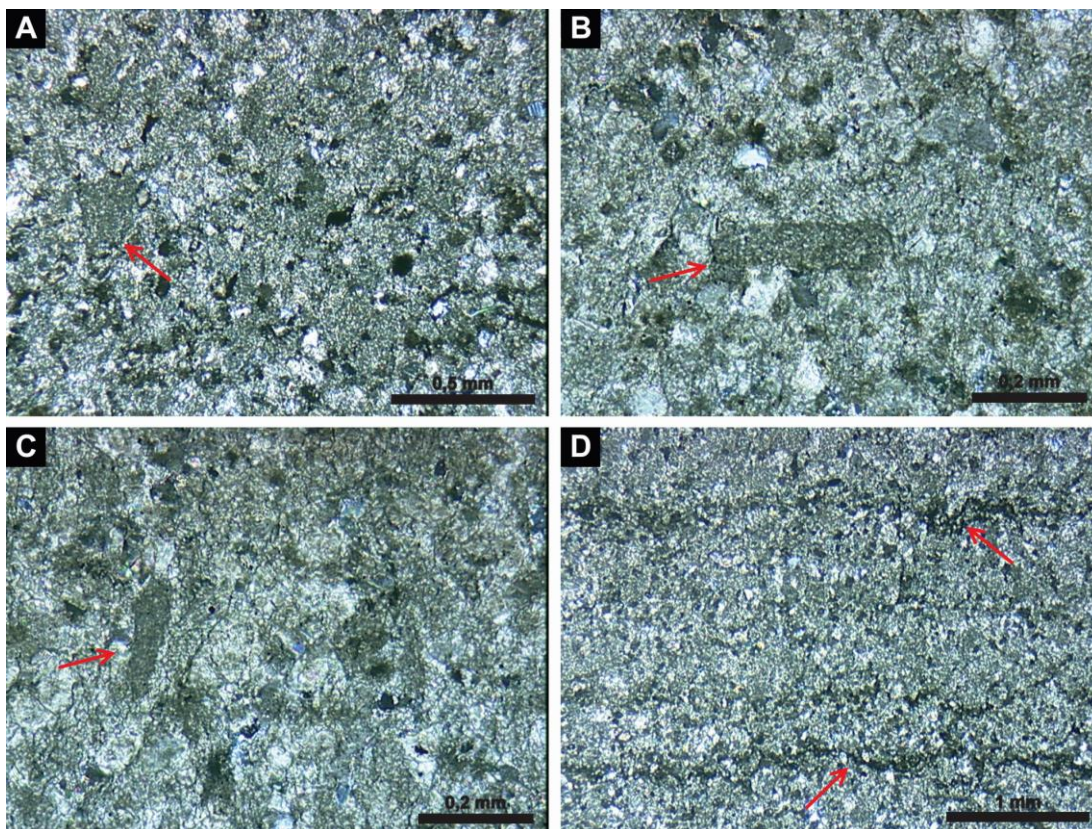


Figura 5.9: Aspecto microscópico da fácies *Grainstone*: (A), (B) e (C) detalhe dos pelóides (setas vermelhas) ainda preservados; (D) setas vermelhas indicando feições de dissolução.

Interpretação: *Grainstones* com laminação cruzada *hummocky* são interpretadas como produto de fluxos combinados (unidirecionais e oscilatórios) com predominância de fluxos oscilatórios gerados por ondas provocadas pela passagem de tempestades (Tucker & Wright, 1990; Demicco & Hardie, 1994).

5.1.1.6. *Rudstone (RUD)*

Descrição: Calcirudito suportado pelos grãos, de coloração cinza com mais de 10% de clastos maiores do que 2 mm. Os clastos apresentam forma tabular e são subangulares a sub-arredondados com dimensões variando de milímetros a centímetros. São compostos por fragmentos de microbialitos e *mudstones*. Formam camadas com espessura variando desde poucos centímetros até mais de um metro. Apresenta geometria tabular e, localmente, lenticular. Os níveis de RUD são maciços, sem organização interna. Raramente exibem gradação normal. Apresentam, normalmente, base reta ou pouco erosiva e topo irregular. Ocorrem na parte superior dos perfis (Figura 5.10). Esta fácies frequentemente é sobreposta por *grainstone* com estratificação cruzada *hummocky*.

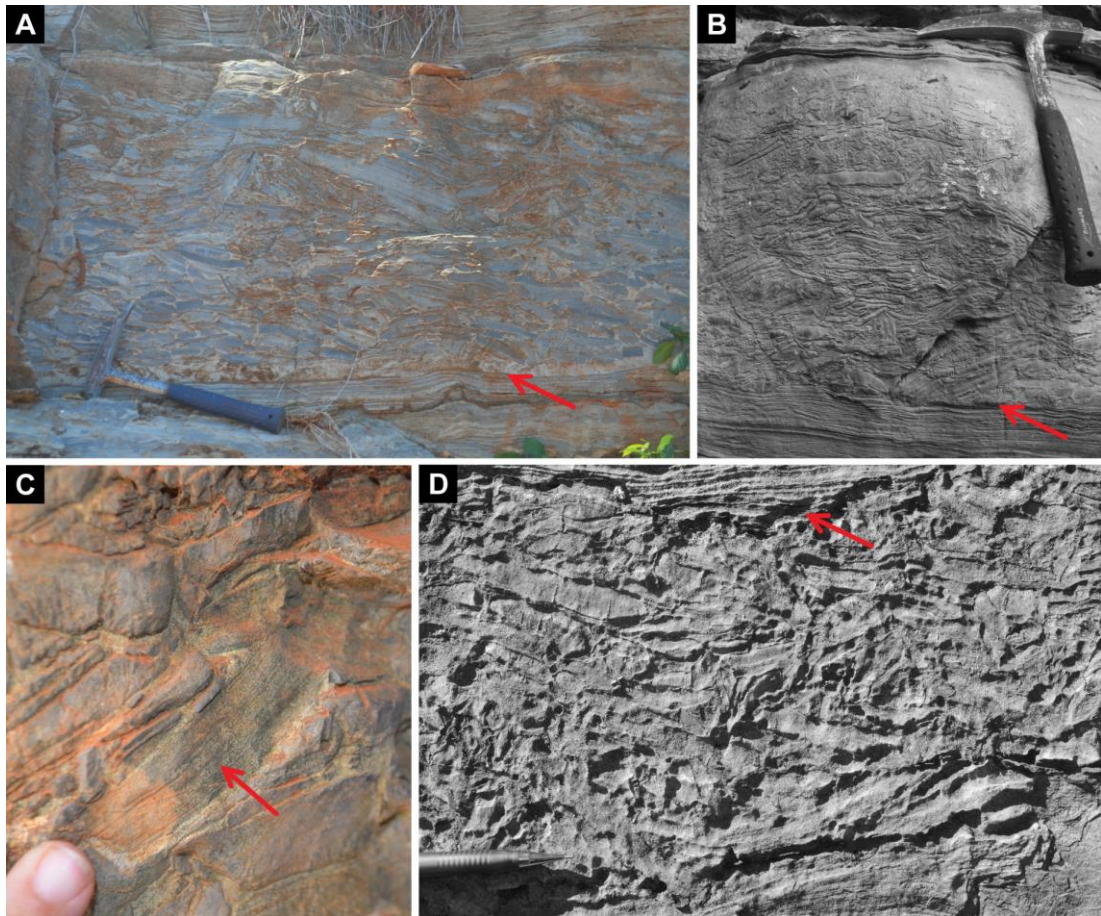


Figura 5.10: Aspecto macroscópico da fácies *Rudstone*, mostrando em (A) e (B) a estrutura maciça, a distribuição dos clastos e geometria tabular, com base pouco (setas) ; (C) detalhe de clastos de laminito (seta) e em (D) o tamanho e organização dos clastos e dissolução no topo (seta).

Microscopicamente é possível visualizar fragmentos dos clastos, cerca de 80% da lâmina, e matriz recristalizada e dolomitizada. Os clastos apresentam textura microgrumosa, comum de microbialitos. Os contatos entre os clastos são predominantemente suturados e marcados por filmes de matéria orgânica e feições de dissolução (Figura 5.11).

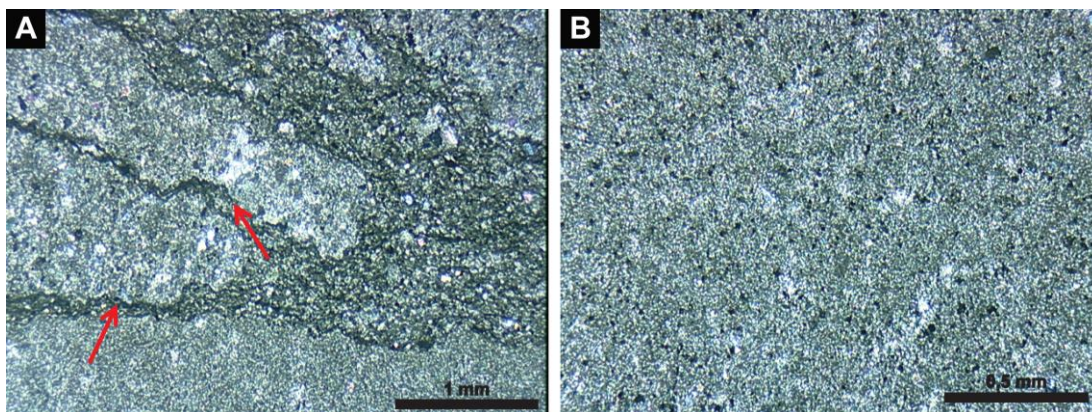


Figura 5.11: Aspecto microscópico da fácies Rudstone: (A) contato suturado dos clastos (setas); (B) detalhe da textura micogrumosa dos clastos.

Interpretação: Fluxo de detritos pseudo-plástico, com alta coesão interna, gerado a partir de eventos de tempestades que atuam sobre sedimentos carbonáticos pouco consolidados, que são erodidos e redepositados. De acordo com Tucker & Wright (1990) e Demicco & Hardie (1994), fácies geradas pelo processo acima apresentam aspecto textural do RUD descrito.

5.1.1.7. Brecha (BRC)

Descrição: Brecha composta por mais de 50% dos intraclastos de microbialitos, angulosos e lamelares, maiores que 2 mm, podendo alcançar no máximo 10cm. Apresentam poucos centímetros de espessura, geometria lenticular e a base e o topo são delineado por microbialitos estratiformes. A organização interna é clasto-suportada, onde os intraclastos apresentam-se inclinados a verticalizados, por vezes imbricados (Figura 5.12). Essa fácies aparece localmente, apenas na base do perfil RPR_1.

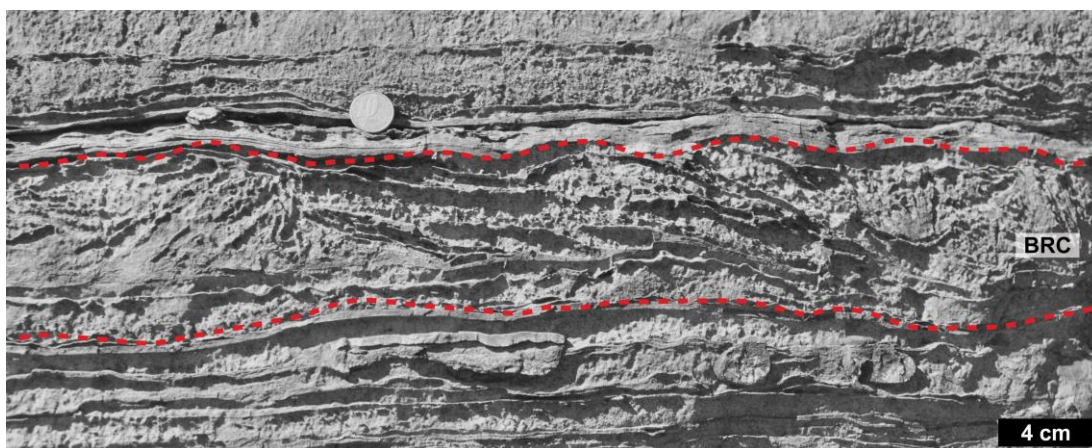

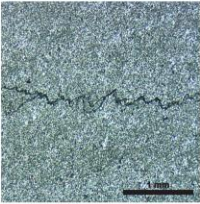

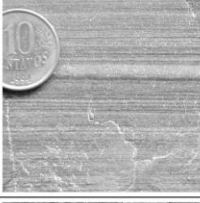
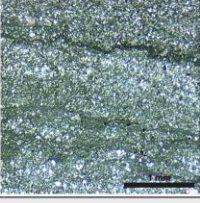
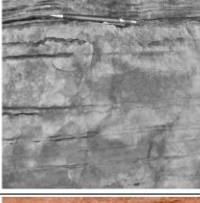
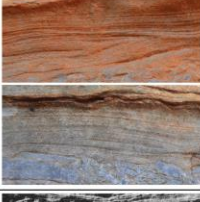
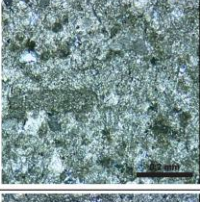
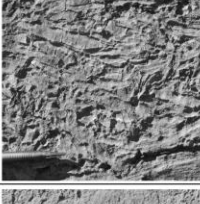
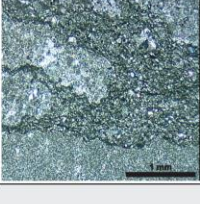
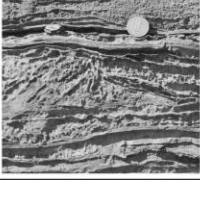


Figura 5.12: Aspecto da fácies BRC no campo.

Interpretação: A presença de fragmentos lamelares microbiais sugere exposição subárea. Por sua vez, a orientação e imbricação destas lamelas indica um retrabalhamento devido à ação de ondas ou maré. (Scholle *et al.*, 1983; Haldar, 2013). Essa fácies se diferencia dos *rudstones* por ter origem *in situ*.

O Quadro 5.1 apresenta uma síntese de todas as fácies descritas na área de estudo e ressalta os aspectos visualizados em escala macroscópica e microscópica, além dos principais processos que geraram as mesmas.

