

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

Curso de Graduação em Geologia

SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA E TRATOS DE SISTEMAS DO MEMBRO  
ROMUALDO, PORÇÃO LESTE DA BACIA DO ARARIPE,  
NORDESTE DO BRASIL

MICHELE ANDRIOLLI CUSTÓDIO

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre de Jesus Perinotto

Co-orientador: Prof. Dr. Mario Luis Assine

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

MICHELE ANDRIOLLI CUSTÓDIO

SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA E TRATOS DE SISTEMAS DO MEMBRO  
ROMUALDO, PORÇÃO LESTE DA BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO BRASIL

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio  
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geóloga.

Comissão Examinadora

José Alexandre de Jesus Perinotto (orientador)  
Lucas Veríssimo Warren  
Maurício Guerreiro Martinho dos Santos

Rio Claro, 18 de março de 2015.

---

Assinatura do(a) aluno(a)

---

Assinatura do(a) orientador(a)

Aos meus pais e ao Bruno, que sempre me apoiaram e confiaram em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências e Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo – PRH 05/UNESP, e ao PRH/ANP – FINEP/MCT, pelo apoio acadêmico e financeiro, indispensáveis à realização deste trabalho de conclusão de curso.

Ao convênio PETROBRÁS / UNESP / FUNDUNESP (0050.0023165.06.4 SAP nº 46.00321584 – CCP nº 1850/10), projeto “Análise Estratigráfica do Andar Alagoas nas Bacias do Araripe, Tucano/Jatobá, Parnaíba e Sanfranciscana” pela oportunidade de aprendizagem e apoio aos trabalhos desenvolvidos.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Marcia e Sergio, que tornaram este trabalho possível, que sempre foram essenciais ao longo de toda a graduação por todo o incentivo e confiança. Em especial ao Bruno Baptistella, que perto ou longe, soube sempre estar presente com seu apoio ou crítica, quando necessário.

Aos Profs. Drs. José Alexandre de Jesus Perinotto e Mario Luis Assine que auxiliaram e orientaram da melhor forma possível o desenvolvimento e conclusão deste trabalho ao longo de dois anos, possibilitando maior aprendizado e conhecimento geológico.

Ao coordenador do Geopark Araripe Francisco Idalécio de Freitas, Prof. Dr. Álamo Feitosa e ao Sr. Artur Andrade – DNPM por todo suporte e apoio dado nas logísticas de campo e por compartilhar o conhecimento e companhia.

Aos dois pequenos grandes meninos, filhos do Seu Expedito, que residiam em Sobradinho – CE, que nos acompanharam no levantamento da seção Sobradinho, sempre muito dispostos e com uma alegria e força contagiantes.

Aos colegas e amigos da Turma de Geologia 2010 e do Laboratório de Estudos Estratigráficos (LEE) e todo Unespetro, que diretamente ou indiretamente ajudaram e apoiaram o andamento e finalização deste trabalho, em especial a minha amiga Renata Paes e ao Bruno Araújo que me acompanharam nos trabalhos de campo, e sempre se mostraram interessados e solícitos em ajudar.

Por fim... à Geologia, ciência que me permitiu vivenciar e conhecer a beleza das transformações ocorridas na Terra ao longo de milhões de anos.

***Epígrafe***

"Certas aves, como os falcões e as águias, têm características muito especiais (...)

Ao contrário de outras aves, quando veem uma tormenta, vão diretamente de encontro a ela, não se escondem, nem ficam agitadas, abrem suas asas poderosas e velozes e enfrentam a tormenta, superam as nuvens negras, a tempestade, os choques elétricos provenientes dos raios. Sabe por quê? Porque sabem que acima, para além da tormenta, está o brilho do Sol!".

*PAZ GUERREIRA – O Caminho das Dezesesseis Pétalas*

Talal Hussein

## RESUMO

Situada na Região Nordeste do Brasil, a Bacia do Araripe teve evolução associada à fragmentação do Gondwana e abertura do Atlântico Sul. A Formação Santana pertence à sequência pós-rifte desta bacia e é caracterizada pela presença de calcários laminados na sua porção inferior (Mb. Crato), evaporito (Camadas Ipubi) e siliciclásticos (Mb. Romualdo). Para melhor entendimento da sucessão estratigráfica, ambientes deposicionais e dos tratos de sistemas do Membro Romualdo, foi realizada uma análise estratigráfica, tendo sido levantadas seções-colunares verticais representativas da unidade. Fácies sedimentares foram descritas em detalhe, bem como medidas de paleocorrentes em diferentes níveis estratigráficos. Verificou-se que o contato do Mb. Romualdo com a seção carbonático-evaporítica (Mbs. Crato e Ipubi) é uma desconformidade, evidenciada por *lags* residuais e camadas delgadas de conglomerados acima do contato. Sobre os níveis conglomeráticos predominam arenitos finos/médios com intercalações de folhelhos verdes calcíferos. A porcentagem de folhelhos aumenta em direção ao topo, caracterizando empilhamento retrogradante que culmina nas camadas de coquinas, excelente marco estratigráfico na bacia. Camadas delgadas de coquinas de gastrópodes portadoras de equinóides, situadas sobre a seção de folhelhos, presentes nas três seções levantadas, constituem depósitos marinhos associados a superfícies de ravinamento. A parte superior da seção é caracterizada pela recorrência de fácies de folhelhos verdes, intercalados com arenitos que progressivamente se tornam mais frequentes em direção ao topo da unidade, caracterizando a parte regressiva do ciclo. Os arenitos apresentam estratificações cruzadas, muitas vezes com clastos de lama e lâminas de argila nos *foresets*, e acamamentos do tipo *flaser* e *wavy* em fácies heterolíticas, sugestivas da atuação de correntes de maré. Paleocorrentes medidas nos arenitos mostram intervalos com sentidos de fluxo opostos delineando padrões bipolares, o que reforça a interpretação de ambiente marinho raso influenciado por marés durante a sedimentação do Membro Romualdo da Formação Santana.

**Palavras-chave:** Membro Romualdo, Bacia do Araripe, Andar Alagoas, Ciclo transgressivo-regressivo

## ABSTRACT

Located in northeastern Brazil, the evolution of Araripe Basin has been associated with the fragmentation of Gondwana and opening of the South Atlantic. The Santana Formation belongs to the post-rift sequence of the basin and is characterized by the presence of laminated limestones in the lower portion (Mb. Crato), evaporite (Ipubi) and siliciclastics (Mb. Romualdo). For better understanding of the Romualdo's stratigraphy, depositional environments and tract of systems, a stratigraphic analysis was made with representative columnar sections of the unit. Sedimentary facies have been described in detail, as well as paleocurrents measured at different stratigraphic levels. It was found that the contact of Mb. Romualdo with the carbonate-evaporite section (Mbs. Crato and Ipubi) is a unconformity, evidenced by residual lags and thin layers of conglomerates above the contact. Above the conglomeratic levels predominate fine sandstones / medium interlayered with calciferous green shales. The percentage of shales increases towards the top, featuring retrogradational stacking culminating in layers of coquinas, excellent stratigraphic mark in the basin. Thin layers of coquins of gastropods comprising equinoids, located on the shale section, present in three sections marine deposits are associated with surfaces ravine. The upper section is characterized by recurrent facies of green shales, sandstones intercalated with sandstones progressively become more frequent towards the top of the unit, featuring the regressive part of the cycle. The sandstones present cross-stratification, often with mud clasts and clay layers in the foresets, and beddings of flaser type and wavy in heterolithic facies, suggesting the action of tidal currents. Paleocurrents measured in the sandstones show gaps with opposite flow directions outlining bipolar standards, which reinforce the interpretation of shallow marine environment influenced by tides during the sedimentation of Romualdo's Member of Santana Formation.

**Keywords:** Romualdo Member, Araripe Basin, Andar Alagoas, Transgressive-Regressive cycle

## APRESENTAÇÃO

A presente monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – TCC), intitulada **“Sucessão estratigráfica e tratos de sistemas do Membro Romualdo, Porção Leste da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil”**, é apresentada ao Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – ICCE da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, *Câmpus* de Rio Claro e ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo e Ciências Ambientais Aplicadas ao Setor de Petróleo e Gás (PRH-05), pela graduanda Michele Andriolli Custódio (bolsista ANP – Agência Nacional do Petróleo) sob orientação do Prof. Dr. José Alexandre de Jesus Perinotto e co-orientação do Prof. Dr. Mario Luis Assine.

A monografia se desenvolveu no âmbito da estratigrafia e sedimentologia da Bacia do Araripe, com ênfase no Membro Romualdo da Formação Santana (Andar Alagoas). Os resultados alcançados proporcionaram interpretações da estratigrafia de sequências embasando-se nos dados obtidos das associações faciológicas descritas.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3. LOCALIZAÇÃO</b> .....	3
<b>4. MÉTODOS E MEIOS</b> .....	6
<b>4.1. Pesquisa Bibliográfica</b> .....	6
<b>4.2. Trabalhos de Campo</b> .....	6
4.2.1. Análise de fácies sedimentares.....	6
4.2.2. Levantamento de Seções Estratigráficas Verticais .....	8
<b>4.3. Trabalhos de Laboratório</b> .....	8
<b>4.4. Análise e conceitos da estratigrafia de sequência</b> .....	9
<b>5. GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	11
<b>5.1. Bacia do Araripe</b> .....	11
<b>5.2. Membro Romualdo - Formação Santana</b> .....	16
<b>6. SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA DE FÁCIES SEDIMENTARES</b> .....	20
<b>6.1. Conglomerados com estratificação cruzada acanalada (Fácies Gt)</b> .....	25
<b>6.2. Arenitos com estratificação cruzada acanalada (Fácies St)</b> .....	26
<b>6.3. Arenitos com estratificação cruzada cavalgante (Fácies Sr)</b> .....	28
<b>6.4. Arenitos com estratificação cruzada sigmoide (Fácies Ssg)</b> .....	28
<b>6.5. Arenito Maciço (Fácies Sm)</b> .....	30
<b>6.6. Arenitos com acamamento <i>flaser, wavy, linsen</i> (Fácies H)</b> .....	31
<b>6.7. Folhelho (Fácies FI)</b> .....	34
<b>6.8. Calcário (Fácies Ca)</b> .....	35
<b>6.9. Coquinas (Fácies CQ)</b> .....	36
<b>7. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS</b> .....	38
<b>7.1 Limite Inferior da Sequência Depositional</b> .....	40
<b>7.2 Limite Superior da Sequência Depositional</b> .....	42
<b>7.3 Superfície de Inundação Máxima</b> .....	43
<b>7.4 Trato de Sistemas Transgressivo</b> .....	44
<b>7.5 Trato de Sistemas de Mar Alto</b> .....	47
<b>7.6 Discussão</b> .....	49
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	53
<b>Referências</b> .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização das bacias sedimentares do NE brasileiro .....	2
<b>Figura 2.</b> Mapa de localização da área de estudo. ....	4
<b>Figura 3.</b> Localização da seção Pedra Branca. ....	4
<b>Figura 4.</b> Localização da seção Sítio Romualdo.....	5
<b>Figura 5.</b> Localização da seção Sobradinho.....	5
<b>Figura 6.</b> Mapa litoestratigráfico e perfil geológico da Bacia do Araripe.....	12
<b>Figura 7.</b> Carta estratigráfica da Bacia do Araripe.....	14
<b>Figura 8.</b> Unidades litoestratigráficas da Formação Santana. ....	16
<b>Figura 9.</b> Seção colunar levantada na minha Pedra Branca-CE.....	22
<b>Figura 10.</b> Seção colunar levantada no Sítio Romualdo-CE.....	23
<b>Figura 11.</b> Seção colunar levantada na localidade de Sobradinho-CE. ....	24
<b>Figura 12.</b> Conglomerado matriz sustentado (Fácies Gt) .....	25
<b>Figura 13.</b> Arenitos com estratificação cruzada acanalada (Fácies St).....	27
<b>Figura 14.</b> Arenitos com superfície de reativação (Fácies St).....	27
<b>Figura 15.</b> Arenitos com estratificação cruzada cavalgante (Fácies Sr).....	28
<b>Figura 16.</b> Arenitos com estratificação sigmoide (Fácies Ssg).....	29
<b>Figura 17.</b> Detalhe das barras arenosas com sigmoides (Fácies Ssg).....	30
<b>Figura 18.</b> Arenito maciço (Fácies Sm).....	31
<b>Figura 19.</b> Arenitos com acamamento <i>flaser</i> (Fácies H).....	32
<b>Figura 20.</b> Arenito com acamamento <i>wavy</i> (Fácies H) .....	33
<b>Figura 21.</b> Fácies heterolítica com bioturbação (Fácies H).....	34
<b>Figura 22.</b> Folhelho preto (Fácies FI).....	35
<b>Figura 23.</b> Calcário laminado (Fácies Ca) .....	36
<b>Figura 24.</b> Coquina (Fácies CQ).....	37
<b>Figura 25.</b> Correlação estratigráfica das seções colunares levantadas. ....	39
<b>Figura 26.</b> Representação esquemática do limite inferior ao longo da bacia .....	40
<b>Figura 27.</b> Superfície Inferior, contato Camadas Ipubi / Membro Romualdo.....	41
<b>Figura 28.</b> Superfície Transgressiva, contato Mbs. Crato / Romualdo. ....	42
<b>Figura 29.</b> Empilhamento retrogradacional.....	45
<b>Figura 30.</b> Bloco diagrama do Trato de Sistemas Transgressivo.....	46
<b>Figura 31.</b> Empilhamento progradacional.....	47
<b>Figura 32.</b> Bloco diagrama do Trato de Sistemas de Mar Alto.....	48