Quadro 5.1: Fácies da área estudada, características e processos deposicionais.

FÁCIES	CARACTERIZAÇÃO		PROCESSO PRINCIPAL
	Macroscópica	Microscópica	
Alternância entre microbialito estratiforme e microbialito maciço (L0, L1, L2)	 Alternância entre microbialitos estratiformes, com laminação irregular, e microbialitos maciços. Esta intercalação ocorre com diferentes espessuras.	 Os níveis maciços apresentam predominantemente textura microgrumosa. Os níveis estratiformes apresentam laminação plano paralela a irregular. Ocorrem filmes de dissolução.	Organomineralizações bioinduzidas + <i>Trapping and binding</i>
Estromatólito (ETR)	 Depósitos de estrutura laminada e convexa. Não ultrapassam 10 cm de altura. A geometria externa varia de levemente convexa a dômicas.		Organomineralizações bioinduzidas + <i>Trapping and binding</i>
Laminito crenulado (LMC)	 Rocha carbonática de granulação fina formada pela recorrência de laminações finamente espaçadas, plano-paralelas e com a superfície crenulada.	 Apresentam laminação plano-paralela, irregular a crenulada. Ocorre elevada concentração de filmes de dissolução normalmente associados à dolomitização.	Organomineralizações bioinduzidas + <i>Trapping and binding</i>
Mudstone (MUD)	 Calculito, cinza escuro, maciço ou com laminação incipiente e espessura centimétrica.		Precipitação subaquosa de lama carbonática
Grainstone (GST)	 Calcarenito fino a médio, com menos de 5% de matriz. Apresentam geometria lenticular e poucos centímetros de espessura, normalmente intercalados em LMC ou no topo de RUD. Apresentam estratificação cruzada <i>hummocky</i> .	 São constituídos por grãos aloquímicos, sendo reconhecíveis apenas os grãos peloidais, que representam cerca de 20% da lâmina. Ocorrem feições diagenéticas como dolomitização, além de frequentes filmes de dissolução.	Fluxo oscilatório gerados por ondas de tempestade
Rudstone (RUD)	 Calcirudito com estrutura maciça, clasto-suportada, sem organização interna. Os clastos apresentam forma tabular, subangulares a sub-arredondados. São compostos por fragmentos de microbialitos.	 É composto por clastos, cerca de 80% da lâmina, e matriz recristalizada e dolomitizada. Os clastos possuem tamanhos centimétricos, textura microgrumosa, os contatos são predominantemente suturados e marcados por filmes de M.O.	Fluxo de detrito induzido por tempestade
Brecha (BRC)	 Rocha clasto-suportada. Apresenta geometria lenticular e a base e o topo são delineados por microbialitos estratiformes. Apresenta clastos tabulares, de dimensões milimétricas a centimétricas, com orientação preferencial vertical.		Exposição subaérea e posterior retrabalhamento

5.1.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As imagens de microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários (*Secondary Electrons*) foram obtidas em três lâminas delgadas (RPR-1-1, RPR-1-2 e RPR-1-4), devidamente preparadas, para comprovar a natureza microbiana das fácies alternância entre microbialito maciço e estratiforme - L2 e LMC.

Foram imageadas estruturas de formatos filamentosos e cocóide (Figura 5.13, Figura 5.14 e Figura 5.15) e texturas (Figura 5.16).

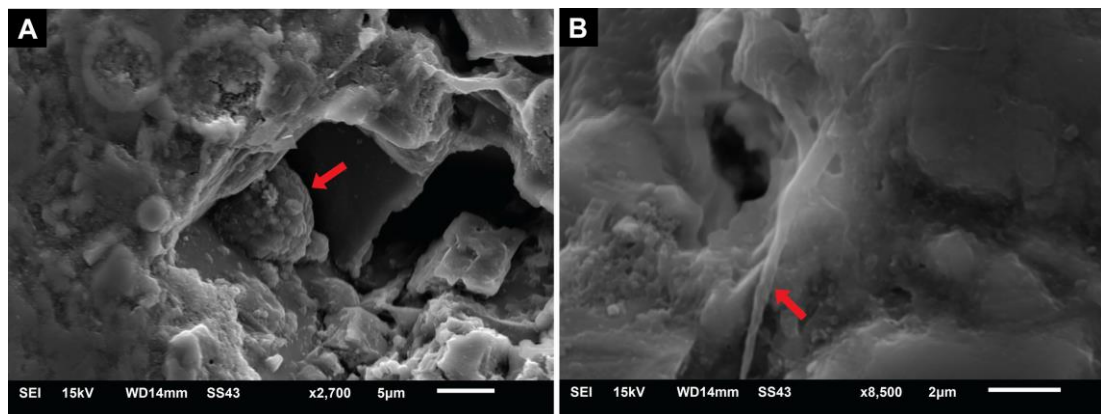


Figura 5.13: Fotomicrografias da amostra RPR-1-1, fácies L2: (A) estrutura com formato cocóide (seta); (B) estrutura com formato filamentosos (seta).

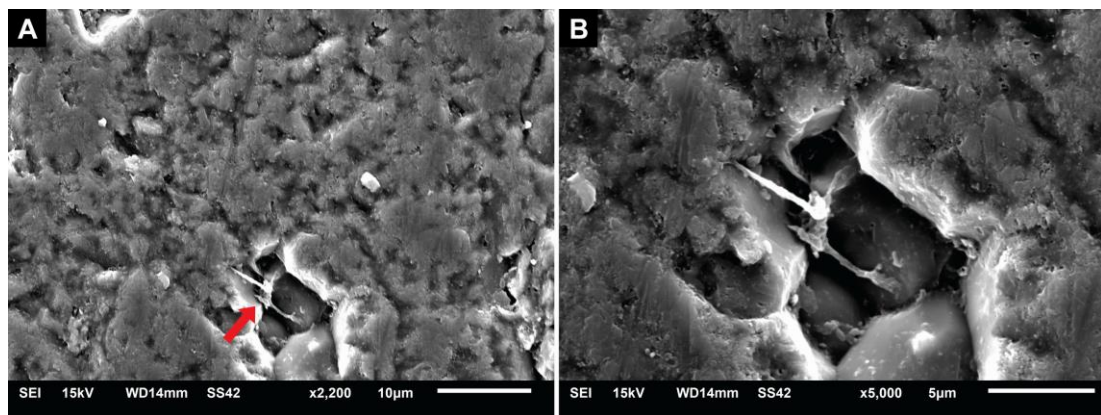


Figura 5.14: Fotomicrografias da amostra RPR-1-2, fácies L2: (A) textura microgrumosa e estrutura filamentosos (seta); (B) detalhe da estrutura filamentosos.

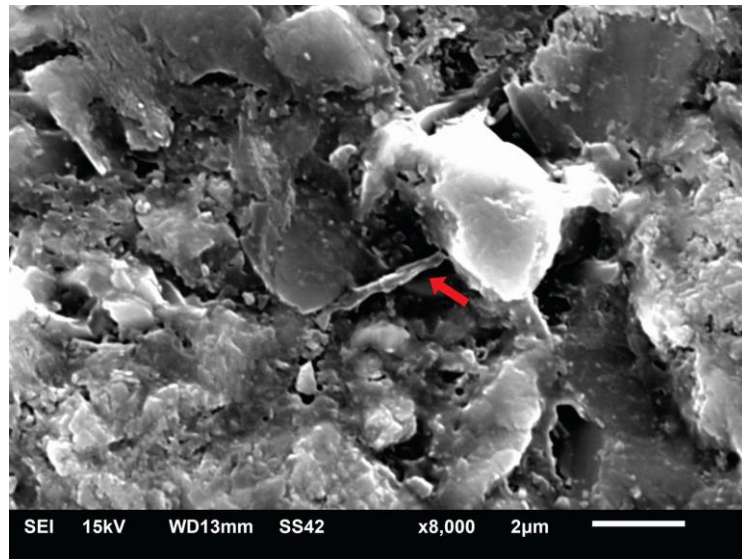


Figura 5.15: Fotomicrografia da amostra RPR-1-4, fácies LMC: estrutura filamentososa (seta).

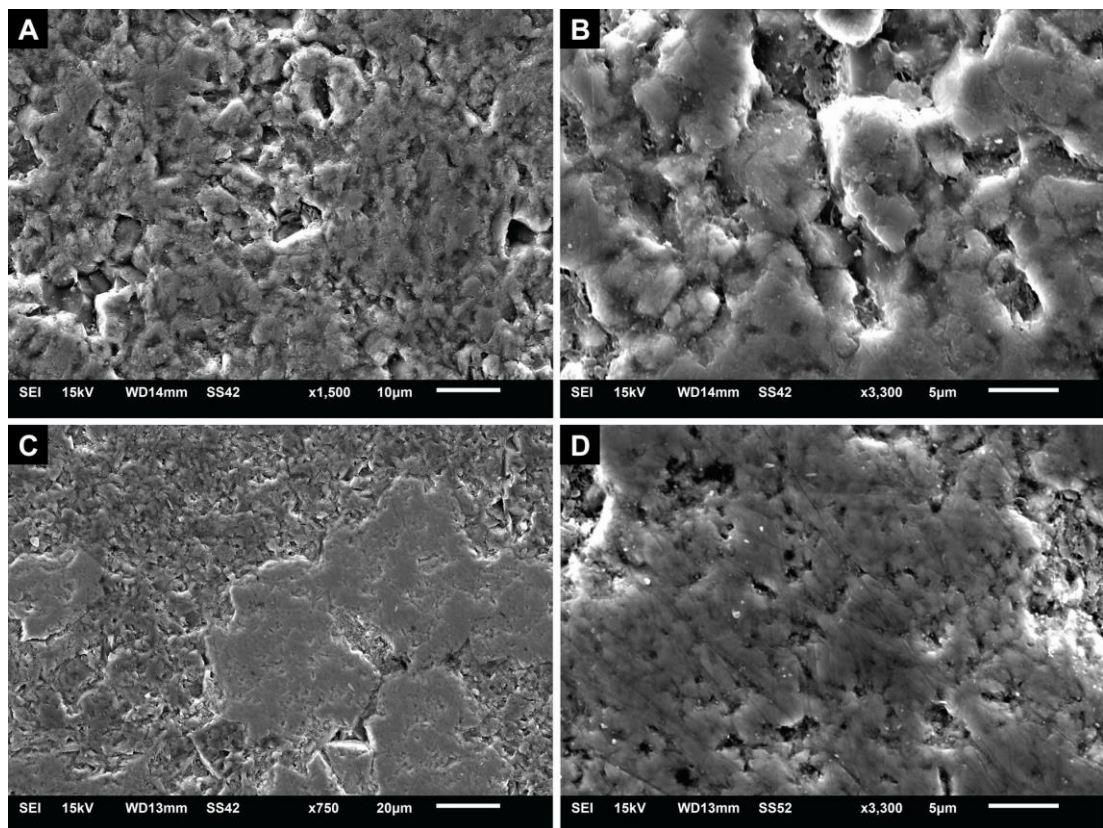


Figura 5.16: Fotomicrografias da textura microgrumosa das amostras RPR-1-2 em (A) e (B) e RPR-1-4 em (C) e (D).

As estruturas filamentosas e cocóides descritas se assemelham em formatos e tamanhos aos resquícios de cianobactérias visualizadas em sedimentos

do Recente. Exemplos atuais podem ser verificados em (Dupraz *et al.*, 2009; Seckbach & Oren, 2010; Tewari & Seckbach, 2011).

5.1.3. Associação de fácies (AF)

A partir das fácies descritas e suas relações nos afloramentos, três associações de fácies foram distintas:

5.1.3.1. Associação de fácies de rampa interna - intermaré/inframaré proximal (AF1)

Descrição: Esta associação de fácies (AF1) ocorre na base dos perfis levantados e tem espessura de aproximadamente 6 m. Compreende fácies associadas aos processos bioconstrutivos anteriormente descritas - alternância entre microbialitos maciços / estratiformes (L0, L1, L2) e estromatólito (ETR), além de brecha (BRC) - que está associada à exposição subaérea seguida de retrabalhamento por tempestade ou maré (Figura 5.17). As principais estruturas são àquelas associadas aos processos bioconstrutivos, laminações plano-paralelas, irregulares. Normalmente a AF1 forma pacotes de geometria tabular com expressiva rastreabilidade lateral.

Interpretação: A ocorrência de microbialitos, principalmente estromatólitos do tipo LLH e LLH-SH, permite interpretar essa AF como de rampa interna, mais precisamente região de intermaré/inframaré proximal (Logan *et al.*, 1964; James *et al.*, 2010). A presença da brecha associada à exposição subaérea fortalece esta interpretação, mas devido à baixa ocorrência destas estruturas descarta-se ser ambiente de supramaré (Scholle *et al.*, 1983).

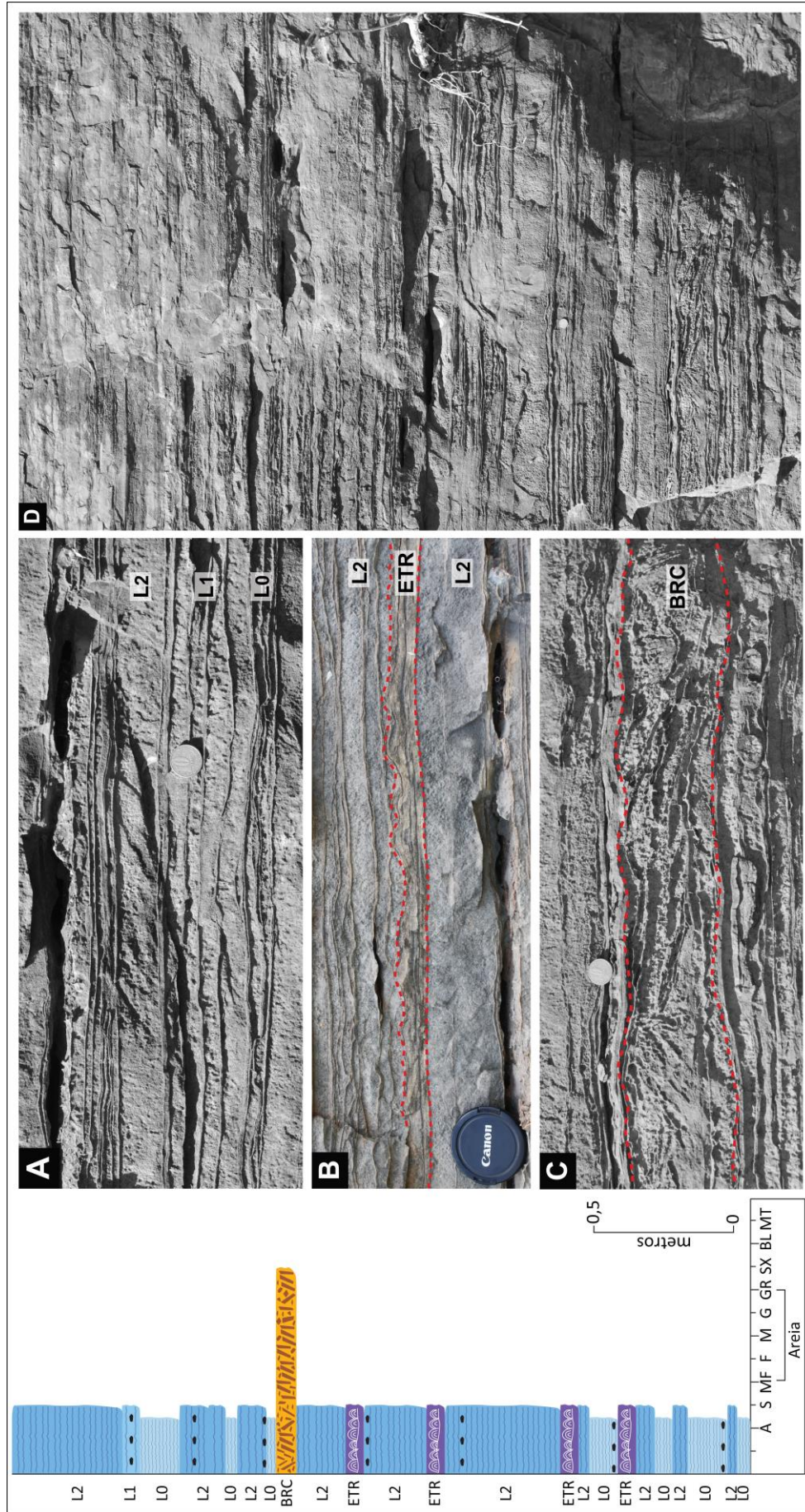


Figura 5.17: Associação de fácies de rampa interna – intermaré/inframaré proximal: (A) alternância entre microbialitos estratiformes e maciços; (B) estromatólito levemente dômico; (C) brecha clasto-suportada com orientação preferencial vertical, associada a exposição subaérea; (D) vista geral das fácies no afloramento.

5.1.3.2. Associação de fácies de rampa interna - inframaré distal (AF2)

Descrição: Esta associação de fácies ocorre na parte central dos perfis levantados e tem espessura de aproximadamente 3 m. Compreende uma fácies associada à processos bioconstrutivos anteriormente descritos – laminitos crenulados (LMC) e *mudstones* (MUD) (Figura 5.18). As principais estruturas são associadas aos processos bioconstrutivos dos laminitos crenulados, como laminações crenuladas irregulares. Associadas aos laminitos crenulados e *mudstones* ocorrem vênulas e veios de calcita, que por vezes, deformam as camadas, dificultando a visualização das estruturas e texturas.

Interpretação: A presença de laminitos crenulados associados à *mudstones* implica em um contexto mais distal de rampa (James *et al.*, 2010). Desta forma, a associação de fácies é interpretada como transição entre a parte mais proximal e mais distal da rampa, sendo classificada como inframaré distal de uma rampa interna.

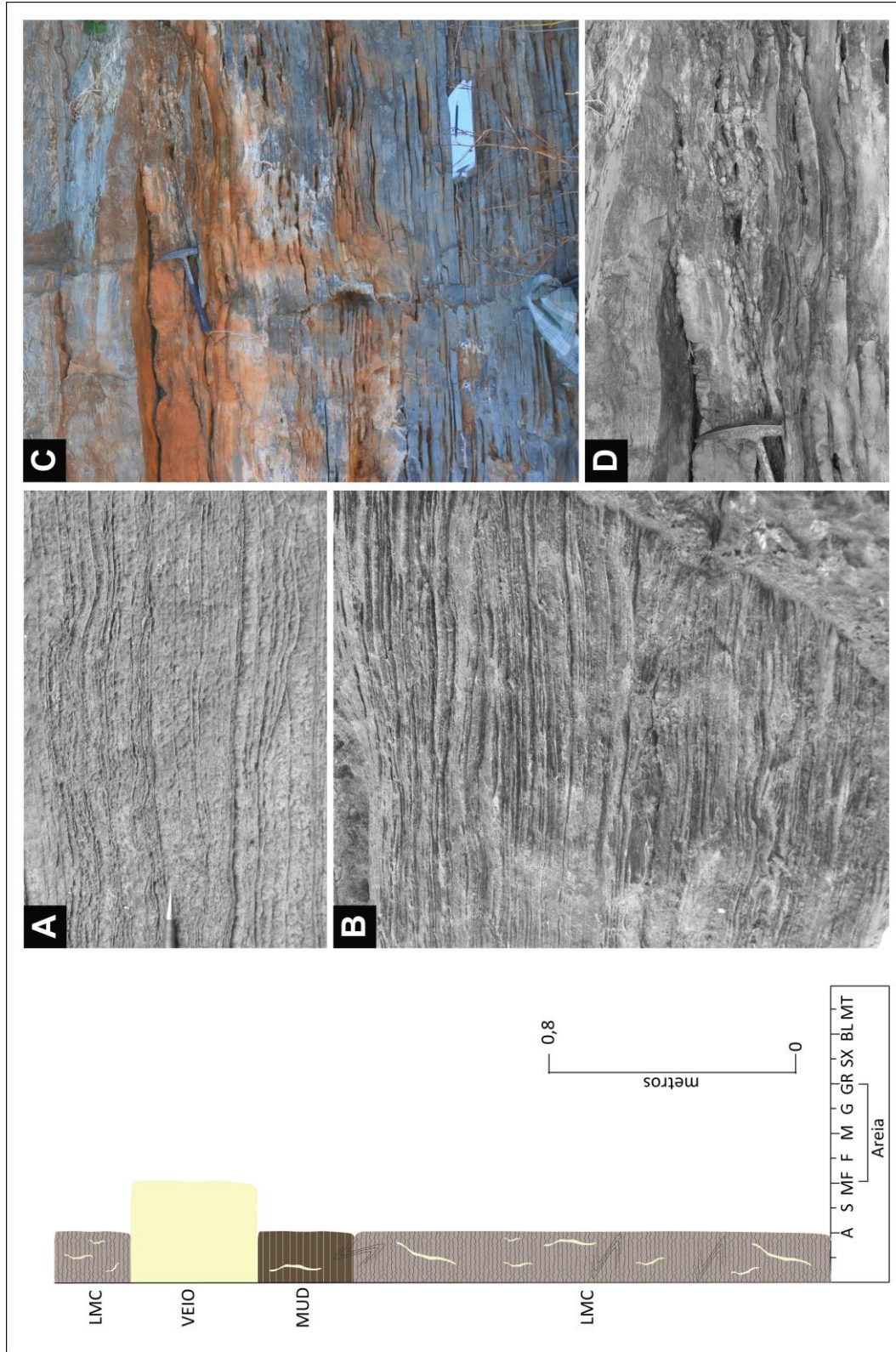


Figura 5.18: Associação de fácies de rampa interna – inframaré distal: (A) laminitos com laminação crenulada, finamente espaçada; (B) laminitos crenulados com laminação finamente espaçada; (C) vista de parte do perfil com laminitos crenulados, *mudstones* e veio de calcita; (D) veio deformando camadas de *mudstone* e laminitos crenulados.

5.1.3.3. Associação de fácies de rampa intermediária (AF3)

Descrição: Esta associação de fácies ocorre no topo dos perfis levantados e tem espessura de aproximadamente 9 m. Apresenta geometria tabular e compreende as fácies laminito crenulado (LMC), *mudstones* (MUD), *grainstones* (GST) e *rudstones* (RUD) (Figura 5.19). As fácies MUD, GST e LMC se alternam verticalmente. Por vezes, ocorrem camadas de RUD que grada verticalmente para GST com estratificação cruzada *hummocky*, formando sucessões de granodecrescência ascendentes com espessuras de até a 1,20 m.

Interpretação: A ocorrência de laminitos crenulados e *mudstones* indica um contexto distal de baixa energia. Por sua vez, a presença fácies retrabalhadas ou induzidas por ondas de tempestade - RUD, GST com *hummocky* – sugere a ação de eventos de tempestades que retrabalhavam as fácies de baixa energia. Esta associação de fácies é comum em contexto de uma rampa intermediária (Flügel, 2010), trecho caracterizado por depósitos sedimentares de água mais profunda, localizado abaixo da linha de base das ondas de tempo bom (Calvet & Tucker, 1988).

A Figura 5.20 mostra a distribuição das associações de fácies ao longo do afloramento onde foi levantado o perfil RPR_1.

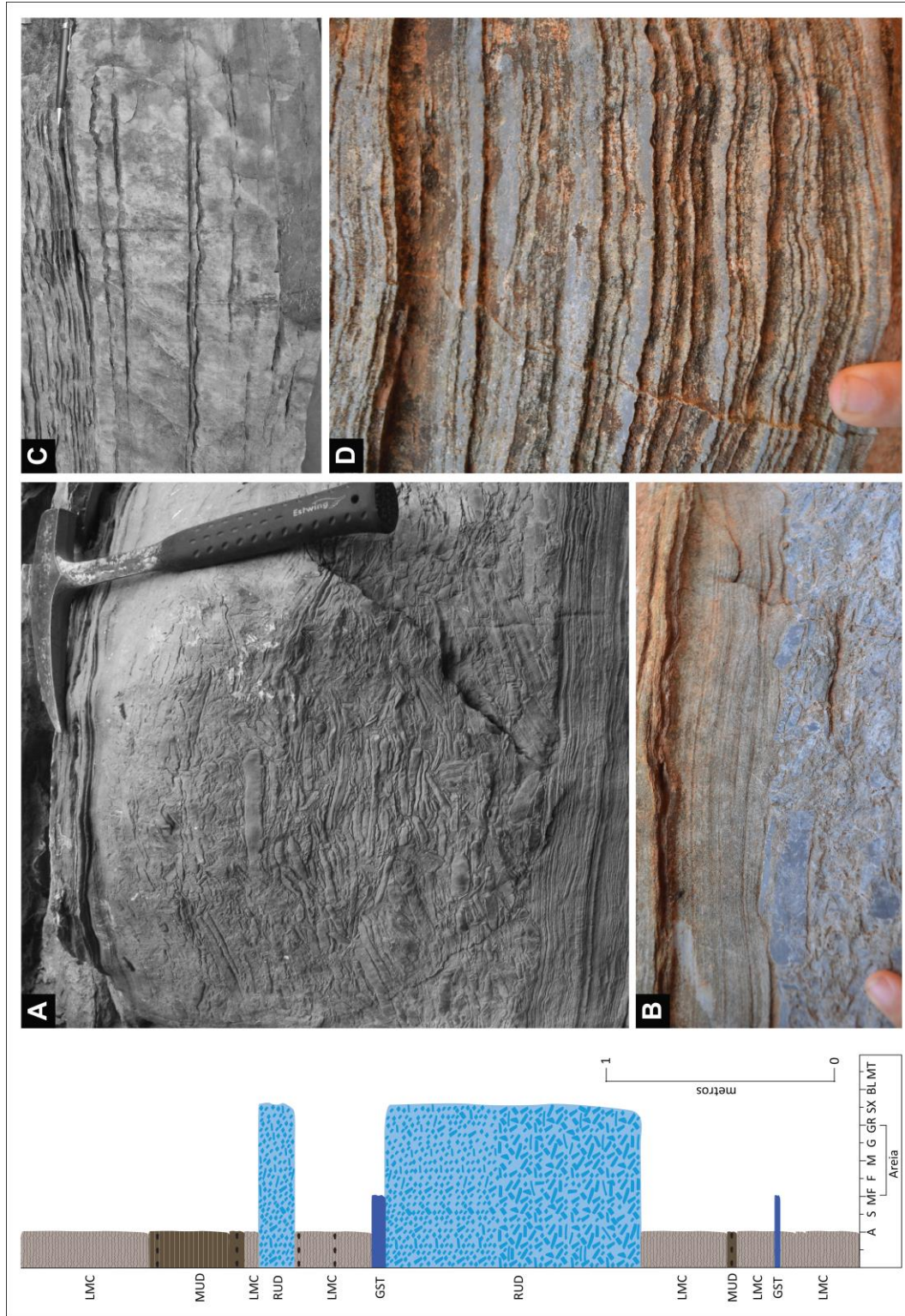


Figura 5.19: Associação de fácies de rampa intermediária: (A) *rudstone* com clastos com forma tabular, sem orientação preferencial; (B) *grainstone* com estratificação cruzada *hummocky*; (C) *mudstone* de estrutura maciça; (D) laminito crenulado, finamente laminado.