## ÍNDICE DE TABELAS

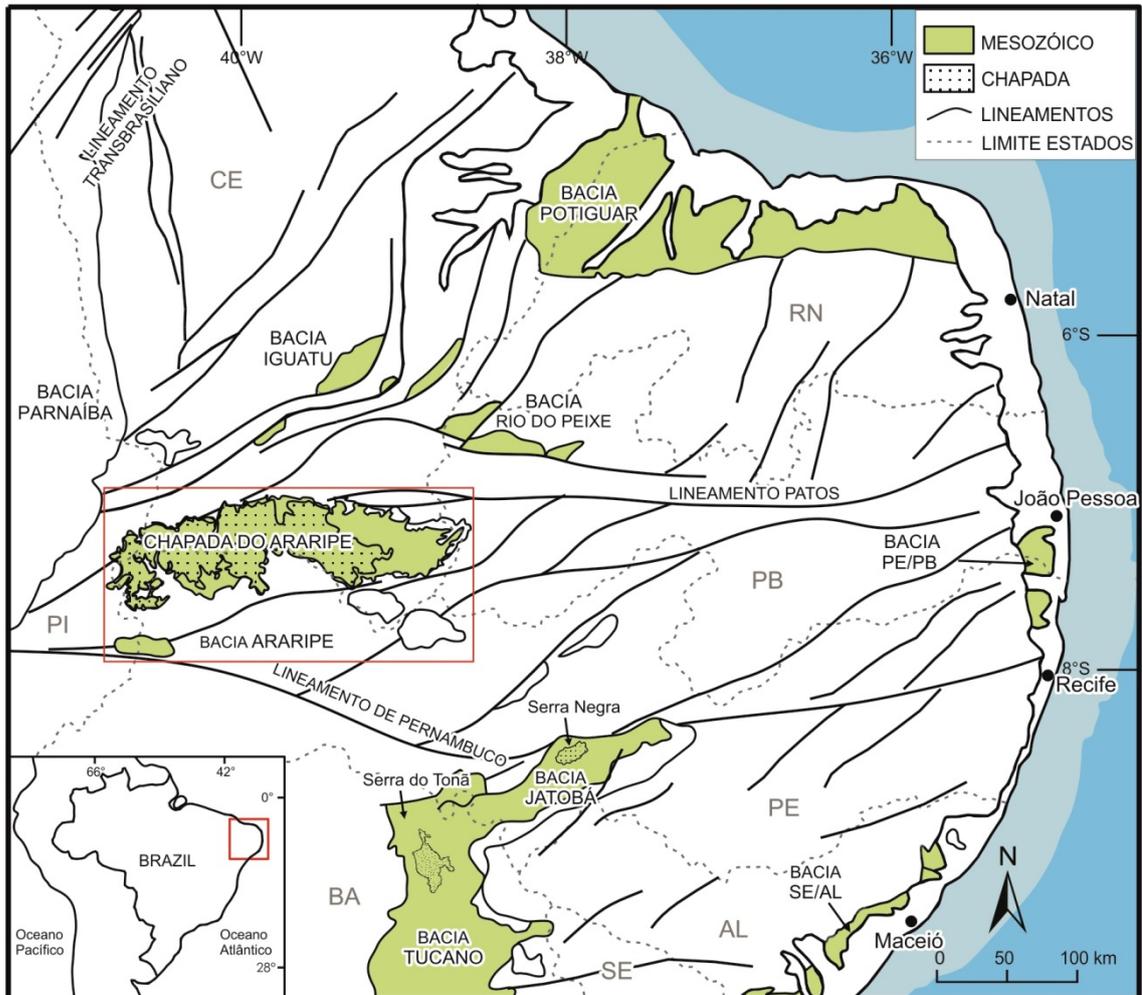
<b>Tabela 1.</b> Coordenadas geográficas das seções estratigráficas.....	19
<b>Tabela 2.</b> Tabela de código de fácies sedimentares descritas nas seções levantadas.....	20
<b>Tabela 3.</b> Associação de fácies e interpretação do sistema deposicional.....	36

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe é uma bacia interior poli-histórica do Nordeste do Brasil (Figura 1). O arcabouço estratigráfico desta bacia é constituído por diferentes sequências estratigráficas, que registram o preenchimento de bacias geradas em ambientes tectônicos distintos, tratando-se de uma bacia com evolução poligenética (Assine 1992).

O registro mesozoico do arcabouço estratigráfico da Bacia do Araripe mantém relação com os eventos tectônicos eocretáceos relacionados à fragmentação do Gondwana e abertura do Atlântico sul, no Jurássico superior / Cretáceo inferior (Brito Neves 1990). O conjunto mesozoico expõe o registro do Aptiano, caracterizado por sedimentação predominantemente continental, com incursões marinhas que ocorreram durante o final da fase rifte (Dias 2005). Tal andar consiste num intervalo estratigráfico que compreende um ciclo transgressivo-regressivo assimétrico, especificado como sequência pós-rifte I por Assine (2007). A unidade referente ao Andar Alagoas nesta bacia corresponde à Formação Santana, que contém os membros Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo.

O Membro Romualdo consiste no último registro litoestratigráfico da sequência pós-rifte I e marca as incursões marinhas na Bacia do Araripe (Assine 2007). Dentre as hipóteses até então postuladas acerca do ambiente de sedimentação para este membro, há divergentes opiniões e dúvidas com relação à sua litoestratigrafia. Isto se deve ao fato de que, dentre os principais estudos até então realizados, há destaque para os aspectos paleontológicos em virtude das amplas ocorrências de fósseis do Membro Romualdo. Em decorrência disto, há uma carência de estudos sedimentológicos e estratigráficos para esta unidade.



**Figura 1.** Localização das bacias sedimentares do NE brasileiro com destaque para a Bacia do Araripe. (Adaptado de Assine 1990).

## **2. OBJETIVOS**

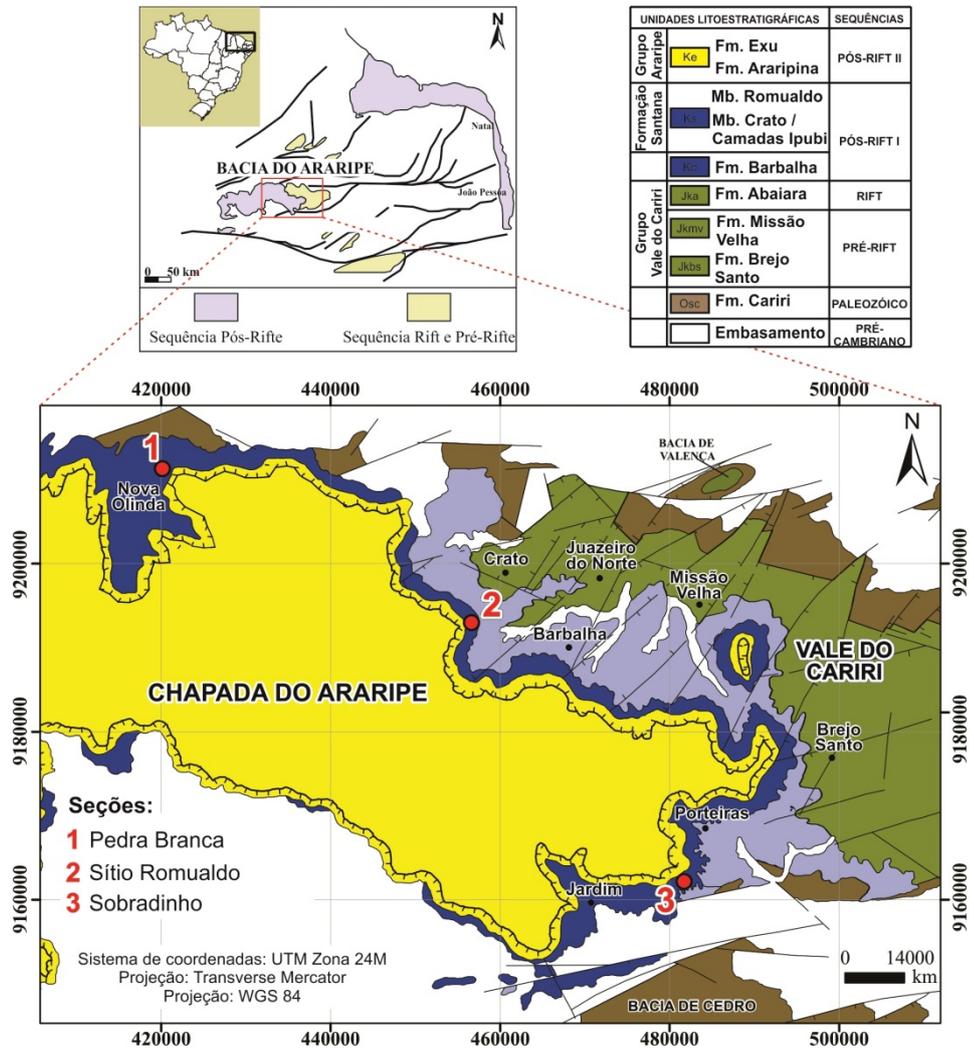
Este Trabalho de Conclusão de Curso – TCC objetiva contribuir para o entendimento acerca dos processos sedimentares geradores das fácies siliciclásticas, contemporâneos à deposição do Membro Romualdo, visando aprimorar o conhecimento e interpretação da estratigrafia sequencial da unidade, enfocando as superfícies limítrofes, sequências deposicionais e os tratos de sistemas que a compõem.

## **3. LOCALIZAÇÃO**

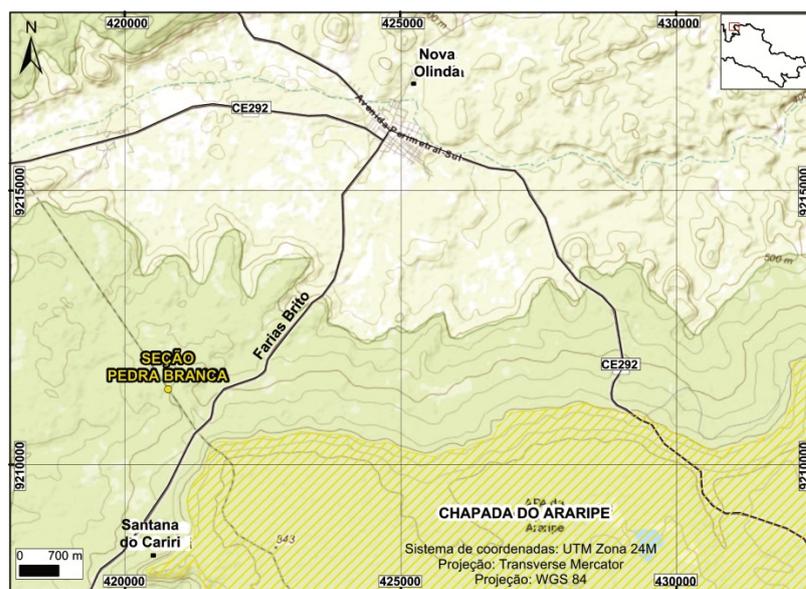
O estudo foi realizado no setor leste da Bacia do Araripe (Figura 2), Nordeste do Brasil, no estado do Ceará. A área engloba os municípios de Juazeiro do Norte, Crato, Nova Olinda, Santana do Cariri e Jardim.

Três seções colunares foram levantadas na área de estudo, denominadas Pedra Branca, Sítio Romualdo e Sobradinho. As seções localizam-se nas proximidades das cidades sede dos referidos municípios.

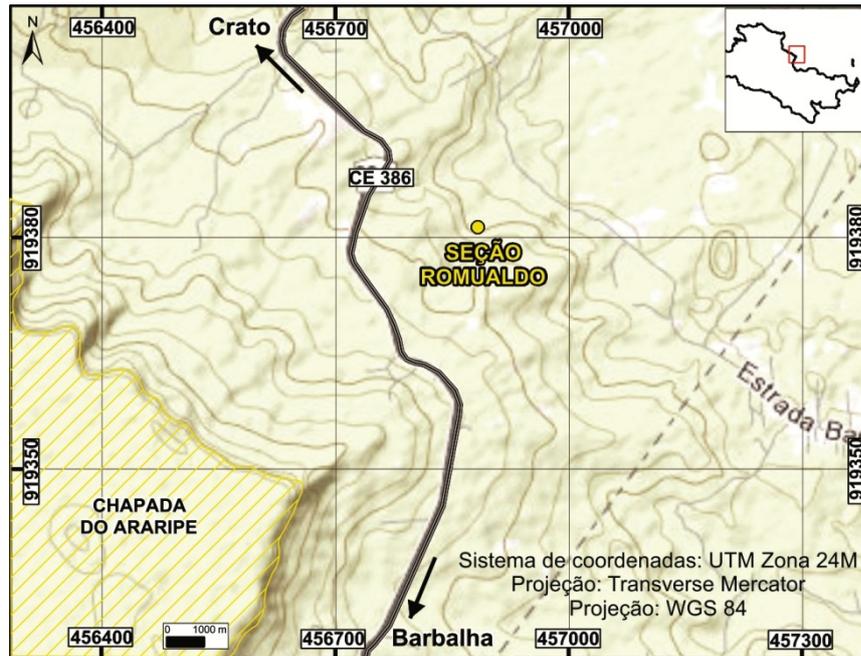
A seção Pedra Branca está localizada na Mina Pedra Branca (Mineração Chaves S.A.), a sudoeste da cidade de Nova Olinda (CE) (Figura 3), o acesso à seção ocorre pela estrada Farias Brito, a sudoeste de Nova Olinda. A seção Sítio Romualdo localiza-se a sudeste da cidade de Crato (CE), sendo que o acesso se dá pela rodovia estadual CE-386, entre Crato e Barbalha, na localidade Sítio Romualdo (Figura 4).



**Figura 2.** Mapa de localização da área de estudo. (Adaptado de Scherer *et al.* 2014).



**Figura 3.** Localização da seção Pedra Branca.  
 Coordenadas – X: 420.598, Y: 9.211.802, Z: 572 m



**Figura 4.** Localização da seção Sítio Romualdo.  
Coordenadas – X: 456.675, Y: 9.193.820

A seção Sobradinho situa-se a leste da cidade de Jardim (CE) e o seu acesso se dá pela rodovia estadual CE-390, com sentido para a rodovia Padre Cícero - CE-153 (Figura 5). A seção foi levantada ao longo de drenagem nas proximidades da encosta da Chapada do Araripe.



**Figura 5.** Localização da seção Sobradinho.  
Coordenadas – X: 481.867, Y: 9.163.174

## **4. MÉTODOS E MEIOS**

São aplicados neste trabalho técnicas e métodos de descrição de fácies e análise da estratigrafia de sequências. Para isto foram realizadas a análise estratigráfica, descrições de fácies sedimentares e levantamento de seções-colunares verticais.

### **4.1. Pesquisa Bibliográfica**

As primeiras atividades desta pesquisa consistiram na revisão bibliográfica detalhada de todos os trabalhos científicos disponíveis acerca da caracterização estratigráfica, paleontológica e paleoambiental do Membro Romualdo e da Bacia do Araripe. As citações e referências adotadas seguem as normas de referências da *Brazilian Journal of Geology*.

### **4.2. Trabalhos de Campo**

Esta etapa consistiu no tratamento e análise de dados de superfície da Bacia do Araripe e a delimitação das áreas a serem investigadas. Uma campanha de trabalho de campo de 10 dias foi realizada no período de 04 a 13 de julho de 2013, visando estudar e levantar dados de afloramentos. As seguintes atividades foram desenvolvidas no trabalho de campo: análise de fácies sedimentares, levantamento de paleocorrentes e de seções-colunares.

#### **4.2.1. Análise de fácies sedimentares**

A análise de fácies é um método fundamental de caracterização de rocha com atributos litológicos, físicos e biológicos singulares e distintos das demais. Este método é comumente aplicado para descrever rochas sedimentares ou sedimentos observados em afloramentos e testemunhos de sondagem (Catuneanu 2006). Uma fácies sedimentar é um conjunto de rochas geneticamente relacionadas, sendo caracterizada e distinguida das demais pela litologia, granulometria, arredondamento dos grãos, grau de seleção, estruturas sedimentares, geometria dos estratos, fósseis e cor e, corresponde ao registro geológico dos processos sedimentares (Walker 1992).

No âmbito da estratigrafia de sequências, o estudo de fácies sedimentares é particularmente relevante para o entendimento das variações dos processos sedimentares ao longo do tempo, sobretudo em resposta às flutuações cíclicas do

nível de base dos ambientes de sedimentação (Catuneanu 2006). Em virtude disto, a análise faciológica é uma ferramenta indispensável para a caracterização e interpretação dos processos sedimentares da unidade estudada, fornecendo informações fundamentais para a reconstrução estratigráfica.

Para a caracterização litológica das fácies sedimentares foi utilizada a classificação proposta por Miall (1978), que corresponde ao Código de Identificação de Fácies. A denominação adotada neste código utiliza letras e inclui duas partes: a primeira letra é escrita em maiúsculo e corresponde à litologia e, uma ou mais letras secundárias são escritas em minúsculo e referem-se às estrutura e textura das fácies. A classificação dos tamanhos das estratificações cruzadas foi adotada segundo o esquema de classificação proposto pela SEPM (*Society for Sedimentary Geology*) - *Bedforms and Bedding Structures Research Symposium* (modificado de Ashley 1990). Entretanto, novas fácies foram adicionadas às referidas classificações, diferentes das estabelecidas por Miall (1978). A classificação adotada para as demais fácies seguiu o critério adotado pela Universidade Petrobras para convenções de descrições sedimentológicas: GIP= gipsita e CQ= coquina, que admite para as três primeiras letras correspondência com a litologia. A classificação da fácies carbonática foi adaptada do modelo fluvial adotado por Miall (2006): Ca= calcário.

As medidas de paleocorrentes foram adquiridas durante os trabalhos de campo por constituírem elemento importante na análise de fácies e na evolução paleogeográfica de bacias. Este é um método eficaz e frequentemente utilizado, pois fornece dados do rumo do suprimento sedimentar e da tendência deposicional das unidades litológicas. Os levantamentos de paleocorrentes foram realizados, sobretudo em estratos cruzados, por constituírem as principais estruturas sedimentares indicativas de fluxo.

Os dados obtidos foram inseridos no *software* RockWorks® e analisados estatisticamente, sendo apresentados em seções-colunares sob a forma de rosetas de frequência, nas quais são indicados o número de medidas (n), a média vetorial (x) e o fator de consistência (f.c), que reflete a dispersão das medidas. A dispersão das medidas reflete não somente a confiabilidade do vetor resultante, como também a dispersão original inerente ao sistema deposicional. Os dados de cada estação (ponto de medidas) foram representados graficamente em classes de trinta graus (30°) a partir do rumo norte, sendo a soma desses dados convertida em

porcentagem e inserida em histogramas circulares de frequência (rosetas), que expressam a dispersão dos valores.

A documentação fotográfica foi obtida concomitante ao levantamento das seções colunares. A foto documentação abrangeu o registro das fácies sedimentares em diferentes níveis de detalhe. Além disso, painéis fotográficos foram montados de modo a obter imagens mais abrangentes, ilustrando relações laterais e verticais.

#### 4.2.2. Levantamento de Seções Estratigráficas Verticais

Três seções colunares foram levantadas na escala de detalhe 1:100. Os pontos selecionados neste estudo foram definidos com base em quatro principais critérios: exposição da unidade de estudo, estado de conservação, abrangência em área e acessibilidade. O controle espacial e dimensional das seções colunares foi feito com auxílio do GPS (*Global Position System*).

### 4.3. Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos laboratoriais foram desenvolvidos no Laboratório de Estudos Estratigráficos do UNESPetro (Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo) – da UNESP, Câmpus Rio Claro. Estes trabalhos consistiram no tratamento dos dados obtidos na fase de aquisição (trabalho de campo). As seções colunares levantadas em campo foram escaneadas e inseridas no programa CoreIDRAW® versão 16, *software* utilizado como auxílio na editoração e desenho de imagens. O processamento dos dados consistiu na representação digital bidimensional da sucessão vertical de fácies. As colunas digitalizadas seguiram um *layout* com padrão pré-definido e foram construídas conforme os elementos gráficos do programa. Os valores de paleocorrentes obtidos em cada estação foram inseridos nas colunas da planilha de dados do *software* RockWorks® versão 14 e, a partir disto, o programa cria um diagrama de roseta, cujas “pétalas” são dimensionadas e orientadas baseadas na frequência dos dados. Após isso, os valores médios e o número de medidas do diagrama obtido são selecionados e inseridos junto à roseta.