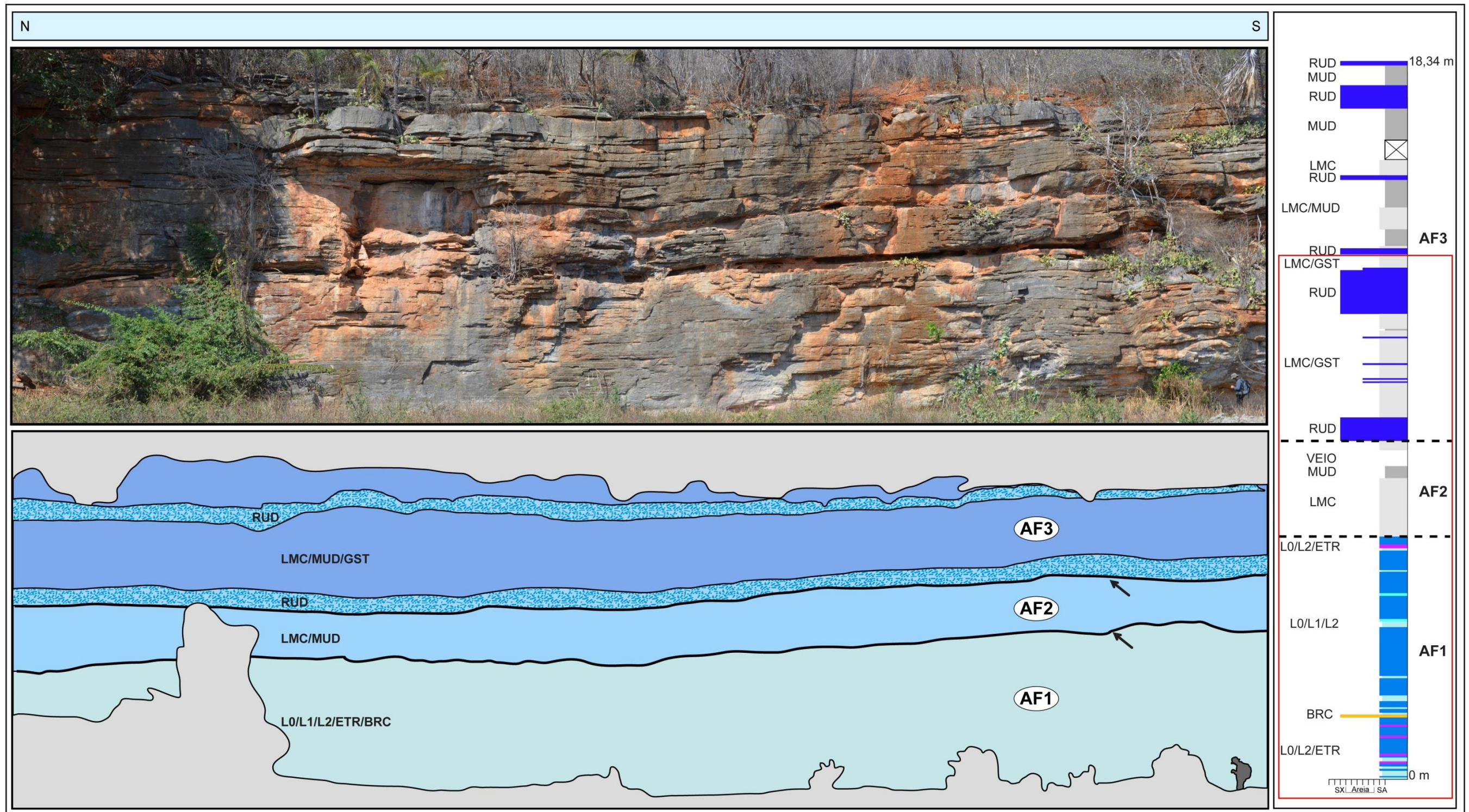


Figura 5.20: Fotomosaico do perfil RPR-1 representando a distribuição das associações de fácies ao longo do afloramento. O retângulo vermelho destaca a parte do perfil colunar interpretada no fotomosaico e as setas indicam o limite das associações de fácies.

5.1.4. Sistema deposicional

O conjunto de fácies e associações de fácies permite classificar o intervalo estudado da Formação Salitre como um sistema marinho raso. O modelo deposicional que melhor se aplica para a área estudada é uma plataforma carbonática do tipo rampa homoclinal, que segundo Read (1985) caracteriza-se por apresentar mergulhos suaves, relativamente uniformes em direção à bacia.

Como modelo geral, a distribuição das fácies presentes nas rampas homoclinais, da costa ao mar aberto, indica três setores distintos: (1) Rampa interna - composta por planície de maré, laguna e complexos de bancos de águas rasas ou baixos arenosos oolíticos/peloidais - que corresponde a uma zona acima da base das ondas de tempo bom; (2) Rampa intermediária, aonde predominam rochas com textura dominada por lama (*wackestones* e *mudstones*) e depósitos induzidos por ondas de tempestades, os chamados “tempestitos”, pois está localizada entre a base de ondas de tempo bom e a base de ondas de tempestade; (3) Rampa externa/bacia, com *mudstones* e folhelhos intercalados. Este trecho se estende desde abaixo da base normal de ondas de tempestades até a bacia. Depósitos induzidos por tempestade são mais raros e depósitos por corrente de turbidez podem ocorrer (Read, 1985; Burchette & Wright, 1992a) (Figura 5.21).

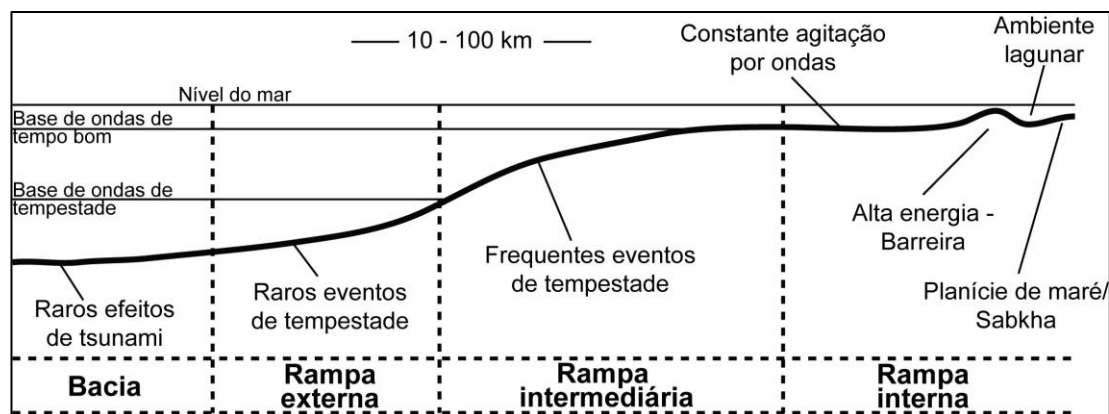


Figura 5.21: Principais subdivisões internas de uma rampa homoclinal, segundo Burchette & Wright (1992). Adaptado de Burchette & Wright (1992).

Na área estudada o empilhamento das fácies permitiu o reconhecimento de associações de fácies de rampa interna – intermaré/inframaré proximal, associação de fácies de rampa interna – inframaré distal e associações de fácies de rampa intermediária.

Sabendo-se que as rampas mostram uma grande variabilidade espacial de um ambiente para outro devido a diversos fatores como relação de nível de energia e recursos, por exemplo, criou-se um modelo deposicional conceitual para a área de estudo adaptado a partir modelos de rampa homoclinal existentes na literatura. Este modelo é apresentado na (Figura 5.22).

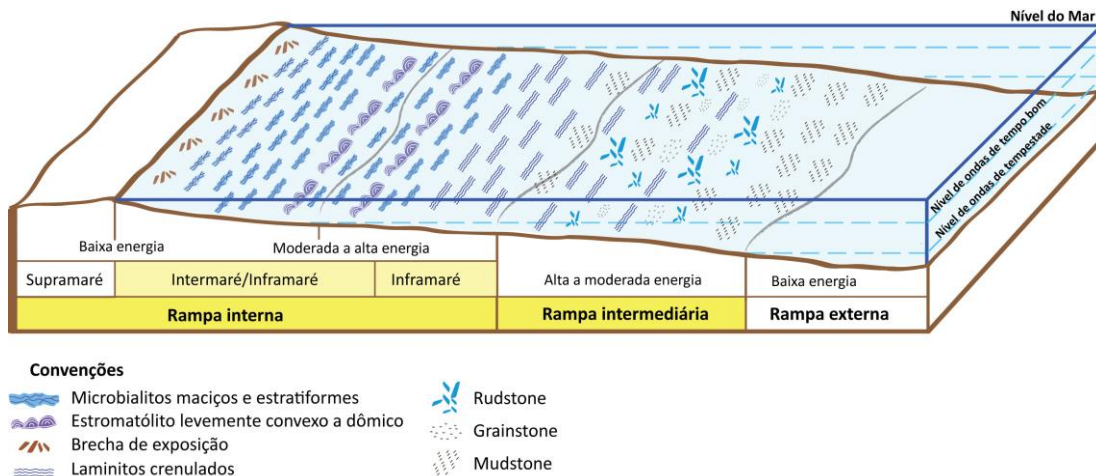


Figura 5.22: Modelo deposicional conceitual para a área de estudo.

5.2. Químioestratigrafia

Os perfis químioestratigráficos foram realizados em aproximadamente 15 m metros iniciais do perfil colunar RPR_1. Os resultados de todas as medidas obtidas nos dois modos de leitura (*Mining mode* e *Soil mode*), assim como o fator de correlação obtido e erro associado, encontram-se no anexo 2 (Tabelas A2.1 e A2.2). A tabela A2.1 apresenta a concentração dos elementos medidos em ppm, obtidas pelo *Soil Mode*. Foram constatadas concentrações de 9 elementos (Fe, Ti, Mn, Rb, Sr, W, Zr, As e Pb), sendo que destes, W, As e Pb exibiram muitas medições abaixo dos limites de detecção, não sendo utilizados no presente trabalho. A tabela A2.2 apresenta os principais elementos relacionados com a litologia da rocha, elementos maiores em % de peso, que foram obtidos no *Mining Mode*. Neste modo foram verificadas concentrações de 12 elementos (Si, Al, Fe, Ca, Ti, P, K, Mn, Zn, Zr, Cd e Pb), sendo que entre estes, Zn e Pb apresentaram concentrações muito baixas, com muitas medições abaixo dos limites de detecção.

Para a construção dos perfis químioestratigráficos foram utilizados os elementos que apresentaram um fator de correlação próximo a 1 e que forneceram melhores respostas para a análise sequencial de alta resolução.

A variação dos elementos no *Soil Mode* e no *Mining Mode*, ao longo da coluna sedimentar, é ilustrada Figura 5.23 e na Figura 5.24, respectivamente. De maneira geral observa-se que as três associações de fácies apresentam composição distintas.

A AF de rampa interna - intermaré/inframaré proximal apresenta concentrações variadas. Como são fácies carbonáticas calcíticas, o cálcio apresenta as maiores concentrações, variando de 21,6 a 42,1%. Elementos como o Si, Al, Fe, K e Ti apresentam maior variação no conteúdo: Si exibe concentração entre 7,1 a 22%, Al de 3,3 a 12,1%, Fe varia de 0,25 a 1,48%, e K e Ti variam de 0,12 a 1,54% e 0,09 a 0,31%, respectivamente. Os elementos P, Mn e Zr apresentam pouca variação. Nas concentrações obtidas no *Soil Mode*, os elementos variam da seguinte forma: Fe, de 1309 a 16643 ppm, Ti de 456 a 3760 ppm Mn de 0 a 442 ppm, Rb de 0 a 54,8 ppm, Sr de 725 a 2020 ppm e Zr de 0 a 98 ppm.

A AF de rampa interna – inframaré distal é caracterizada pelo enriquecimento dos elementos Si, Al, Fe, K, Ti, P e Mn e empobrecimento em Ca e Sr, em relação às outras AFs. O conteúdo dos elementos Ca e Sr varia de 6,8 a 30,3 % e 692 a 1455 ppm, respectivamente. As concentrações dos elementos do *Mining Mode* variam de 17,8 a 35% na Si, de 7,0 a 17,3% no Al, de 0,84 a 2,98% no Fe, de 0,15 a 1,01% no K, de 0,17 a 0,47% no Ti, de 0,030 a 0,237% no P e de 0,067 a 0,154% no Mn. As concentrações dos elementos traços, em ppm, variam de 3548 a 19120 no Fe, de 1581 a 3453 no Ti, de 182 a 882 no Mn, de 6,6 a 24,5 no Rb e de 20 a 45 no Zr.

A AF de rampa intermediária apresentam concentrações bastante variáveis, o que pode estar relacionado com a presença de fácies associadas à retrabalhamento. O conteúdo em % peso, varia de 2,9 a 31,9 na Si, de 1,4 a 16,9 no Al, de 15,9 a 43,3 no Ca, de 0,11 a 2,54 no Fe, de 0 a 2,18 no K e de 0,06 a 0,43 no Ti. P, Mn e Zr apresentam concentrações pouco variadas. Os elementos traços (Fe, Ti, Mn, Rb, Sr e Zr) apresentam concentrações que variam, em ppm, de 821 a 18502, 452 a 3781, 0 a 496, 0 a 63,8, 429 a 2512 e de 0 a 99, respectivamente.

O aumento na concentração dos elementos Si, Al, K e Rb é indicativo de uma maior presença na quantidade de minerais siliciclásticos como quartzo, argilominerais e K-feldspatos. Na AF de rampa interna – inframaré distal observou-se em lâmina delgada uma maior presença de grãos de quartzo, o que corrobora com o aumento na concentração de Si visualizado no perfil quimioestratigráfico. A

variação destes elementos nas associações de fácies pode ser observada na Figura 5.25.

Os picos de Fe, ao longo do perfil, podem relacionar-se com a presença de pirita, algumas vezes observada em lâmina delgada, e à presença de dolomita ferrosa, não visualizada em lâminas. De acordo com Ratcliffe & Zaitlin (2010), os picos de P sugerem a ocorrência de fosfogênese que pode estar associada às cianobactérias. Na AF2 observou-se que há uma correlação positiva entre os elementos P e Mn, o que fortalece a interpretação que as maiores concentrações desse elemento devem estar associadas à atividade microbiana. A variação destes elementos ao longo das associações de fácies pode ser observada nos gráficos da Figura 5.25.

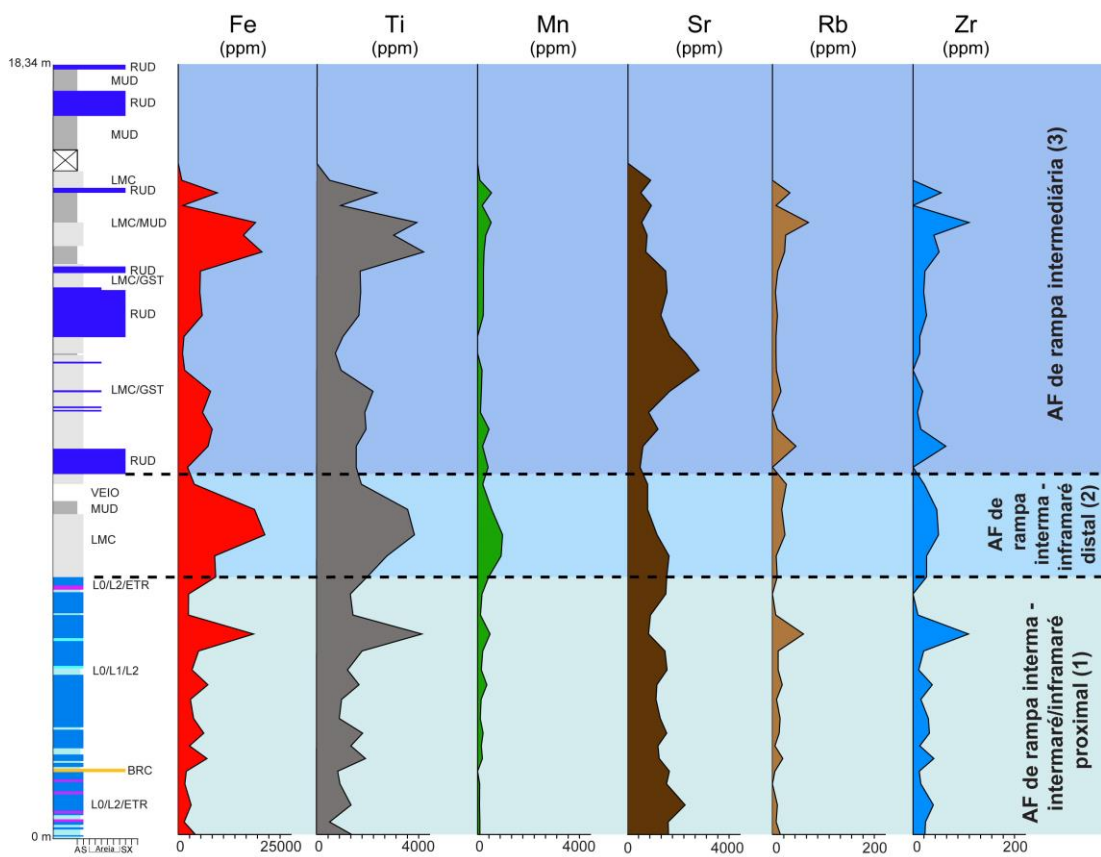


Figura 5.23: Perfis quimioestratigráficos de elementos do *Soil Mode*.

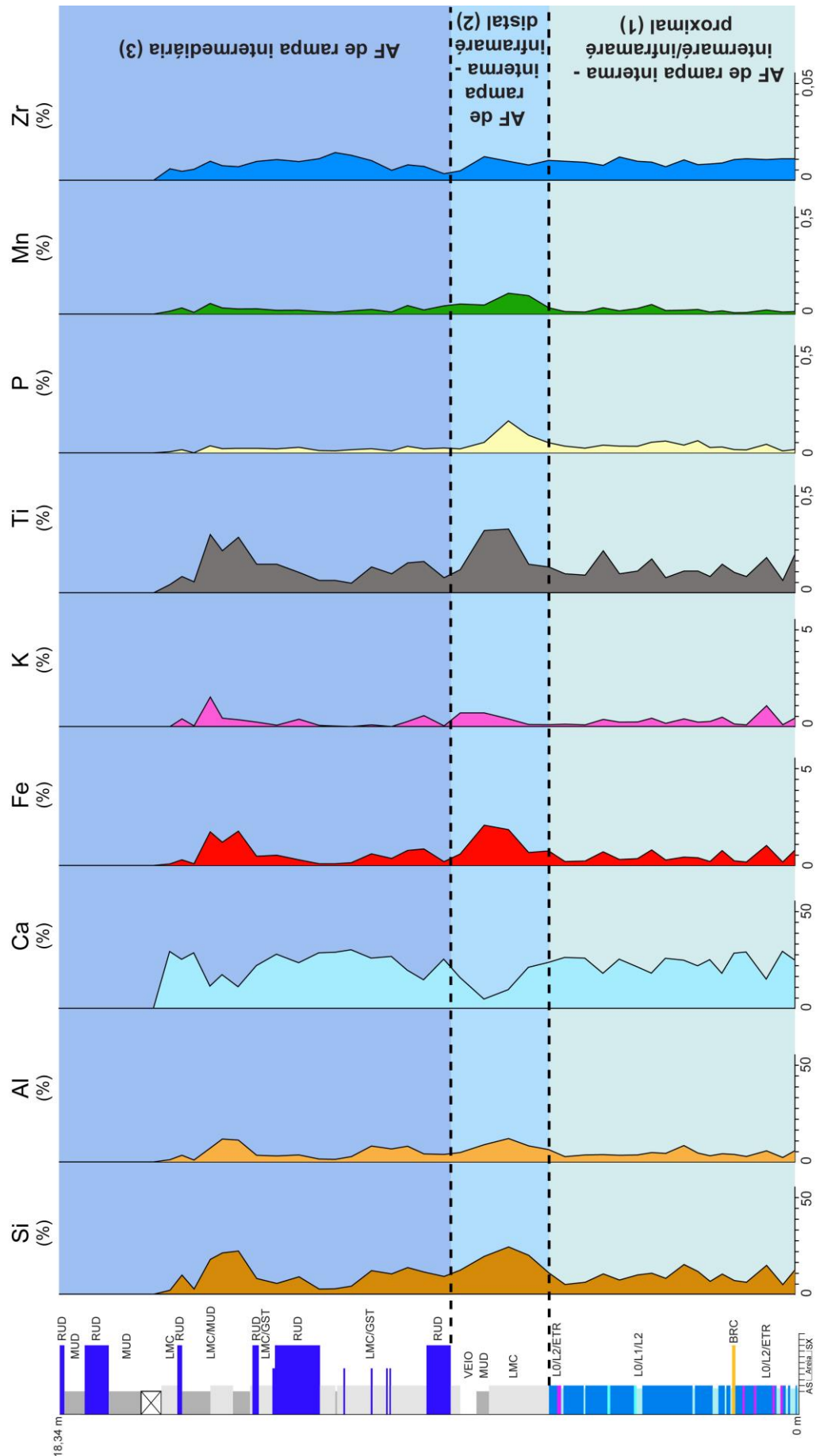


Figura 5.24: Variação dos elementos do Mining Mode ao longo do perfil sedimentar RPR_1.

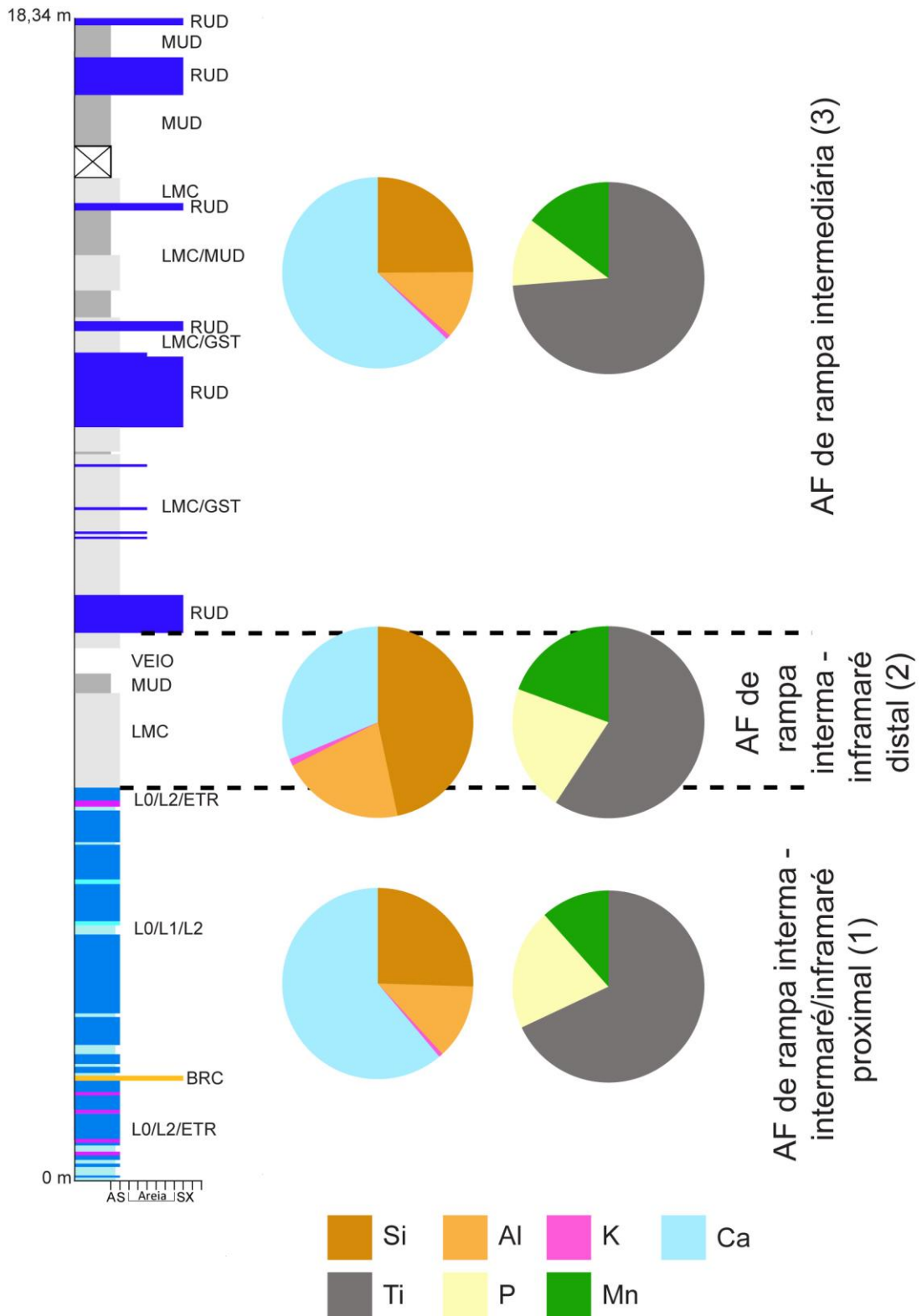


Figura 5.25: Variação da concentração dos elementos Si, Al, K e Ca por associação de fácies - o aumento da Si, Al e K é indicando maior presença na quantidade de minerais siliciclásticos como quartzo, argilominerais, sendo inversamente proporcional ao Ca; variação dos elementos Ti, P e Mn nas associações de fácies – aumento na concentração de P e Mn indica ocorrência de fosfogênese que pode estar associada às cianobactérias.

5.3. Análise sequencial em alta resolução

A análise sequencial em alta resolução foi realizada na base do perfil RPR_1, seguindo o método proposto em Scherer *et al.* (2014) e Strasser *et al.* (1999). Ciclos elementares e de pequena escala foram identificados apenas na AF de rampa interna – intermaré/inframaré proximal. No trecho superior do perfil, devido à maior concentração de fácies formadas por processos de retrabalhamento e devido a pouca variação morfológica das fácies bioconstruídas presentes, não foram identificados ciclos elementares e de pequena escala.

Foram identificados dez ciclos elementares simétricos e 3 assimétrico na AF analisada, definidos a partir da diferença na morfologia dos microbialitos e na sucessão vertical das fácies microbiais (L2, L1, L0 e ETR) e brecha (BRC). Estes ciclos apresentam espessuras de 0,12 m a 0,70 m. Um ciclo elementar ideal é constituído, da base para o topo, por microbialitos do tipo L1, L2, seguidos de ETR e uma nova sucessão de microbialitos L2, L1, L0 e finalizando com uma brecha no topo (Figura 5.26). Devido à baixa ocorrência de brechas na área, a delimitação superior de cada ciclo elementar também foi feita a partir da morfologia dos microbialitos.

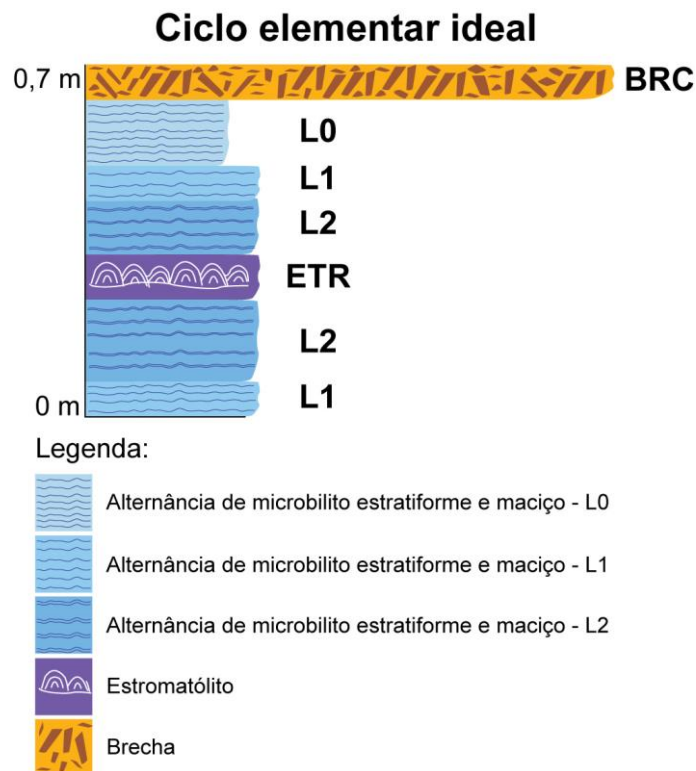


Figura 5.26: Constituintes do ciclo elementar ideal da área estudada.