#### 4.4. Análise e conceitos da estratigrafia de sequência

Os dados e informações obtidos no decorrer do estudo foram integrados e interpretados visando à construção e entendimento da sequência deposicional, contida na supersequência pós-rifte I, por meio da análise da estratigrafia de sequências. Sequência deposicional é definida como uma unidade estratigráfica composta por uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados, limitada no topo e na base por discordâncias e conformidades correlatas, segundo Mitchum Jr. *et al.* (1977). Quando completa, uma sequência deposicional constitui um ciclo transgressivo-regressivo, materializado por uma cunha de fácies em cujo ápice há uma superfície de inundação (ou transgressão marinha) máxima (SIM) da linha de costa em direção ao continente (Van Wagoner *et al.* 1987).

Os limites de sequência deposicional são dados por: 1) discordância na borda da bacia, com evidências de erosão e truncamento de estratos; 2) conformidade correlata no interior da bacia, sem evidência de hiato deposicional; 3) hiato não-deposicional no centro da bacia, que pode ocorrer tanto entre estratos levemente inclinados das clinofomas e a superfície deposicional (*downlap*), quanto entre estratos concordantes nas porções mais distais (paraconformidade) (Assine & Perinotto 2001). As superfícies estratigráficas marcam mudanças significativas nos regimes de sedimentação e são importantes para a correlação regional, bem como para a compreensão da evolução deposicional do intervalo de interesse. O estudo destes intervalos estratigráficos não pode, contudo, ser isolado da análise das fácies, já que esta análise, muitas vezes, fornece os critérios diagnósticos para o reconhecimento daquelas superfícies limitantes (Catuneanu 2006).

Uma sequência deposicional constitui um ciclo transgressivo-regressivo de 3ª ordem, composto de diversos tratos de sistemas deposicionais. Um trato de sistemas deposicionais foi definido inicialmente como um conjunto natural de sistemas deposicionais contemporâneos e interligados, segundo Brown & Fisher (1977).

O trato de sistemas transgressivo tem como limite inferior, superfícies de ravinamento por onda, que constituem superfícies transgressivas. Superfícies de ravinamento são superfícies de erosão marinha, formadas pela ação de ondas durante transgressões (Van Wagoner *et al.* 1987). No processo de ravinamento ocorre joeiramento dos sedimentos do fundo devido a ação das ondas,

especialmente as de tempestade. A fração grossa dos sedimentos retrabalhados é redepositada sobre a superfície de ravinamento, permanecendo como depósitos residuais transgressivos (*transgressive lags*). O trato de sistemas transgressivo é um intervalo de grandes mudanças faunísticas e de eventos de extinção. Seu limite superior é definido pela superfície de inundação máxima (Van Wagoner *et al.* 1987).

Os conceitos estratigráficos apresentados auxiliaram na interpretação dos dados obtidos e permitiram analisar mais detalhadamente o padrão de empilhamento, as superfícies chave e os tratos de sistemas que compõem a sequência deposicional do presente estudo.

## 5. GEOLOGIA REGIONAL

### 5.1. Bacia do Araripe

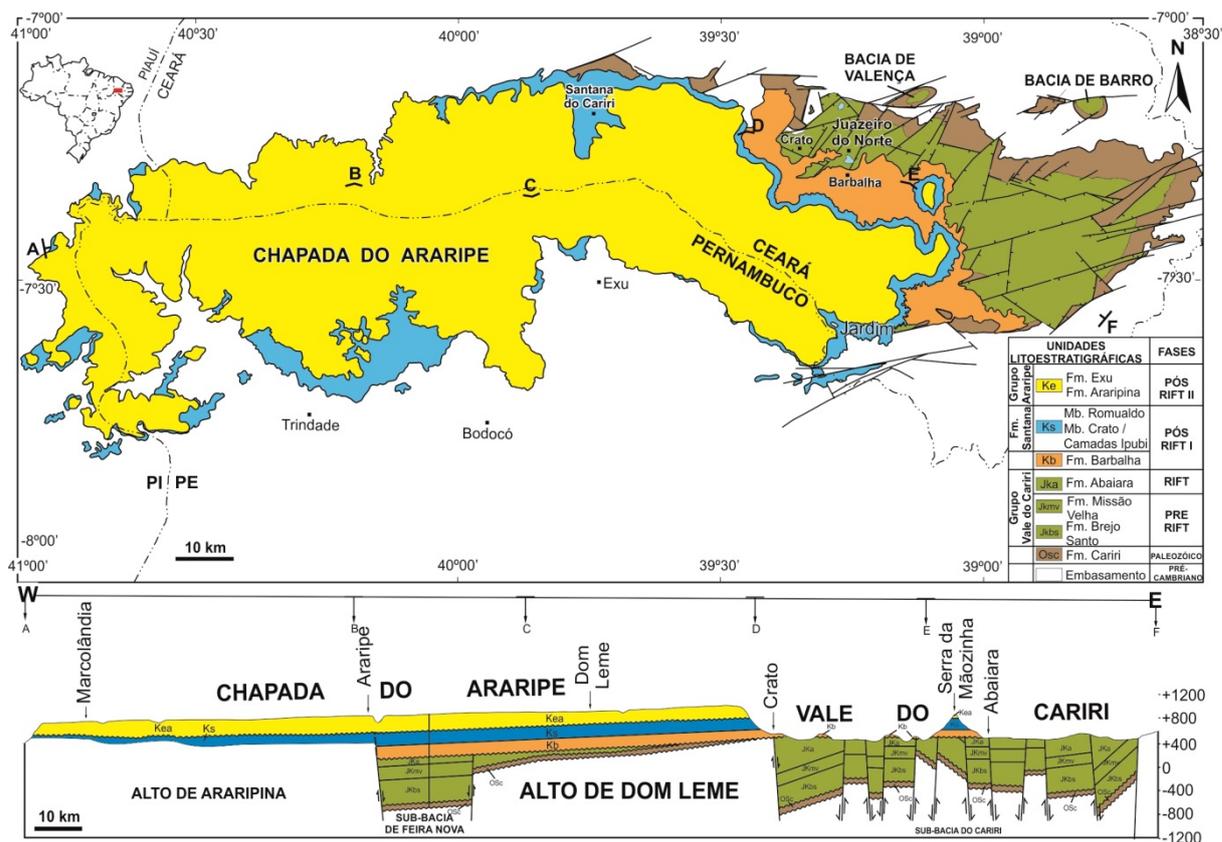
A Bacia do Araripe é uma bacia interior, poligenética, de forma alongada, com o maior eixo na direção E-W, compreendendo uma área aproximada de 9.000 km<sup>2</sup> (Assine 1992), sendo uma das maiores bacias do interior do Nordeste. Apresenta duas feições geomorfológicas principais, um altiplano que cobre quase 70% da bacia, denominado Chapada do Araripe, e um vale localizado na parte leste chamado Vale do Cariri, onde se encontram rochas datadas do Paleozoico ao Cretáceo Inferior (Rojas 2009) (Figura 6).

Durante o Jurássico Superior (*Upper Jurassic*) e o Cretáceo Inferior (*Lower Cretaceous*) iniciou-se a formação das bacias interiores do Nordeste brasileiro, como resultado da separação da América do Sul e África (Matos 1992). A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste e a que apresenta, dentre todas, história geológica mais complexa e empilhamento estratigráfico mais completo (Assine 2007), estando implantada em terrenos pré-cambrianos da Zona Transversal da Província Borborema (Brito Neves *et al.* 2000), a sul do Lineamento de Patos.

Segundo Matos (1992), a Zona de Cisalhamento ou Lineamento de Patos teria sua extremidade oeste terminada em uma série de falhas curvadas formando uma geometria sigmoide, e que durante o Cretáceo Inferior, uma distensão geral de direção NW-SE inverteu as falhas originalmente transpressionais para falhas normais, o que reativou pequenos segmentos da anterior zona de cisalhamento, dando como origem as bacias interiores do Nordeste brasileiro.

Na história evolutiva das bacias interiores do Nordeste brasileiro, foram identificados três principais estágios de subsidência: o primeiro deles, estágio pré-rifte, caracteriza-se por subsidência regional; o segundo, estágio rifte, relacionado a fragmentação; e, finalmente, o estágio pós-rifte que representou o retorno das condições de suave subsidência regional (Matos 1992).

A concepção estratigráfica atual da bacia foi delineada na década de 1980 e consolidada nos trabalhos de Ponte & Appi (1990), Assine (1990) e Arai (2006). A concepção estratigráfica utilizada na presente monografia está embasada nas asserções feitas nas referidas obras, diferindo apenas na terminologia estratigráfica.



**Figura 6.** Mapa litoestratigráfico e perfil geológico da Bacia do Araripe. Modificado de Assine (2007).

Segundo Assine (2007), o arcabouço estratigráfico da Bacia do Araripe constitui-se pela supersequência pré-rifte, supersequência rifte e supersequência pós-rifte, sendo a última, subdividida em sequências pós-rifte I e pós-rifte II (Figura 7). Tais sequências estratigráficas são limitadas por discordâncias regionais, que representam o registro fragmentário de embaciamentos gerados em ambientes tectônicos distintos (Assine 2007).

Cada sequência foi formada num contexto paleogeográfico diferente, integrado a outras bacias adjacentes. A distribuição geográfica original de cada uma das diferentes sequências era mais ampla, sendo testemunhado por remanescentes isolados em várias pequenas bacias situadas entre os lineamentos de Pernambuco e da Paraíba, e na Bacia do Jatobá (Serra Negra), a sul do Lineamento de Pernambuco (Assine 2007).

A sequência paleozoica aflora na porção leste da bacia, definindo os contornos do Vale do Cariri, sendo materializada pela Formação Cariri. Na parte oeste da bacia, esta unidade não aflora, ocorrendo apenas em subsuperfície, como na Sub-

bacia de Feira Nova. É constituída por arenitos imaturos, de granulação média a muito grossa, com grãos angulosos a subangulosos, interpretados como fácies geradas em sistemas fluviais entrelaçados. Esta sequência é correlacionada com a Formação Tacaratu da Bacia do Jatobá, de idade paleozoica, em virtude da similaridade litológica (Assine 2007).

A supersequência pré-rifte foi formada num período de subsidência mecânica produzida por estiramento litosférico visco-elástico, sendo composta pelas formações Brejo Santo e Missão Velha (Assine 2007).

Segundo Braun (1966), a Formação Brejo Santo é constituída por folhelhos e lamitos vermelhos, nos quais se encontram ostracodes típicos do Andar Dom João. A presença de formas exclusivamente não-marinhas indica sedimentação lacustre em ambientes propícios à formação de *red beds*. A Formação Missão Velha, que sobrepõe concordantemente a Formação Brejo Santo, caracteriza-se por arenitos quartzosos, por vezes feldspáticos e/ou caolínicos, localmente conglomeráticos, portadores de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada. A associação faciológica remete à interpretação de planícies fluviais de sistemas entrelaçados caracterizados por canais rasos e de alta energia (Assine 2007).