As fácies L0, L1, L2 e estromatólitos, com geometrias LLH e LLH-SH fornecem informações sobre a profundidade da lâmina d'água. As condições específicas de luminosidade e temperatura geram modificações morfológicas e na velocidade de crescimento dos organismos responsáveis pela criação das estruturas microbianas (Noffke *et al.*, 2003; Jahnert & Collins, 2011). Desta forma, variações no nível de base provocam deslocamento do ponto ótimo de luminosidade e os organismos tendem a acompanhar estas variações a fim de alcançar/estar próximo do nível ótimo de luminosidade. Isto resulta em morfologias diferentes que, no registro geológico, correspondem às diversas geometrias e texturas verificadas nos microbialitos. Ou seja, a sucessão vertical das fácies permite a definição dos padrões de empilhamento, marcando a alternância de intervalos prográdacionais e retrogradacionais vinculados a variações do nível relativo do mar.

Nos ciclos elementares analisados, o padrão morfológico dos microbialitos (L0, L1 e L2) e dos estromatólitos observados mostra que as laminações passam de estratiformes para levemente dômicas, evidenciando um aumento no espaço de acomodação (Figura 5.27).

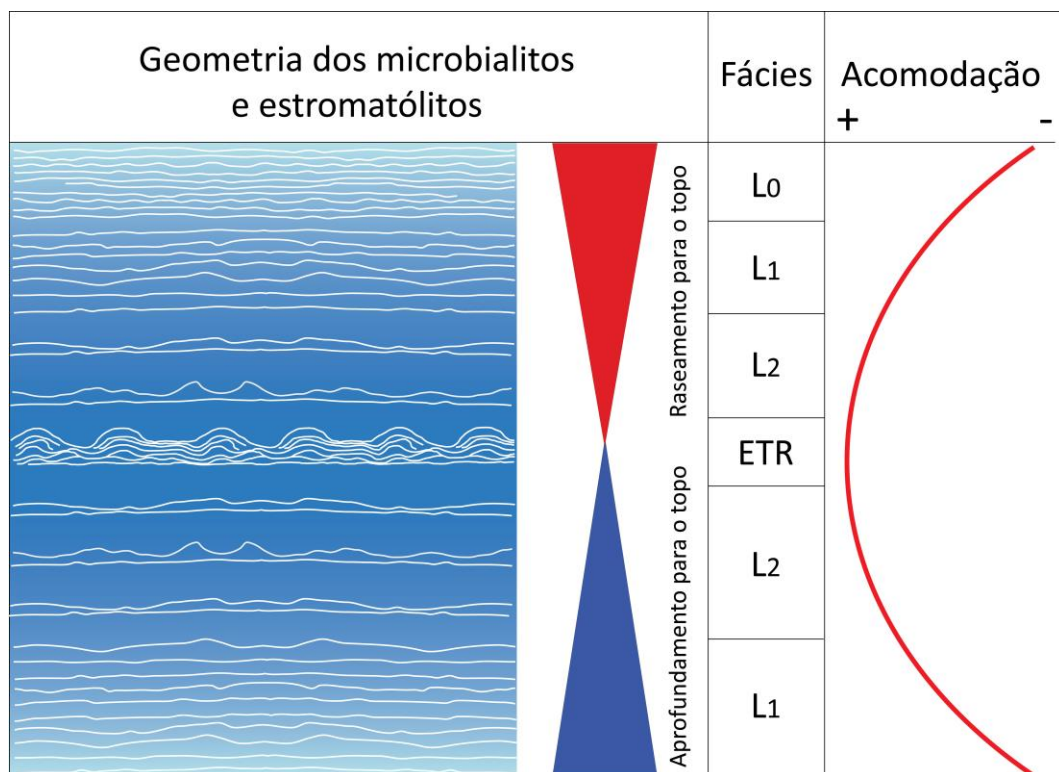


Figura 5.27: Esquema mostrando a variação da morfologia dos microbialitos (L0, L1 e L2) e dos estromatólitos de acordo com a acomodação, resultante da taxa de crescimento microbiano de acordo com as variações do nível da água.

Utilizando os ciclos de Karagodin, o afogamento (triângulo azul) tem sua base iniciada no topo da fácies L0. O afogamento engloba todo o pacote de L1 e L2 culminando com estromatólitos, que representam o ponto de inundação máxima, ou maior espaço de acomodação. Desta forma, a tendência de afogamento (triângulo azul de Karagodin) indica a SIM (superfície de inundação máxima). A fase de raseamento (triângulo vermelho) se inicia com os estromatólitos passando para as fácies L2, L1 e L0, respectivamente, idealmente terminando com BRC, que está associada à exposição subaérea. Assim o topo da brecha representa a superfície de máxima regressão (SMR), que coincide com o final do ciclo de raseamento de Karagodin (Figura 5.28).

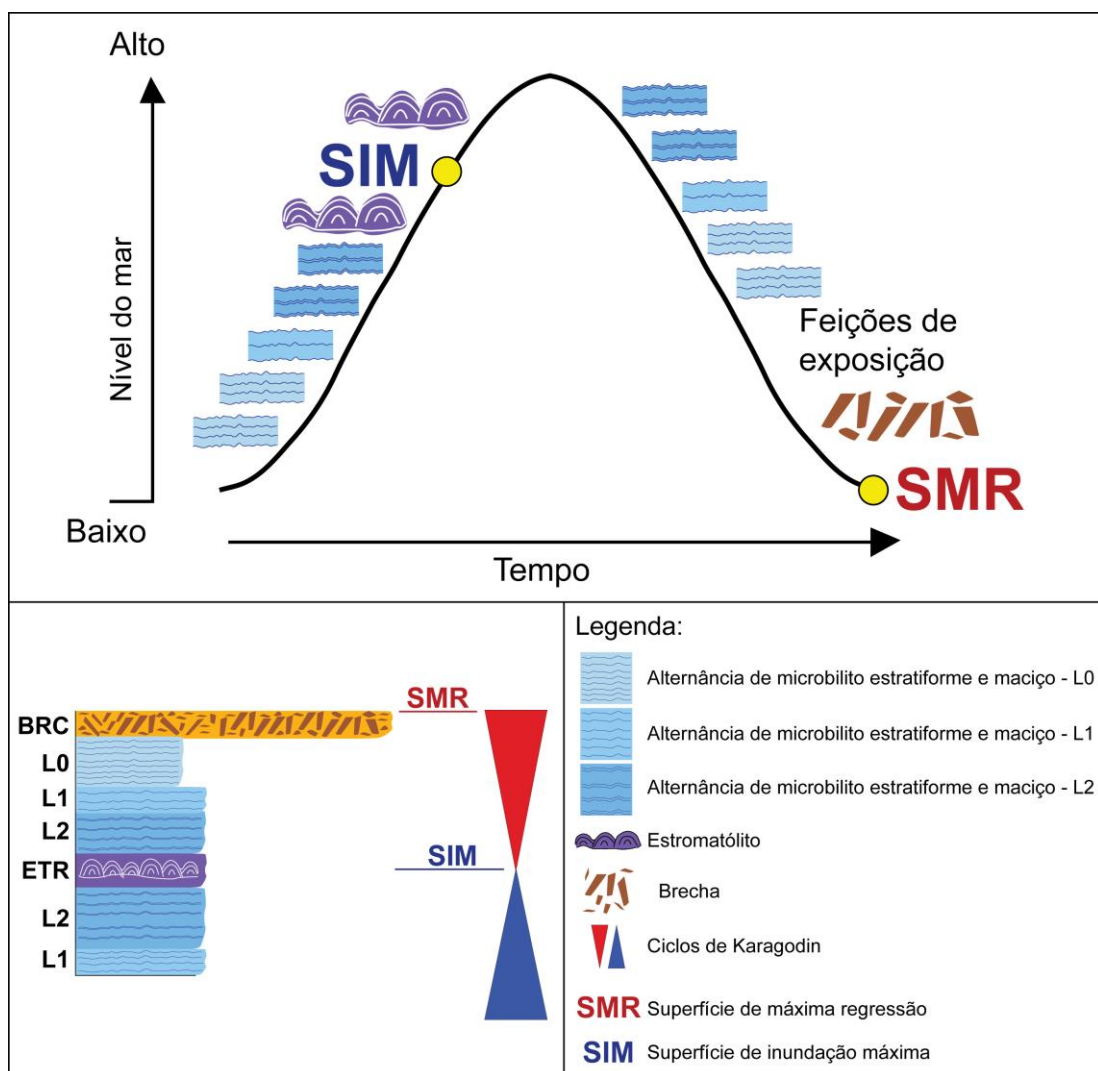


Figura 5.28: Curva simplificada de variação do nível do mar em relação ao tempo, relativa a um ciclo elementar.

Os ciclos elementares, por sua vez, foram agrupados em ciclos de pequena escala, que apresentam espessuras de 0,70 m até 1,90 m. Foram identificados quatro ciclos simétricos e dois assimétricos, definidos a partir da sucessão vertical das fácies microbiais (L2, L1, L0 e ETR) e brecha (BRC), das superfícies mais expressivas dos ciclos elementares e da assinatura dos perfis quimioestratigráficos, principalmente dos elementos Mn e P, que segundo Pigott (2004), durante a subida no nível relativo do mar apresentam um aumento na concentração atingindo o máximo na superfície de inundação máxima. Como a Si, K, Fe e Ti apresentam uma correlação positiva com Mn e P também foram utilizados na identificação das superfícies dos ciclos de pequena escala.

Em alguns trechos do perfil não foi possível a definição de ciclos elementares e de pequena escala, em decorrência da inexistência de variações morfológicas das fácies bioconstruídas ou no padrão de assinatura quimioestratigráfica.

Os ciclos elementares e de pequena escala identificados na associação de fácies analisada são apresentados na Figura 5.29. Considerando os ciclos identificados e a sucessão vertical das associações de fácies - AF1, AF2 e AF3 - ao longo do perfil, podemos observar que, de maneira geral, há uma tendência de aprofundamento para o topo, passando de fácies mais proximais para fácies mais distais (Figura 5.30).

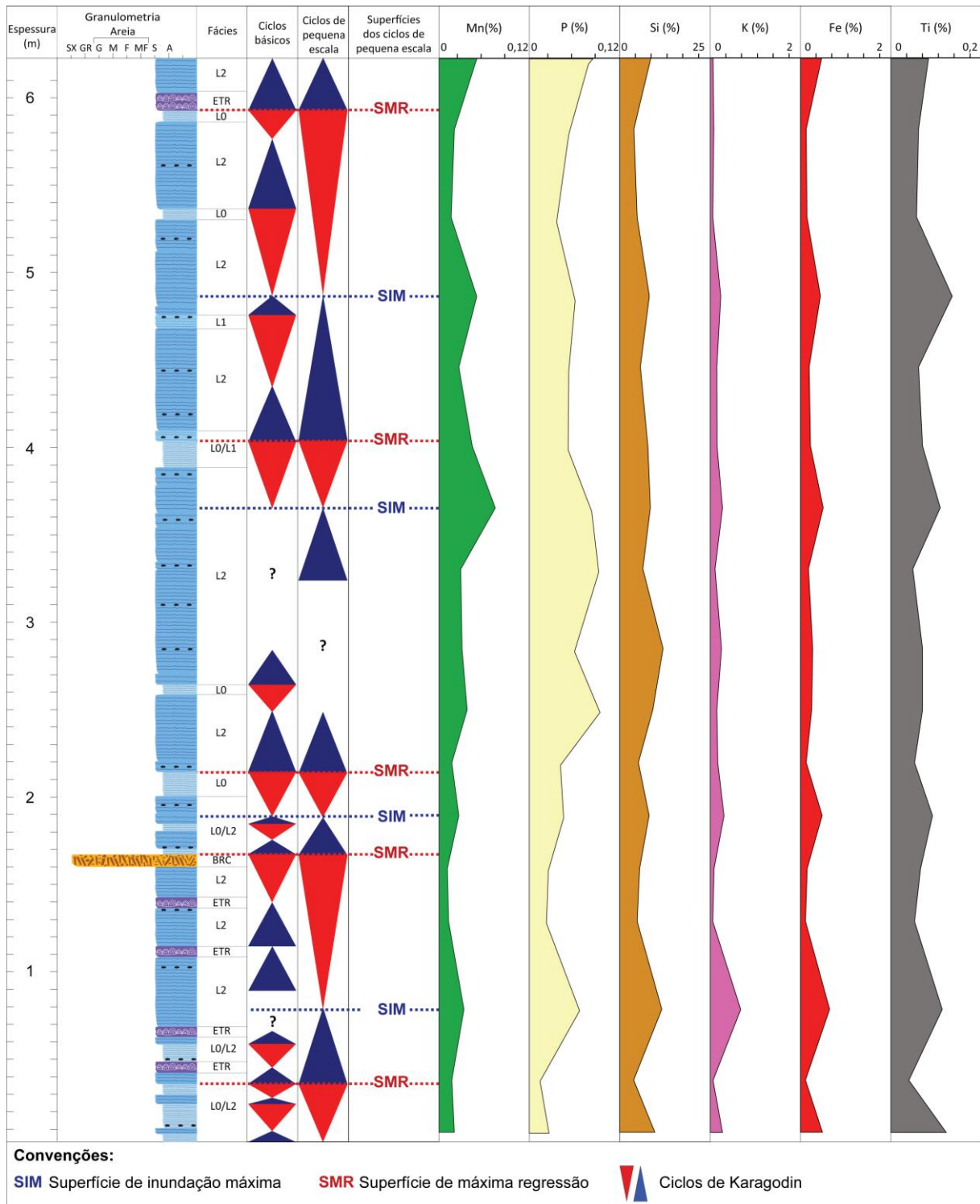


Figura 5.29: Ciclos elementares e ciclos de pequena escala identificados na associação de fácies de rampa interna – intermaré/inframaré proximal do perfil RPR_1.