A supersequência rifte teve início no Cretaceo Inferior, com o estágio rifte na Bacia do Araripe, onde se depositou a Formação Abaiara. Segundo Assine (1992) este intervalo é composto por folhelhos e siltitos vermelhos na base e por intercalações de camadas decimétricas de arenitos finos com lâminas de carbonatos argilosos. Esta unidade possui ostracodes típicos do Andar Rio da Serra/Aratu (Ponte & Appi 1990). Atribui-se a este intervalo origem continental em sistemas de lagos rasos associados a sistemas fluviais (Assine 1992).

A supersequência pós-rifte, de idade neoaptiana-eoalbiana, resulta de subsidência flexural térmica ocorrida na Bacia do Araripe e subdivide-se em pós-rifte I e II. Distingue-se estrutural e estratigraficamente das duas sequências sotopostas, sobre as quais se assenta em discordância angular. Trata-se esta da discordância pré-Alagoas, uma descontinuidade regional reconhecida em todas as bacias da margem leste brasileira. Na Bacia do Araripe envolve uma lacuna no registro sedimentar cuja duração se estende do Andar Buracica ao Alagoas inferior (Assine 2007).

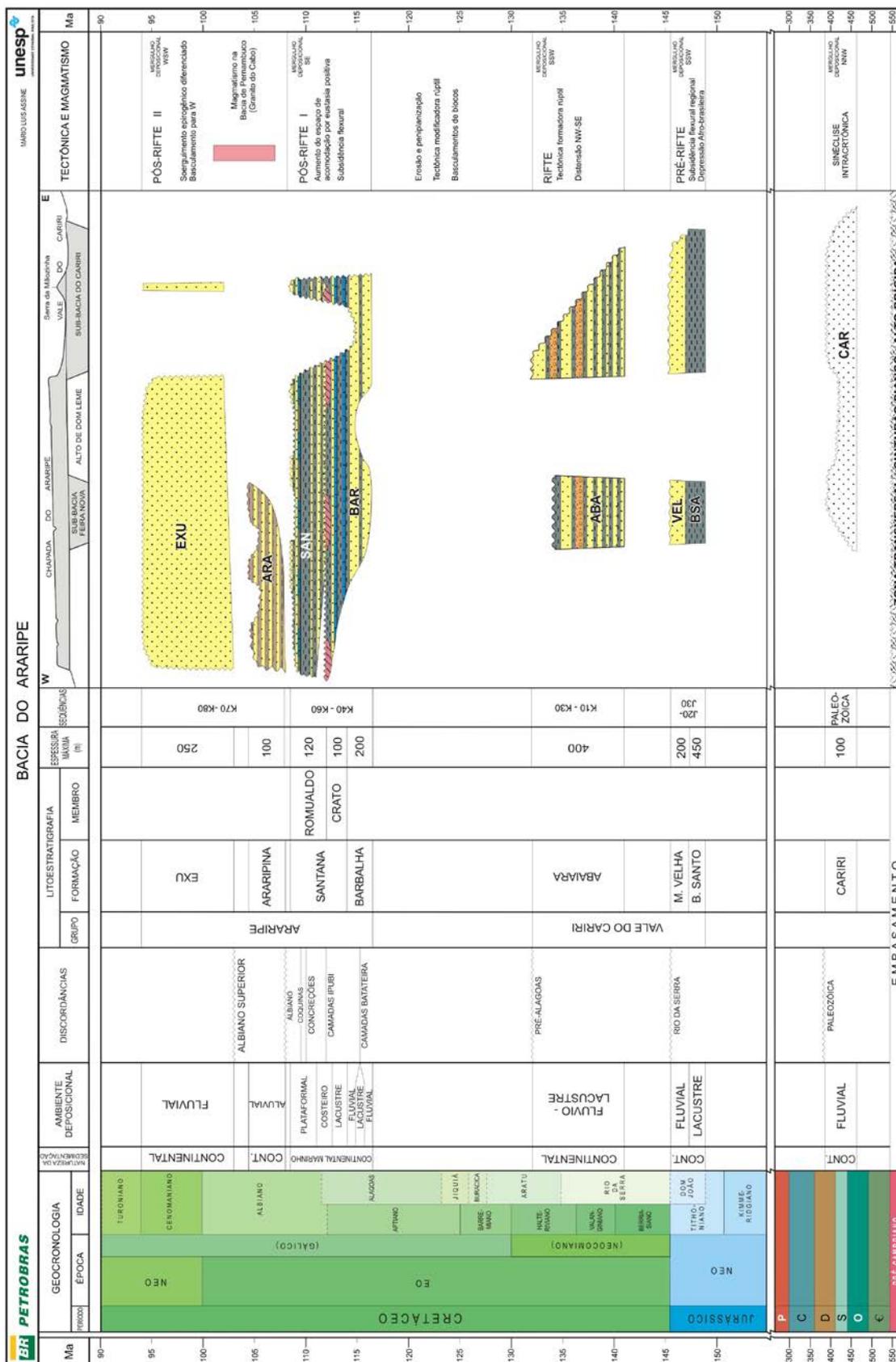


Figura 7. Carta estratigráfica da Bacia do Araripe com a divisão das superseqüências propostas por Assine (2007).

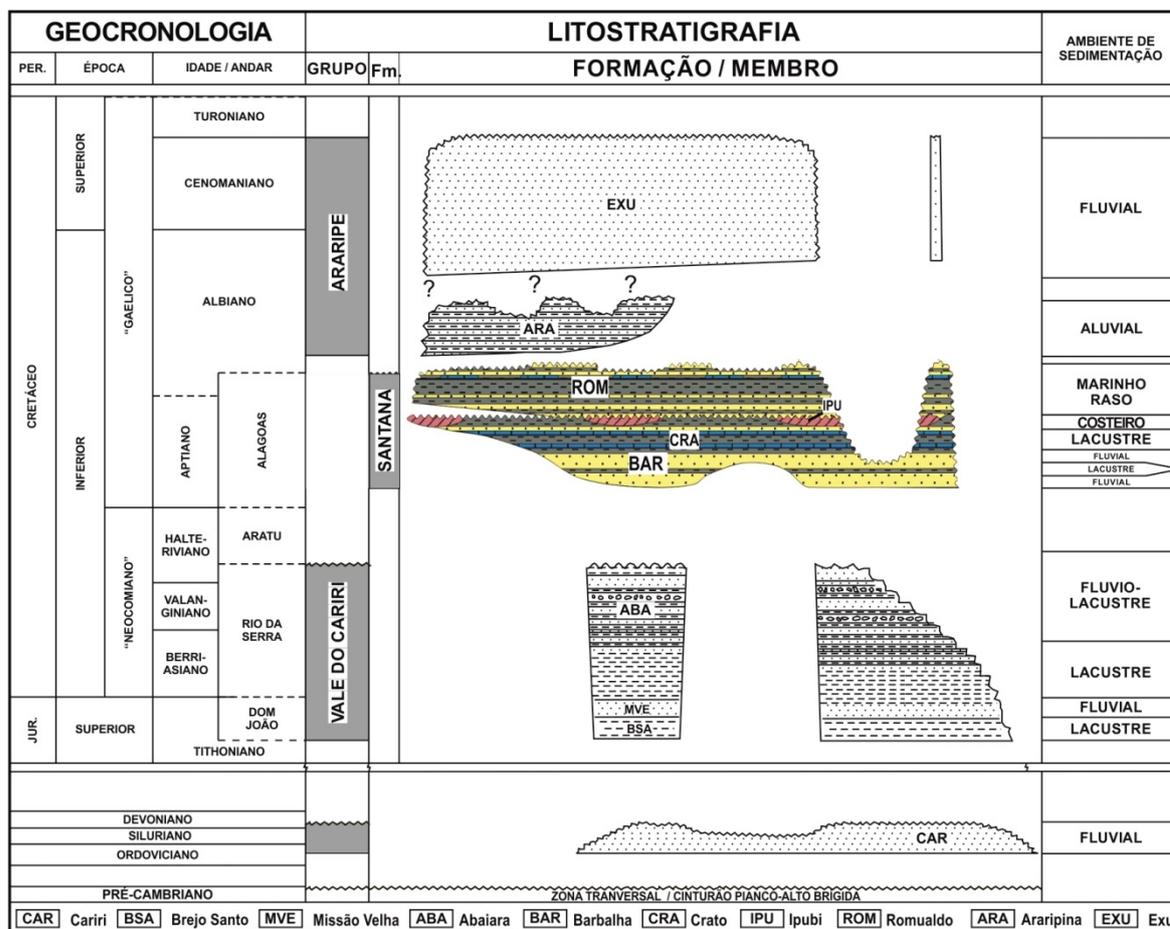
O Andar Alagoas na Bacia do Araripe registra a sedimentação da sequência pós-rifte I, representada pelas Formações Barbalha e Santana (Grupo Araripe). Esta sequência é caracterizada pelo aumento do espaço de acomodação por curva global positiva e paleomergulho deposicional com padrão para SE, distinguindo-se das fases anteriores (Assine 2007).

A Formação Barbalha compreende dois ciclos fluviais com granodecrescência ascendente, que variam de arenitos grossos a folhelhos escuros, por vezes betuminosos. O nível de folhelho betuminoso é papiráceo e fossilífero, bastante rico em ostracodes, conchostráceos e palinórfos, datados de idade Alagoas pela ocorrência de ostracodes pertencentes à biozona RT-011 (Assine 1992). O paleoambiente de deposição é interpretado como sendo flúvio-lacustre (Ponte & Appi 1990).

A Formação Santana (Figura 8) aflora em torno de quase todo o sopé da Chapada do Araripe, tanto na porção norte e leste, correspondente ao Estado do Ceará, quanto na porção sul, correspondente ao Estado de Pernambuco (Chagas 2006). É a unidade mais estudada da Bacia do Araripe devido ao seu rico e abundante conteúdo fossilífero, bem como por sua complexidade litológica. Esta complexidade de fácies sedimentares levou a uma subdivisão da unidade, com base tanto em diferenças litológicas quanto ao conteúdo paleontológico. Dois membros distintos são reconhecidos e denominados de Membro Crato / Camadas Ipubi (porção inferior) e Membro Romualdo (porção superior) (Assine, 2007). O Membro Crato é constituído por calcários micríticos laminados, com registro fossilífero abundante, interdigitados lateralmente com folhelhos verdes. A rica associação fossilífera nos calcários laminados e folhelhos associados, caracterizada pela ausência de formas marinhas, indica ambiente de sedimentação lacustre (Neumann 1999). A Camadas Ipubi pertencente ao membro Crato, é composta por gipsita intercalada com folhelhos esverdeados calcíferos, portadores de conchostráceos (Assine 1990). A unidade sobreposta ao Membro Crato é denominada de Membro Romualdo, unidade foco deste estudo que será detalhada no tópico seguinte.

A sequência pós-rifte II é composta pelas Formações Araripina e Exu. Esta sequência é caracterizada por soerguimento epirogênico diferenciado e basculamento das camadas para W. Difere-se da anterior pelo padrão tectônico e mergulho deposicional WSW. A sedimentação predominante nesta época gerou siltitos e arenitos, com predominância de arenitos finos a grossos com evidências de

tectonismo sindeposicional, como a presença de truncamentos na estratificação, bem como de fraturamentos mais jovens. Os arenitos fluviais da Formação Exu aparecem recobrendo, em discordância erosiva, a Formação Araripina (Assine 2007).