6. CONCLUSÕES

1. A Formação Salitre, na área estudada, é caracterizada por sete fácies que se organizam em três associações distintas: (1) rampa interna - intermaré/inframaré proximal; (2) rampa interna – inframaré distal; e (3) rampa intermediária;

2. As associações de fácies identificadas permitiram inferir que o intervalo estudado foi depositado num contexto marinho raso, no qual o modelo deposicional que melhor se aplica é uma plataforma carbonática do tipo rampa, possivelmente homoclinal;

3. A partir da diferença na morfologia dos microbialitos e na sucessão vertical das fácies microbiais (L2, L1, L0 e ETR) e brecha (BRC), foi possível definir intervalos retro e progracionais, que por sua vez permitiram a identificação a superfícies de máxima regressão (SMR) e superfícies de inundação máxima (SIM) e desta forma, definir ciclos de diferentes escalas;

4. Foram definidos dez ciclos elementares simétricos, de espessura centimétrica, a partir da diferença na morfologia dos microbialitos e na sucessão vertical das fácies microbiais e de exposição. Os quatro ciclos de pequena escala foram definidos a partir das superfícies mais expressivas dos ciclos elementares e da assinatura dos perfis quimioestratigráficos e apresentam espessuras centimétricas a métricas;

5. Embora não seja possível calcular a duração da ciclicidade no intervalo estudado, variações de alta frequência em rochas carbonáticas contexto marinho raso geralmente são associadas às variações climáticas decorrentes de processos orbitais como os ciclos de Milankovitch;

6. O método de análise estratigráfica em alta resolução em sistemas carbonáticos microbiais foi aprimorado com a integração pioneira de dados convencionais (sedimentológicos e petrográficos) e fluorescência de Raio-X portátil;

7. A quimioestratigrafia realizada com FRX portátil se mostrou uma técnica com boas respostas para o entendimento da ciclicidade, com elementos que indicam raseamentos e afogamentos. Vale ressaltar que esta é uma técnica não destrutiva das amostras e de rápida aquisição de dados.

REFERÊNCIAS

- Aitken, J. F., & Howell, J. a. 1996. High resolution sequence stratigraphy: innovations, applications and future prospects. *Geological Society, London, Special Publications*, 104(1): 1–9.
- Almeida, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4): 349–364.
- Bahniuk, A. M., Anjos, S., França, A. B., Matsuda, N., Eiler, J., Mckenzie, J. A., & Vasconcelos, C. 2014. Development of microbial carbonates in the Lower Cretaceous Codó Formation (north-east Brazil): Implications for interpretation of microbialite facies associations and palaeoenvironmental conditions. *Sedimentology*, Article in press.
- Barbosa, J. S. F., Sabaté, P., & Marinho, M. M. 2003. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. *Revista Brasileira de Geociências*, 33: 3–6.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., & Gonçalves, J. H. 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Textos, Mapas e SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Brasília.
- Bonfim, L. F. C., Rocha, A. J. D., Pedreira, A. J., Morais, J. C. P., Guimares, J. T., & Tesch, N. A. 1985. *Projeto Bacia de Irecê*. Salvador, CPRM, (Relatório Final).
- Burchette, T. P., & Wright, V. P. 1992a. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79: 3–57.
- Burchette, T. P., & Wright, V. P. 1992b. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79: 3–57.

- Burne, R. V., & Moore, L. S. 1987. Microbialites Organosedimentary Deposits of Benthic Microbial Communities. *Palaios*, 2: 241–254.
- Calvet, F., & Tucker, M. E. 1988. Outer ramp cycles in the Upper Muschelkalk of the Catalan Basin, northeast Spain. *Sedimentary Geology*, 57: 185–198.
- Carminatti, M., Wolff, B., & Gamboa, L. 2008. *New exploratory frontiers in Brazil. Proceedings of the 19th World Petroleum Congress*. Proceedings of the 19th World Petroleum Congress. Madrid.
- Collinson, J. D. 1969. The sedimentology of the Grindslow shales and the Kinderscout grit; a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Research*, 39(1): 194–221.
- Danderfer, A. 2000. *Geologia sedimentar e evolução tectônica do Espinhaço Setentrional, Estado da Bahia*. 494 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Dardenne, M. A. 1978. Síntese sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30. Recife: SBG. v. 2, p. 597-610.
- Dedavid, B. A., Gomes, C. I., & Machado, G. 2007. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. Porto Alegre, EDIPUCRS. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia/microscopia.pdf>>. Acesso em: setembro de 2014.
- Demicco, R. V., & Hardie, L. A. 1994. *Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits*. SEPM (Society of Sedimentary Geology), p. 265.
- Dominguez, J. M. L. 1993. As coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In J. M. L. Dominguez & A. Misi (Eds.), *O Cráton do São Francisco*. Salvador: SBG. p.137-159.

- Dominguez, J. M. L. 1996. As Coberturas Plataformais do Proterozoico Médio e Superior. In J. S. F. Barbosa & J. M. L. Dominguez (Eds.), *Geologia da Bahia - Texto Explicativo*. Salvador: SICM/SGRM. 1ª ed. p.105-125.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. In W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 108-121.
- Dupraz, C., Reid, R. P., Braissant, O., Decho, A. W., Norman, R. S., & Visscher, P. T. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96(3): 141–162.
- Embry, A. F., & Klovan, J. E. 1971. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19(4): 730–781.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer, p.688.
- Folk, R. L. 1959. Practical Petrographic Classification of Limestones. *AAPG Bulletin*, 43(1): 1–38.
- Folk, R. L. 1962. Spectral Subdivision of Limestone Types. In W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 62-85.
- Freire, E. B. 2012. *Caracterização estratigráfica em alta resolução das sequências calcárias de origem microbiana no intervalo Paleocênico da Formação Yacoraite (Sequência Balbuena IV), na região de Salta - Argentina*. 240 p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Guimarães, J. T. 1996. *A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, Estratigrafia e Ambientes de Sedimentação*. Salvador, 155p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, UFBA.

- Guimarães, J. T., Santos, R. A. dos, & de Melo, R. C. 2008. *Geologia da Chapada Diamantina Ocidental (Projeto Ibitiara – Rio de Contas)*. Programa Recursos Minerais do Brasil. Salvador - BA, CPRM/CBPM, 64p.
- Haldar, S. K. 2013. *Introduction to Mineralogy and Petrology*. Elsevier, p. 338.
- Hinrichs, R. 2012. Fluorescência de Raios X. *Apostila Da Disciplina de Técnicas Analíticas - UFRGS*.
- Hofmann, H. J. 1976. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In M. R. Walter (Ed.), *Developments in sedimentology*. New York, Elsevier Scientific Publishing Company, p. 261-271.
- Jahnert, R. J., & Collins, L. B. 2011. Significance of subtidal microbial deposits in Shark Bay, Australia. *Marine Geology*, 286(1-4): 106–111.
- James, N. P., Kendall, A. C., & Pufahl, P. K. 2010. Introduction to Biological and Chemical Sedimentary Facies Models. In N. P. James & R. W. Dalrymple (Eds.), *Facies Models 4*. The Geological Association of Canada, p. 323-339.
- Logan, B. W., Rezak, R., & Ginsburg, R. N. 1964. Classification and environmental significance of algal stromatolites. *Journal of Geology*, 72(1): 68–83.
- Mackey, E. A., Christopher, S. J., Lindstrom, R. M., Long, S. E., Marlow, A. F., Murphy, K. E., ... Nebelsick, J. 2010. Certification of Three NIST Renewal Soil Standard Reference Materials for Element Content: SRM 2709a San Joaquin Soil, SRM 2710a Montana Soil I, and SRM 2711a Montana Soil II. *National Institute of Standards and Technology Special Publication*, 0–39.
- Miall, A. D. 1984. Architectural-elements analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Review*, 22: 261–308.
- Misi, A. 1976. *As sequências Bambuí no estado da Bahia e as mineralizações de Chumbo e Zinco associadas*. Salvador, 80p. Tese para concurso de Livre Docência - Universidade Federal da Bahia.
- Misi, A. 1979. *O Grupo Bambuí na Bahia*. Salvador, SME/CPM, v.1, p.120-154.

- Misi, A., & Silva, M. G. 1996. *Chapada Diamantina Oriental - Bahia: Geologia e depósitos*. Salvador, CPRM, (Série de Roteiros Geológicos). 194p.
- Misi, A., & Souto, P. 1975. Controle estratigráfico das mineralizações de chumbo, zinco, fluor e bário no Grupo Bambuí, parte leste da Chapada de Irecê (Bahia). *Revista Brasileira de Geociências*, 5(1): 30–45.
- Misi, A., & Veizer, J. 1996. Chemostratigraphy of Neoproterozoic Carbonate Sequences of the Una Group, Irecê Basin, Brazil. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39. SBG. v. 5, p. 487-489.
- Noffke, N., Gerdes, G., & Klenke, T. 2003. Benthic cyanobacteria and their influence on the sedimentary dynamics of peritidal depositional systems (siliciclastic, evaporitic salty, and evaporitic carbonatic). *Earth-Science Reviews*, 62(1-2): 163–176.
- Noffke, N., Gerdes, G., Klenke, T., & Krumbein, W. E. 2001. Microbially induced sedimentary structures – a new category within the classification of primary sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, 71(5): 649–656.
- Pigott, K. L. 2004. *Elemental and Stable Carbon Isotope Chemostratigraphy of the Upper Jurassic Smackover Sequence of Southwest Alabama Basins, Alabama, U.S.A.* 273 p. Dissertation - School of Geology and Geophysics - The University of Oklahoma.
- Ratcliffe, K., & Zaitlin, B. A. 2010. *Application of Modern Stratigraphic Techniques: Theory and Case Histories*. SEPM Soc for Sed Geology.
- Read, J. F. 1985. Carbonate platform facies models. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69(1): 1–21.
- Reading, H. G. 1996. *Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science, 688p.
- Riding, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47(1): 179–214.
- Riding, R. E., & Awramik, S. M. 2000. *Microbial sediments*. Springer, p. 331.

- Scherer, C. M. S., Santana, A. V. A., Pereira, C. P., Kuchle, J., Spohr, A. P., & Morais, T. A. 2014. Análise estratigráfica de alta resolução em sistemas carbonáticos microbiais do Neoproterozoico - exemplo da Formação Salitre, BA. *Relatório de Pesquisa*.
- Scholle, P. A., Bebout, D. G., & Moore, C. H. 1983. *Carbonate Depositional Environments*. AAPG Memoir 33, p. 691.
- Seckbach, J., & Oren, A. 2010. *Microbial Mats: Modern and Ancient Microorganisms in Stratified Systems*. Springer.
- Souza, S. L., Brito, R. W. S., & Silva, P. C. R. 1993. *Estratigrafia, Sedimentologia e Recursos Minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia*. Salvador, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), (Série Arquivos Abertos 2), 36 p.
- Strasser, A., Pittet, B., Hillga, H., & Pasquier, J.-B. 1999. Depositional sequences in shallow carbonate-dominated sedimentary systems: concepts for a high-resolution analysis. *Sedimentary Geology*, 128: 201–221.
- Terra, G. J. S., Spadini, A. R., França, A. B., Sombra, C. L., Zambonato, E. E., Juschaks, L. C. S., ... Winter, W. R. 2010. Classificação de rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. *Boletim de Geociências Petrobras*, 18(1): 9–29.
- Tewari, V. C., & Seckbach, J. 2011. *Stromatolites: Interaction of Microbes with Sediments*. Springer, p. 379.
- Tucker, M. E., & Wright, V. P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Wiley-Blackwell, p. 496.
- Vasconcelos, C., Dittrich, M., & McKenzie, J. A. 2014. Evidence of microbiocoenosis in the formation of laminae in modern stromatolites. *Facies*, 60: 3–13.
- Walker, R. G. 2006. Facies Models Revisited. In H. W. Posamentier & R. G. Walker (Eds.), *Facies Models Revisited*. Tulsa, SEMP Special Publication, v. 84, p. 19-84.

- Walker, R. G., & James, N. P. 1992. *Facies Models: Response to sea level change*. (R. G. Walker & N. P. James, Eds.) *Facies Models: Response to sea level change*. Toronto, Association of Canada, 409p.
- Walter, M. R. 1976. *Stromatolites*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, p.790.
- Wizevich, M. C. 1991. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In A. D. Miall & N. Tyler (Eds.), *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments, and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa, SEMP Geology, p. 22-24.

ANEXOS

A1 – Perfis colunares

A2 – Tabelas

Tabela A2.1: Resultados medidas de FRX portátil obtidas no Soil Mode.