**Figura 8.** Unidades litoestratigráficas da Formação Santana (modificada de Assine 2007).

## 5.2. Membro Romualdo - Formação Santana

O Membro Romualdo foi distinguido primeiramente por Beurlen (1971) como Membro Romualdo superior, pertencente à Formação Santana, juntamente com os membros sotopostos Ipubi (intermediário) e Crato (inferior). Os trabalhos subsequentes adotaram, de maneira geral, esta subdivisão ainda que haja divergência dos diversos autores no que concerne à divisão, nomenclatura e relações de contato entre as unidades litoestratigráficas (Assine 1990). A Formação Santana definida por Beurlen (1962) foi elevada de categoria por Neumann (1999)

para Grupo Santana, englobando as Formações Crato, Ipubi e Romualdo. Porém, a carta estratigráfica mais recente da Bacia do Araripe, baseada no Código de Nomenclatura Estratigráfica, proposta por Assine (2007), admite a categoria de Formação Santana e conseqüentemente, Membro Romualdo. Com base neste trabalho (Assine 2007), a presente monografia considera, na categoria estratigráfica, como Membro Romualdo pertencente à Formação Santana da Bacia do Araripe.

O Membro Romualdo tem sido estudado desde o início do século XIX em virtude do vasto conteúdo fossilífero presente na unidade, que representa importante registro paleontológico do Cretáceo brasileiro. Porém, a partir da década de 1960, intensificaram-se as pesquisas de cunho geológico. Tais estudos, no entanto, divergem quanto à interpretação do paleoambiente deposicional e quanto ao sentido das ingressões marinhas ocorridas na Bacia do Araripe, pois, enquanto alguns autores afirmam, com base na paleontologia e na estratigrafia, que este ambiente se relaciona a condições marinhas rasas (Santos 1982), demais autores contestam afirmando tratar-se de ambiente lacustre (Moura 2007). Além disto, diversos autores afirmam que a ingressão marinha na Bacia do Araripe provém de nordeste pela Bacia do Parnaíba (Arai 2014) enquanto que outros contestam, afirmando ingressão por sudeste (Beurlen 1971).

Dentre os trabalhos que consideram o ambiente deposicional do Membro Romualdo como marinho, tem-se o de Beurlen (1966) que descreve os primeiros organismos indubitavelmente marinhos desta unidade, descrevendo equinóides (*Faujasia araripensis* e *Pygurus tinoco*), que se assemelham às associações cretáceas da América Central e do Norte, sugerindo uma ingressão marinha na região do Araripe pelo norte, através da Bacia do Parnaíba (Formação Codó). Em trabalho subsequente, Beurlen (1971) refere-se ao Membro Romualdo como uma seqüência de margas com concreções calcárias, nas quais ocorrem muitos restos de peixes fósseis associados a ostracodes.

Santos & Valença (1968) corrobora a interpretação de Beurlen (1966) e atribuem para o Membro Romualdo ambiente lagunar com periódicas ingressões marinhas indicadas pelo estudo faciológico das camadas do topo e pela presença de ostracodes e dinoflagelados. No Sítio Romualdo observaram uma seqüência constituída de arenitos e siltitos calcíferos de cor creme claro-amarelada, com estratificação cruzada bem pronunciada, contendo finas intercalações de folhelhos verde-escuros e leitos de calcário argiloso, com concreções carbonáticas. Do

mesmo modo, Santos (1982) apresenta uma composição faunística coerente para ambiente marinho raso. A composição faunística estudada por Santos (1982) apresenta gastrópodos isolados, exemplares de *Cerithium* e *Turritella*, sendo encontrados no mesmo nível estratigráfico e topográfico das concreções com peixes. Neste mesmo trabalho, Santos (1982) afirma haver maior influência marinha no final da sequência, sendo marcada pelas ocorrências de invertebrados e vertebrados marinhos preservados na forma de carapaças, fragmentos e concreções.

Viana (1999) também atesta e interpreta como ambiente marinho (ou lagunar) a deposição do Membro Romualdo. Esta interpretação é confirmada por meio da análise do conteúdo de carbono orgânico e fossilífero presente nos folhelhos da unidade. Da mesma forma, Arai & Coimbra (1990) interpretam que o paleoambiente do Membro Romualdo envolve ambientes costeiros mixohalinos (laguna?) devido à identificação da assembleia fóssil composta por grãos de pólen, esporos, dinoflagelados, ostracodes, testas de foraminíferos rotalídeos e moluscos. Segundo estes autores, a influência marinha manteve-se presente com intensidade variável no decorrer da deposição. Tais autores indicam também inquestionável influência marinha, pela ocorrência do gênero *Spiniferites Mantell* e *Subtilisphaera Jain*. Desta forma, a característica geral da associação fossilífera encontrada por Arai & Coimbra (1990) não deixa dúvidas quanto à pertinência dos registros das ingressões marinhas no Andar Alagoas.

Apesar de possuir características e conteúdo fóssil predominantemente lacustres na base do membro, para Neumann (1999), o Membro Romualdo apresenta influência marinha no seu topo, segundo Beurlen (1966) e Coimbra *et al.* (2002). Esses últimos autores postulam a hipótese de ambiente transicional (laguna), com periódicas ingressões marinhas para o paleoambiente do Membro Romualdo e, ainda que não totalmente comprovada tal hipótese, esta encontra subsídios nas evidências paleontológicas, pois a presença concomitante de fauna marinha, como dinoflagelados e foraminíferos, atesta a influência marinha na área.

Assim como os autores citados acima, Sales (2005) considera, para o Membro Romualdo, paleoambiente transicional (lagunar), associado a incursões marinhas albianas, com ciclos deposicionais distintos e sucessivos com eventos de sedimentação episódica. Para o topo do membro, o autor descreve a presença de moluscos, dinoflagelados, foraminíferos e equinóides, acumulados em

concentrações fossilíferas, interpretados como depósitos de tempestade, concentrações autóctones e resíduos transgressivos, confirmando incursão marinha. Do mesmo modo, Chagas (2006) utilizando a categoria de membro, interpreta a sucessão de litofácies carbonato-pelíticas como ambiente lagunar transicionando para ambientes marinhos rasos de águas muito calmas, evidenciado pela preservação de peixes marinhos nas concreções carbonáticas. Assine (2007) enfocando nas coquinas, situadas no topo do Membro Romualdo, as interpreta como *lags* residuais, com o contato basal interpretado como superfície de ravinamento por onda, correspondendo o intervalo de coquinas à superfície de inundação máxima marinha na sequência.

Dos trabalhos recentes que enfocam o paleoambiente do Membro Romualdo, Moura (2007) apresenta uma abordagem das sucessões estratigráficas da Formação Romualdo por meio da análise faciológica de poços testemunhados. Este autor propõe, para a base do Membro Romualdo, o encerramento da “regressão” e um sistema lacustre, onde sedimentos arenosos de lobos de leques progradam em direção ao centro do antigo lago (Camadas Ipubi), como resultado da desestabilidade tectônica. Para o topo do Membro Romualdo, Moura (2007) interpreta que a sedimentação ocorreu em paleoambiente marinho restrito, baseado em estudos paleontológicos que relatam a ocorrência de fósseis marinhos (conchas de gastrópodes e bivalves) nos sedimentos pelíticos do topo da unidade.

## 6. SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA DE FÁCIES SEDIMENTARES

Três seções colunares na escala 1:100 (localização na Tabela 1) foram levantadas na porção leste da Bacia do Araripe. Estas permitiram identificar a sucessão vertical de fácies (granodecrescência ascendente e granocrescência ascendente). Foram descritas nove fácies sedimentares, sendo sete siliciclásticas e duas carbonáticas.

**Tabela 1.** Coordenadas geográficas das seções estratigráficas.

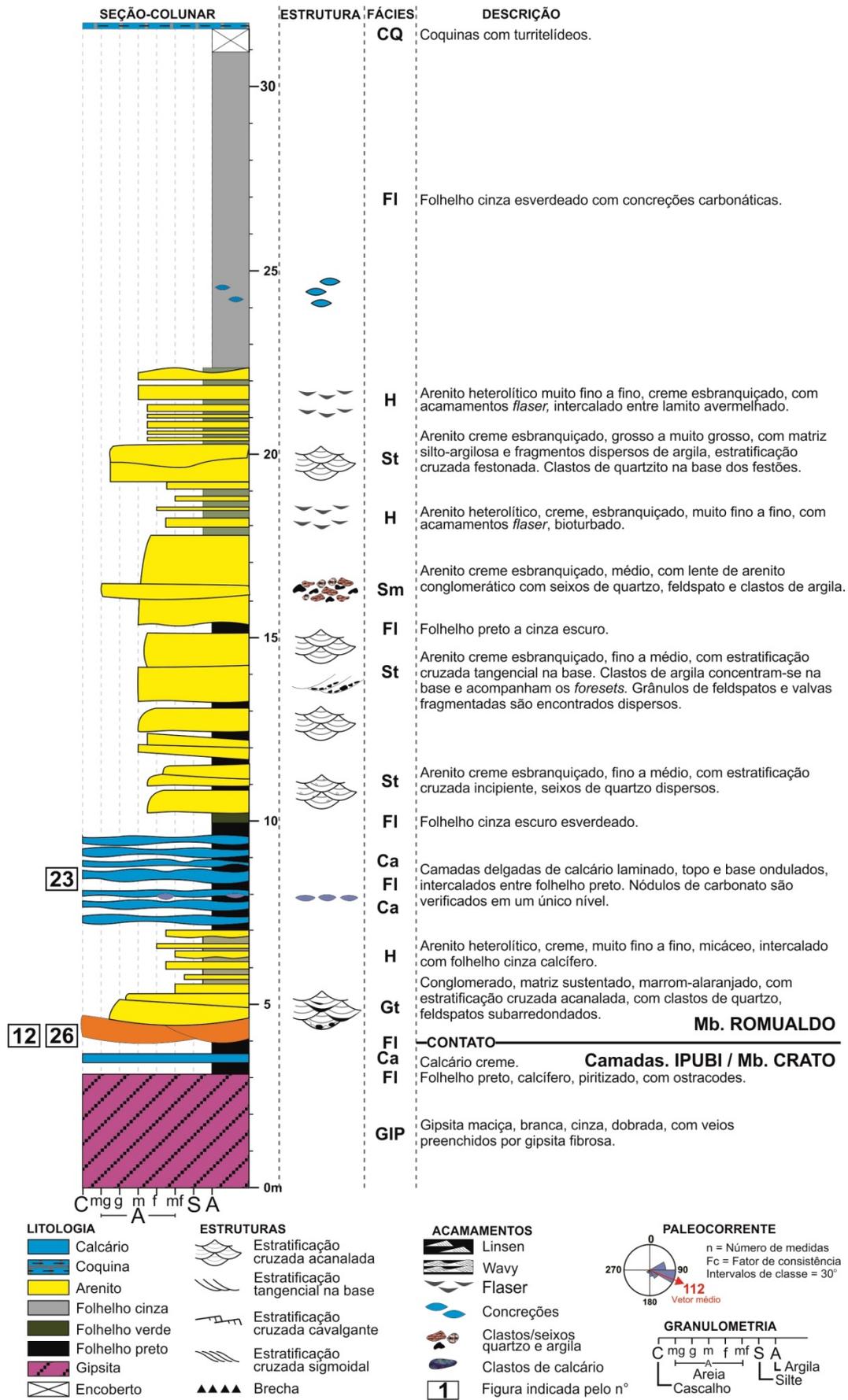
Seções Estratigráficas	Coordenadas (Datum WGS 84)		Espessura Verticalizada
	X	Y	
Pedra Branca	420.598	9.211.802	32 m
Sítio Romualdo	456.675	9.193.820	33 m
Sobradinho	481.867	9.163.174	110 m

A seção Pedra Branca está localizada na Mineração Chaves S/A, nas proximidades das cidades de Pedra Branca, Nova Olinda e Santana do Cariri (CE) e possui 32 m aflorantes da unidade, apresentando um padrão de empilhamento retrogradacional devido à fácies distais estarem dispostas sobre fácies proximais, além de apresentar diminuição textural para o topo (Figura 9). A seção Sítio Romualdo está situada no sítio homônimo, nos arredores da cidade de Crato (CE), com 33 m de seção aflorante com fácies que apresentam o mesmo tipo de empilhamento (Figura 10). A seção Sobradinho está situada próxima às cidades de Porteiras e Jardim (CE) e é a seção mais espessa, com total de 110 m aflorantes da unidade, tornando-se, além disto, a mais expressiva por expor espesso conjunto de folhelhos contendo concreções fossilíferas (Figura 11). Esta seção se destaca por possui aflorante dois padrões de empilhamentos distintos: retrogradacional, com típico padrão granodecrescente ascendente e, empilhamento progradacional, granodecrescente ascendente.

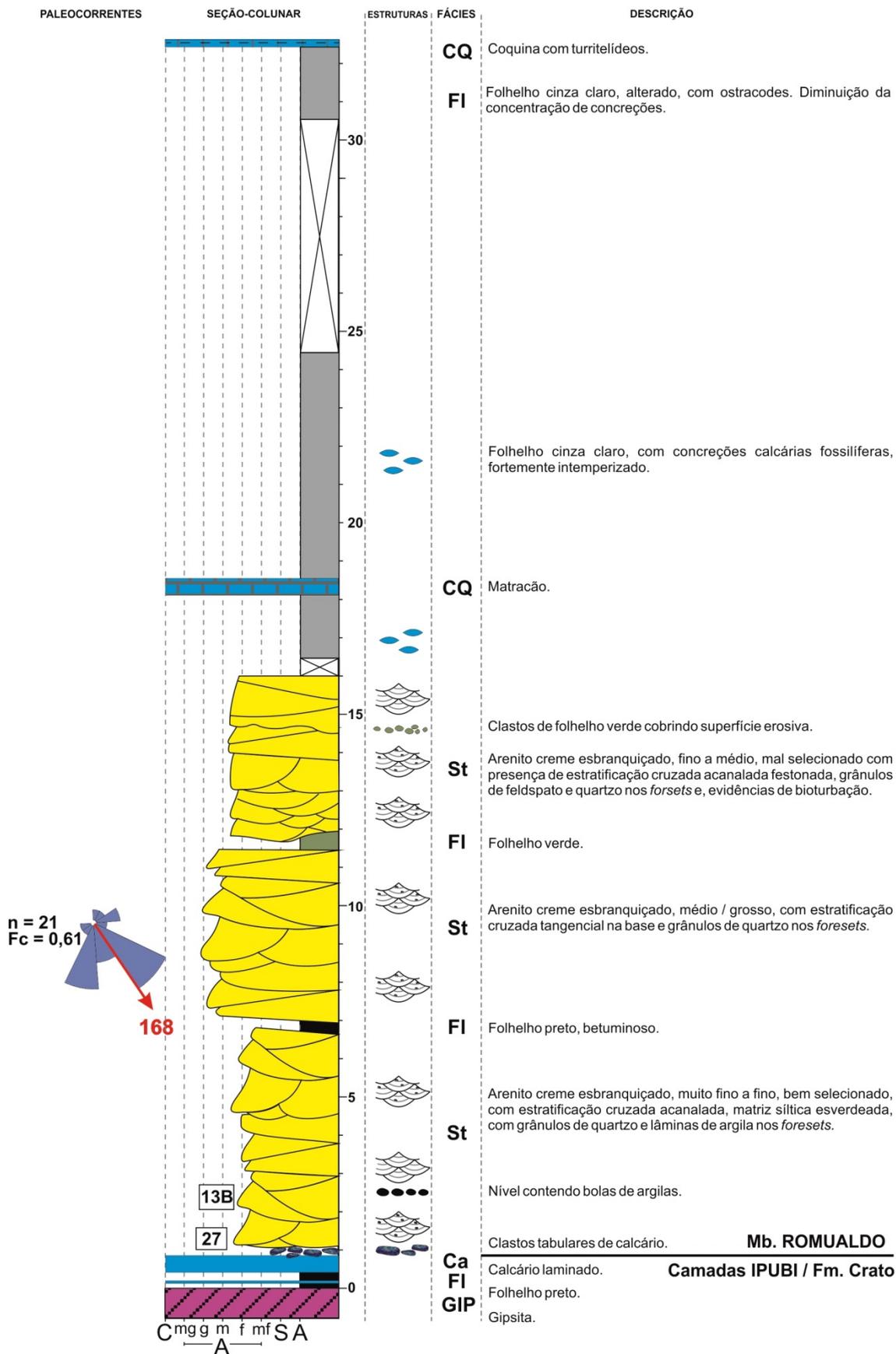
As fácies sedimentares encontram-se sintetizadas na Tabela 2:

**Tabela 2.** Tabela de código de fácies sedimentares descritas nas seções levantadas.

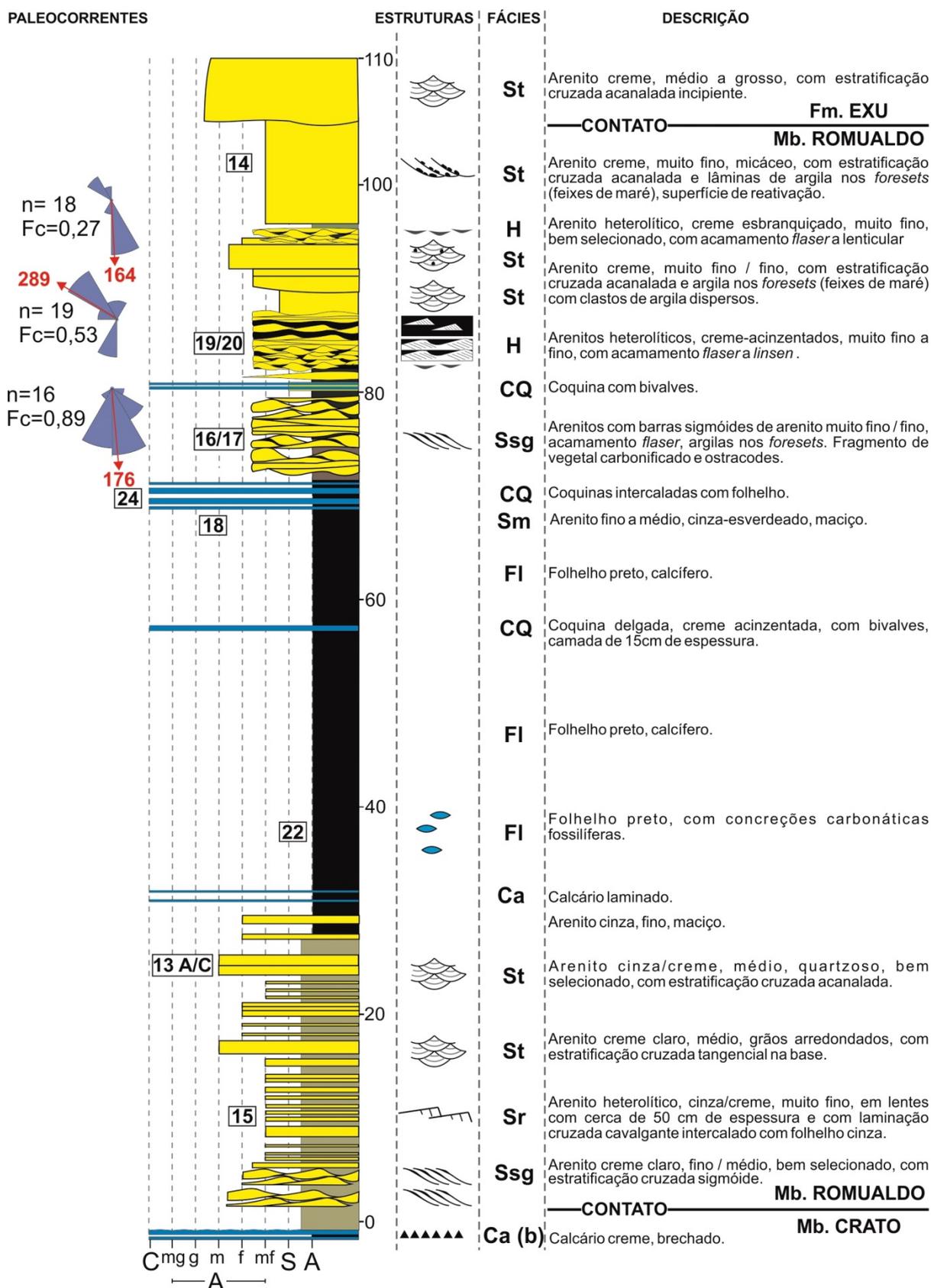
<b>Código de Fácies</b>	<b>Fácies siliciclásticas</b>	<b>Processo deposicional</b>
<b>Gt</b>	Conglomerado com estratificação cruzada acanalada	Fluxo de correntes unidirecionais, submetida a alta energia
<b>St</b>	Arenito com estratificação cruzada acanalada	Migração de formas de leito (dunas) em fluxo unidirecional, sob regime de fluxo inferior.
<b>Sr</b>	Arenito com laminação cruzada cavalgante ( <i>climbing ripples</i> )	Formas de leito desenvolvidas pela baixa velocidade do fluxo, em regime de fluxo inferior. Partícula transportada por suspensão e depositada por balística.
<b>Ssg</b>	Arenito com estratificação cruzada sigmóide	Migração de formas de leito por transporte trativo em condições de fluxo superior.
<b>Sm</b>	Arenito maciço	Bioturbação intensa, processos pós-deposicionais (?)
<b>H</b>	Arenito com acamamento <i>flaser</i> , <i>wavy</i> e <i>linsen</i>	Tração e suspensão em corrente subaquosa. Atividades de correntes com pausas periódicas.
<b>FI</b>	Folhelho	Decantação em ambiente subaquoso de baixa energia.
<b>CA</b>	Calcário	Precipitação química (?), bioinduzido (?).
<b>CQ</b>	Coquinas com gastrópodes turrítelídeos	Retrabalhamento por correntes



**Figura 9.** Seção colunar levantada na mina Pedra Branca, no Município de Nova Olinda - CE.



**Figura 10.** Seção colunar levantada no Sítio Romualdo, município de Crato - CE. (Legenda: ver figura 9).



**Figura 11.** Seção colunar levantada na localidade de Sobradinho, Município de Porteiras - CE. (Legenda: ver figura 9).