Elemento	Fator de Correlação	Elementos traços - Soil Mode (ppm)															
		0,928298427	0,905685509	0,998920743	0,996290692	0,953709264	1,134075724	0,719191815	1,004784125	1,004881824	±	±	±	±	±	±	
Amostra	Erro (%)	Fe	Ti	Mn	Rb	Sr	W	Zr	As	Pb	±	±	±	±	±	±	
Prof. (m)																	
#6 #7	0,1	3791	1,1	1237	5,7	85	12,9	14,0	7,1	1436	0,6	N/D	21	10,3	N/D	11	14
#9 #10	0,4	1309	1,7	456	12,5	82	12,2	6,6	13,6	1422	0,6	N/D	22	9,7	N/D	6	0
#11 #12	0,8	2849	2,4	1212	12,4	73	30,1	9,0	17,8	2020	1,7	42	30	10,0	N/D	N/D	N/D
#13 #14	1,3	1457	3,2	821	17,4	79	27,8	N/D	N/D	1364	1,7	53	23	14	20,0	N/D	N/D
#15 #16	1,6	1791	2,9	738	18,9	N/D	N/D	4,5	31,1	1463	1,7	N/D	N/D	11	26,7	N/D	8
#17 #19	1,9	6358	2,0	1727	9,2	172	14,5	18,3	9,2	1108	1,7	37	33	37	7,8	N/D	12
#20 #21	2,2	2498	2,6	1207	12,7	135	17,8	4,5	28,9	1062	1,8	N/D	N/D	12	23,5	N/D	N/D
#22 #23	2,5	5671	2,1	1625	10,1	198	13,6	12,0	13,3	1372	1,7	N/D	N/D	29	9,8	N/D	N/D
#24 #25	2,85	3404	2,3	797	17,3	99	22,2	13,7	10,9	1144	1,7	N/D	N/D	27	10,5	5,83	31
#27 #28	3,3	2682	2,6	882	16,9	128	19,5	7,4	18,9	994	1,8	N/D	N/D	14	21,1	N/D	N/D
#29 #30	3,65	6571	2,0	1499	10,6	329	9,1	17,5	9,7	1021	1,8	N/D	N/D	34	8,5	6,03	33
#31 #32	4	3063	2,7	1090	15,4	131	20,6	10,2	15,7	1380	1,9	N/D	N/D	10	35,7	N/D	N/D
#33 #34	4,45	4513	2,1	1602	9,8	187	13,4	10,0	14,0	1309	1,7	N/D	N/D	19	15,4	N/D	8
#35 #36	4,85	16643	1,9	3720	6,0	442	8,1	54,8	5,5	725	2,0	N/D	N/D	98	3,7	N/D	10
#37 #38	5,3	2260	2,6	1282	11,7	100	22,0	6,0	20,0	795	1,8	N/D	N/D	9	23,1	N/D	N/D
#39 #40	5,8	2288	3,0	1188	14,6	162	17,3	N/D	N/D	1336	2,0	43	34	N/D	N/D	N/D	N/D
#41 #42	6,2	8291	2,2	1784	10,6	393	9,2	8,6	19,8	1369	2,0	N/D	N/D	24	15,2	N/D	N/D
#43 #44	6,7	8076	2,1	2481	8,0	834	5,6	6,6	22,7	1455	1,9	44	33	24	14,7	N/D	N/D
#45 #46	7,2	19120	1,8	3453	6,1	882	5,2	22,0	8,1	1028	1,9	N/D	N/D	45	6,5	9,04	22
#47 #50	7,8	16846	2,2	3212	7,6	503	8,5	16,5	11,4	692	2,2	N/D	N/D	42	6,8	12,06	25
#51 #53	8,4	3548	2,2	1581	9,4	182	12,6	24,5	6,5	692	1,7	N/D	N/D	20	10,7	N/D	9
#54 #55	8,8	2073	3,2	1399	12,9	371	9,4	N/D	N/D	429	2,2	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
#56 #57	9,3	6591	2,2	1395	12,5	177	15,8	41,8	4,8	530	2,2	N/D	N/D	58	4,9	N/D	N/D
#58 #59	9,7	7516	2,0	1743	9,6	403	7,9	9,0	15,6	1061	1,8	N/D	N/D	14	21,1	7,03	29
#60 #61	10,1	5365	2,4	1697	10,9	105	24,8	N/D	N/D	730	2,1	N/D	N/D	8	27,3	N/D	N/D
#62 #63	10,6	7132	2,1	1987	8,9	136	19,1	15,2	11,1	1473	1,8	N/D	N/D	17	20,8	9,04	22
#64 #65	11,1	1428	3,2	859	16,6	157	15,9	7,0	22,9	2512	1,6	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
#66 #67	11,5	942	3,9	661	21,6	N/D	N/D	6,4	25,0	2052	1,7	N/D	N/D	12	31,2	N/D	N/D
#68 #69	11,9	1295	3,5	928	16,8	N/D	N/D	6,2	24,2	1484	1,9	N/D	N/D	12	31,2	N/D	N/D
#70 #71	12,4	5316	2,1	1488	10,5	205	12,7	8,9	15,7	1162	1,7	N/D	N/D	24	12,1	N/D	N/D
#72 #73	12,95	4795	2,1	1555	10,0	209	12,4	5,5	23,6	1384	1,7	N/D	N/D	19	14,8	N/D	N/D
#74 #75	13,45	4904	2,2	1538	10,5	211	12,8	9,5	15,8	1335	1,8	N/D	N/D	21	13,8	7,03	29
#76 #77	13,9	18502	1,8	3781	5,6	230	12,6	21,6	7,8	629	1,8	N/D	N/D	46	6,2	N/D	10
#78 #79	14,3	14390	1,7	2724	6,6	290	10,0	23,4	7,2	677	1,8	N/D	N/D	37	5,8	N/D	10
#80 #81	14,6	17079	1,5	3540	5,0	482	6,2	63,8	3,1	487	1,6	32	32	99	2,9	9,04	22
#82 #83	15	1058	3,8	845	17,8	164	15,2	6,4	20,3	825	1,8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
#84 #88	15,3	8666	1,9	2129	8,1	496	6,8	30,8	5,8	458	1,9	N/D	N/D	50	4,3	N/D	8
#89 #90	15,6	821	4,3	454	31,3	84	28,6	N/D	N/D	803	1,9	44	31	N/D	N/D	N/D	N/D

Tabela A2.2: Resultados medidas de FRX portátil obtidas no Mining Mode.

		Elementos maiores - Mining Mode (%)																								
Fator de Correlação	1,523109934	2,02776072	0,961209049	1,062380103	1,256437806	0,305269428	1,02125244	0,917246621	0,992532878	0,755536195	0,169867258	1,075627771														
Elemento	Erro (%)	Si	Al	Fe	Ca	Ti	P	K	Mn	Zn	Zr	Cd	Pb													
Amostra	Prof. (m)	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±									
#6 #7	0,1	17,8	0,8	8,2	2,5	2,5	1,11	1,5	35,9	0,1	0,28	8	0,025	16	0,61	1,6	0,019	18	N/D	N/D	0,0159	2,4	0,0040	5,5	0,0013	25
#9 #10	0,4	7,1	0,8	3,3	6,2	6,2	0,25	3,1	42,1	0,1	0,09	16	0,014	18	0,13	3,6	0,016	19	N/D	N/D	0,0159	1,9	0,0046	4,4	0,0013	25
#11 #12	0,8	21,4	0,5	8,2	2,7	1,48	1,2	1,48	21,6	0,1	0,26	8	0,064	5	1,54	0,6	0,031	13	N/D	N/D	0,0153	2,0	0,0038	5,3	0,0014	23
#13 #14	1,3	8,8	0,8	4,1	3,0	0,25	3,3	41,7	0,1	0,12	14	0,022	12	0,12	4,1	0,012	25	N/D	N/D	0,0159	2,4	0,0046	4,8	N/D	N/D	
#15 #16	1,6	10,1	0,7	5,6	2,9	0,34	2,7	40,7	0,1	0,15	11	0,024	11	0,18	2,9	0,010	27	N/D	N/D	0,0153	2,0	0,0046	4,5	N/D	N/D	
#17 #19	1,9	14,9	0,6	6,0	2,0	1,09	1,5	25,9	0,1	0,21	9	0,044	6	0,69	1,1	0,025	15	N/D	N/D	0,0128	2,4	0,0042	5,3	N/D	N/D	
#20 #21	2,2	9,5	0,8	4,6	4,9	0,29	3,0	36,0	0,1	0,12	14	0,040	7	0,37	1,6	0,016	21	N/D	N/D	0,0120	2,5	0,0048	4,6	0,0013	25	
#22 #23	2,5	16,8	0,6	6,6	2,1	0,57	2,3	31,4	0,1	0,16	12	0,090	4	0,33	2,1	0,035	13	N/D	N/D	0,0115	2,6	0,0048	5,0	N/D	N/D	
#24 #25	2,85	22,0	0,5	12,1	1,0	0,62	1,9	35,6	0,1	0,16	11	0,057	5	0,57	1,3	0,029	13	N/D	N/D	0,0151	2,0	0,0045	4,5	N/D	N/D	
#27 #28	3,3	11,8	0,6	6,3	2,6	0,40	2,5	37,0	0,1	0,11	14	0,088	3	0,23	2,5	0,027	14	N/D	N/D	0,0100	3,0	0,0041	5,3	N/D	N/D	
#29 #30	3,65	15,6	0,6	7,0	0,0	1,14	1,5	26,0	0,1	0,25	9	0,079	4	0,62	1,2	0,071	8	N/D	N/D	0,0134	2,3	0,0045	4,9	N/D	N/D	
#31 #32	4	14,3	0,6	5,2	2,7	0,50	2,2	30,6	0,1	0,16	11	0,049	6	0,34	1,8	0,042	11	N/D	N/D	0,0141	2,1	0,0046	4,8	0,0016	20	
#33 #34	4,45	10,5	0,7	4,9	3,3	0,44	2,4	36,4	0,1	0,14	12	0,050	5	0,32	1,8	0,025	15	N/D	N/D	0,0172	2,2	0,0046	4,8	0,0014	23	
#35 #36	4,85	15,1	0,7	5,4	2,7	1,01	1,7	25,9	0,1	0,31	8	0,058	6	0,52	1,5	0,047	11	N/D	N/D	0,0110	2,8	0,0042	5,7	0,0014	25	
#37 #38	5,3	8,9	0,8	5,2	2,3	0,32	2,9	37,1	0,1	0,13	13	0,035	8	0,12	4,3	0,015	21	N/D	N/D	0,0133	2,3	0,0047	4,7	N/D	N/D	
#39 #40	5,8	7,2	0,9	3,9	4,1	0,29	3,3	37,6	0,1	0,14	13	0,050	6	0,17	3,3	0,019	20	N/D	N/D	0,0141	2,7	0,0044	5,4	N/D	N/D	
#41 #42	6,2	15,8	0,6	9,1	1,6	1,07	1,6	33,9	0,1	0,19	11	0,075	4	0,14	4,5	0,047	11	N/D	N/D	0,0147	2,6	0,0045	5,3	N/D	N/D	
#43 #44	6,7	28,8	0,4	11,9	1,2	0,96	1,6	30,3	0,1	0,21	9	0,131	3	0,15	4,7	0,137	6	N/D	N/D	0,0113	2,7	0,0037	6,0	N/D	N/D	
#45 #46	7,2	35,0	0,4	17,3	0,9	2,65	0,9	13,7	0,2	0,47	6	0,237	2	0,57	1,7	0,154	5	0,00824	10	0,0140	2,7	0,0033	6,6	0,0014	31	
#47 #50	7,8	28,1	0,5	12,8	0,0	2,98	0,8	6,8	0,3	0,46	5	0,078	4	1,00	1,0	0,067	8	0,00873	9	0,0174	2,2	0,0031	7,1	0,0014	23	
#51 #53	8,4	17,8	0,5	7,0	2,9	0,84	1,6	22,8	0,1	0,17	10	0,030	9	1,01	0,8	0,075	7	N/D	N/D	0,0070	3,2	0,0043	4,8	N/D	N/D	
#54 #55	8,8	13,2	0,7	5,5	29,9	0,27	3,4	36,4	0,1	0,11	16	0,036	8	0,05	12,0	0,061	9	N/D	N/D	0,0048	4,8	0,0048	4,9	N/D	N/D	
#56 #57	9,3	16,4	0,7	5,9	2,4	1,22	1,4	21,1	0,1	0,23	9	0,030	9	0,81	1,0	0,031	14	N/D	N/D	0,0102	3,0	0,0044	5,0	0,0012	27	
#58 #59	9,7	19,7	0,5	11,6	1,2	1,11	1,5	28,1	0,1	0,22	9	0,049	6	0,38	1,9	0,063	8	N/D	N/D	0,0114	2,6	0,0040	5,6	0,0012	27	
#60 #61	10,1	15,0	0,6	9,6	1,5	0,52	2,3	38,3	0,1	0,14	12	0,015	19	N/D	N/D	0,015	23	N/D	N/D	0,0146	2,1	0,0045	4,9	N/D	N/D	
#62 #63	10,6	17,4	0,5	11,7	1,4	0,85	1,7	37,1	0,1	0,19	10	0,031	9	0,12	5,0	0,035	12	N/D	N/D	0,0074	4,1	0,0043	5,2	N/D	N/D	
#64 #65	11,1	6,0	0,9	3,9	4,2	0,20	3,5	43,3	0,1	0,07	18	0,023	11	N/D	N/D	0,024	15	N/D	N/D	0,0184	2,0	0,0048	4,3	N/D	N/D	
#66 #67	11,5	4,1	1,2	1,9	8,5	0,13	4,4	41,4	0,1	0,09	16	0,015	16	0,03	13,8	0,014	22	N/D	N/D	0,0205	1,8	0,0048	4,6	0,0012	27	
#68 #69	11,9	3,8	1,3	2,1	5,8	0,13	4,6	41,0	0,1	0,09	17	0,017	14	0,08	5,7	0,019	18	N/D	N/D	0,0159	2,4	0,0051	4,4	N/D	N/D	
#70 #71	12,4	12,9	0,6	5,2	1,9	0,41	2,5	33,7	0,1	0,15	12	0,041	7	0,54	1,2	0,029	14	0,00625	11	0,0138	2,2	0,0043	5,1	N/D	N/D	
#72 #73	12,95	8,0	0,8	4,4	2,3	0,75	1,8	40,0	0,1	0,21	9	0,029	9	0,10	5,1	0,028	14	N/D	N/D	0,0153	2,5	0,0041	5,3	N/D	N/D	
#74 #75	13,45	11,6	0,7	4,9	2,9	0,68	1,9	31,5	0,1	0,21	9	0,033	8	0,32	1,8	0,039	11	N/D	N/D	0,0139	2,2	0,0039	5,6	N/D	N/D	
#76 #77	13,9	31,9	0,4	16,2	0,8	2,54	0,9	15,9	0,2	0,41	6	0,033	9	0,50	1,8	0,038	11	N/D	N/D	0,0100	3,0	0,0036	6,1	N/D	N/D	
#78 #79	14,3	30,6	0,4	16,9	0,7	1,72	1,1	24,9	0,1	0,31	7	0,031	7	0,031	1,4	0,046	10	N/D	N/D	0,0107	2,8	0,0037	5,6	0,0012	27	
#80 #81	14,6	25,8	0,4	10,2	2,0	2,48	0,9	16,4	0,1	0,43	5	0,052	5	2,18	0,5	0,079	7	0,00506	12	0,0141	2,2	0,0036	5,7	0,0022	15	
#82 #83	15	3,8	1,3	1,4	12,7	0,13	4,7	41,0	0,1	0,08	18	N/D	N/D	N/D	0,05	9,1	0,013	24	N/D	N/D	0,0081	3,7	0,0048	4,6	N/D	N/D
#84 #88	15,3	14,1	0,5	4,9	4,1	0,41	2,3	36,2	0,1	0,12	13	0,023	11	0,57	1,1	0,046	10	N/D	N/D	0,0066	3,4	0,0045	4,5	N/D	N/D	
#89 #90	15,6	2,9	1,5	1,6	11,1	0,11	5,1	42,0	0,1	0,06	23	0,008	29	N/D	N/D	0,022	17	N/D	N/D	0,0085	3,6	0,0048	4,6	N/D	N/D	