## 6.1. Conglomerados com estratificação cruzada acanalada (Fácies Gt)

### *Descrição:*

Conglomerados creme-amarronzados, matriz-sustentados, mal selecionados, com grau de arredondamento variável (arredondados a angulosos). Os conglomerados apresentam granodecrescência ascendente para arenitos médios a grossos com argila decantada no *foreset* (Figura 12). As estruturas presentes são estratificações cruzadas acanaladas (*trough cross-bedding*), dispostas em *sets* decimétricos. Os *foresets* são delimitados por grânulos e seixos de quartzo e feldspato, de cor cinza a rosa, subarredondados a subangulosos e clastos de argila arredondados, maciços e não fraturados. Fragmentos de gipsita subangulosos encontram-se dispersos na fácies Gt.

Os conglomerados aparecem dispostos em forma de corpos (lentes) amalgamados, que se adelgaçam lateralmente. Estes corpos possuem espessura decimétrica, normalmente variando de 40 a 60 cm. A base é irregular, em contato abrupto com a fácies sotoposta, indicativa de corte e preenchimento.



**Figura 12.** Conglomerado matriz-sustentado. Lente de conglomerado com estratificação cruzada acanalada (Fácies Gt), apresentando granodecrescência ascendente para arenitos médios com argila decantada no *foreset*.

### *Interpretação:*

As estratificações cruzadas acanaladas indicam a migração de dunas com crista sinuosa (3D) em fluxo unidirecional, são formadas em resposta às condições de regime de fluxo inferior (Picard & High Jr. 1973). São indicativos de depósitos de

canais de alta energia por apresentarem níveis conglomeráticos, geometria lenticular, base erosiva e granodecrescência ascendente.

## **6.2. Arenitos com estratificação cruzada acanalada (Fácies St)**

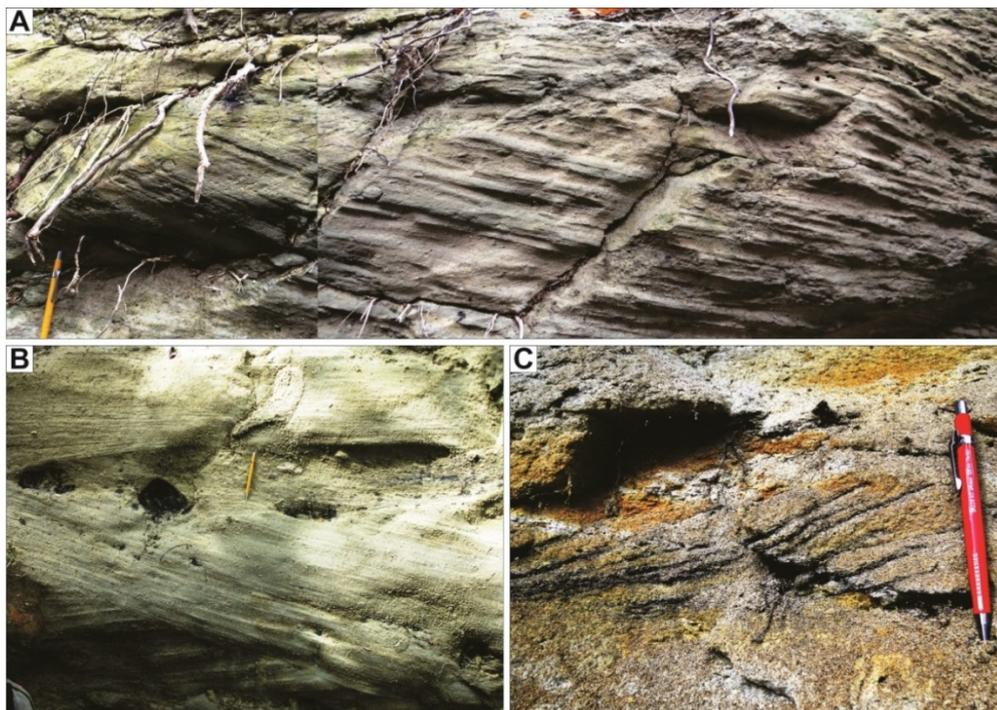
### *Descrição:*

Arenitos finos a médios, quartosos, creme-esbranquiçados variando de tons marrom-alaranjados a cinza esverdeados, com níveis cinza escuros onde há matriz argilosa a silto-argilosa. Os arenitos finos apresentam moderada a boa seleção e os grãos se apresentam arredondados, enquanto que nos arenitos médios predominam grãos arredondados a subarredondados.

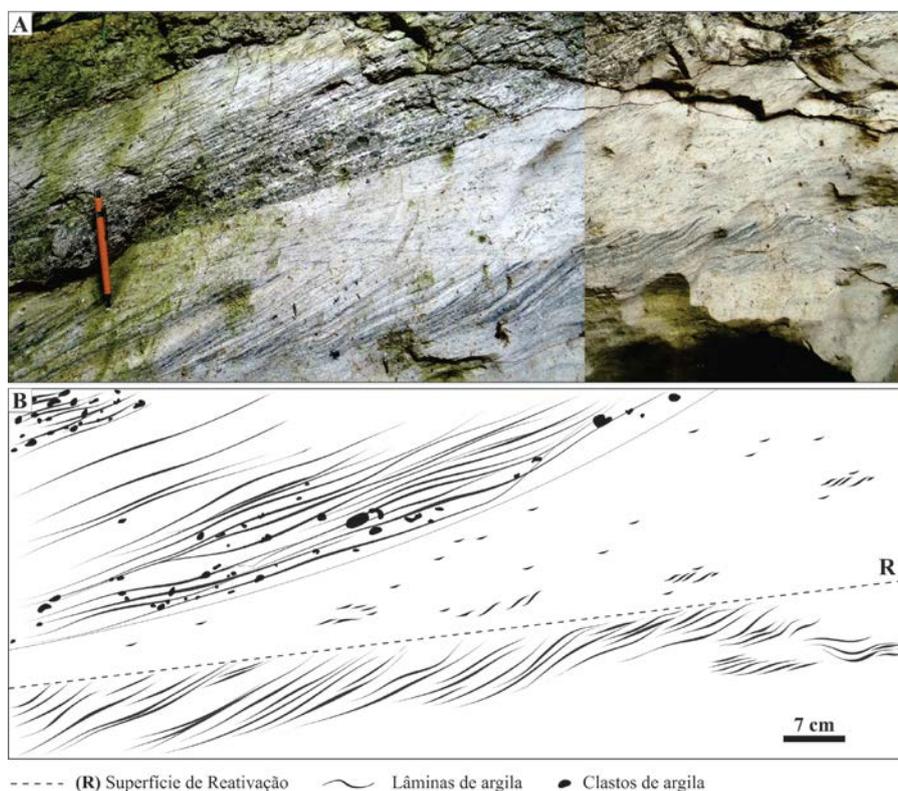
A fácies St apresenta estratificação cruzada acanalada, com tamanhos médios de 30 cm. As estratificações estão aflorantes em cortes longitudinais, conferindo formas de cruzadas assintóticas, com micras e filmes de argila em *foresets* de baixo ângulo (Figura 13). O conjunto dos estratos cruzados ocorre em forma de cunha nos cortes longitudinais. Nos arenitos médios são observados intraclastos de argila dispostos discordantemente às estratificações cruzadas acanaladas (Figura 13). Os intraclastos são arredondados, de tamanhos milimétricos a centimétricos (0,5 a 10 cm). Clastos de argila são frequentes na base da superfície de reativação (Figura 14). Nas frações mais finas é comum aparecerem *drapes* argilosos e restos vegetais carbonificados.

### *Interpretação:*

As estratificações cruzadas acanaladas indicam a migração de formas de leito com crista ondulada (3D) em fluxo unidirecional, sob regime de fluxo inferior. A migração de formas de leito é resultante do transporte de carga de fundo com grãos de areias sendo carregados por arrasto e rolamento e os grãos finos por saltação. A argila dos *drapes* origina-se de decantação (Picard & High Jr. 1973).



**Figura 13.** Arenitos com estratificação cruzada acanalada. A) St: Arenito com estratificação cruzada tangencial (corte longitudinal) na base. B) St: Arenitos com estratificação cruzada tangencial na base e clastos de argila discordantes aos *foresets*. C) St: Arenito com estratificação cruzada tangencial na base com argila nos *foresets*. A e C ocorrem na seção colunar Sobradinho e C na seção colunar Romualdo.



**Figura 14.** Arenitos (Fácies St) com superfície de reativação e feixes de maré.

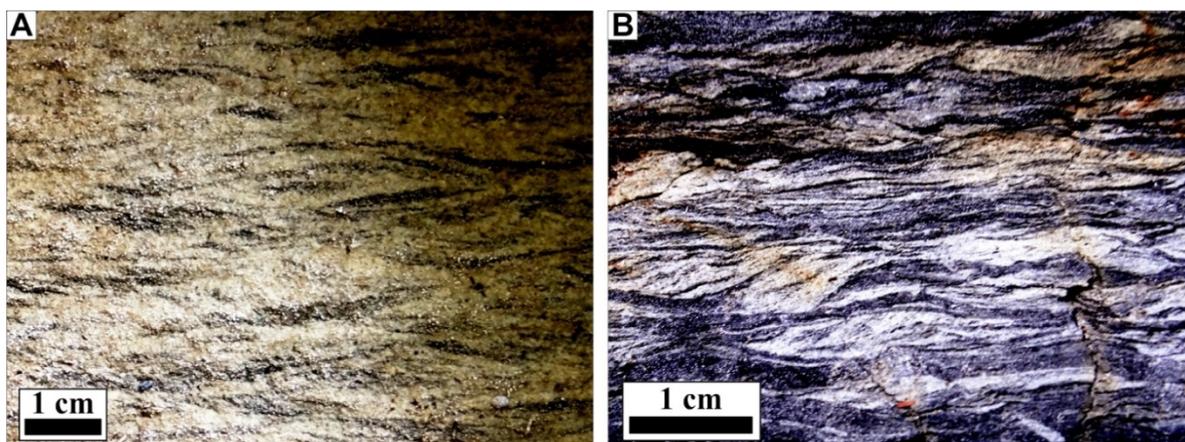
### 6.3. Arenitos com estratificação cruzada cavalgante / *climbing ripples* (Fácies Sr)

#### Descrição:

Arenitos muito finos a finos, creme-acinzentados com tons cinza escuros, grãos subarredondados e com boa a moderada seleção. As estruturas sedimentares presentes são estratificações cruzadas cavalgantes da ordem de 1 a 2 centímetros (Figura 15); internamente possuem laminação cruzada com alternâncias de lâminas de areia e argila. As estratificações cruzadas cavalgantes (*climbing ripple cross-stratification*) possuem caráter assimétrico com crista reta (2D).

#### Interpretação:

Migração de pequenas marcas onduladas com alternância / concomitância de processos de tração e suspensão. Esta fácies é formada em condições subaquosas, sob regime de fluxo inferior a partir de fluxos unidirecionais, com a partícula sendo transportada por suspensão e depositada em trajetória balística (Picard & High Jr. 1973).



**Figura 15.** Arenitos com estratificação cruzada cavalgante. A) Sr: Arenito com *ripples*; b) Estratos de arenitos finos com *ripples* (Fácies Sr) associados a acamamento ondulado. A e B ocorrem na seção Sobradinho.

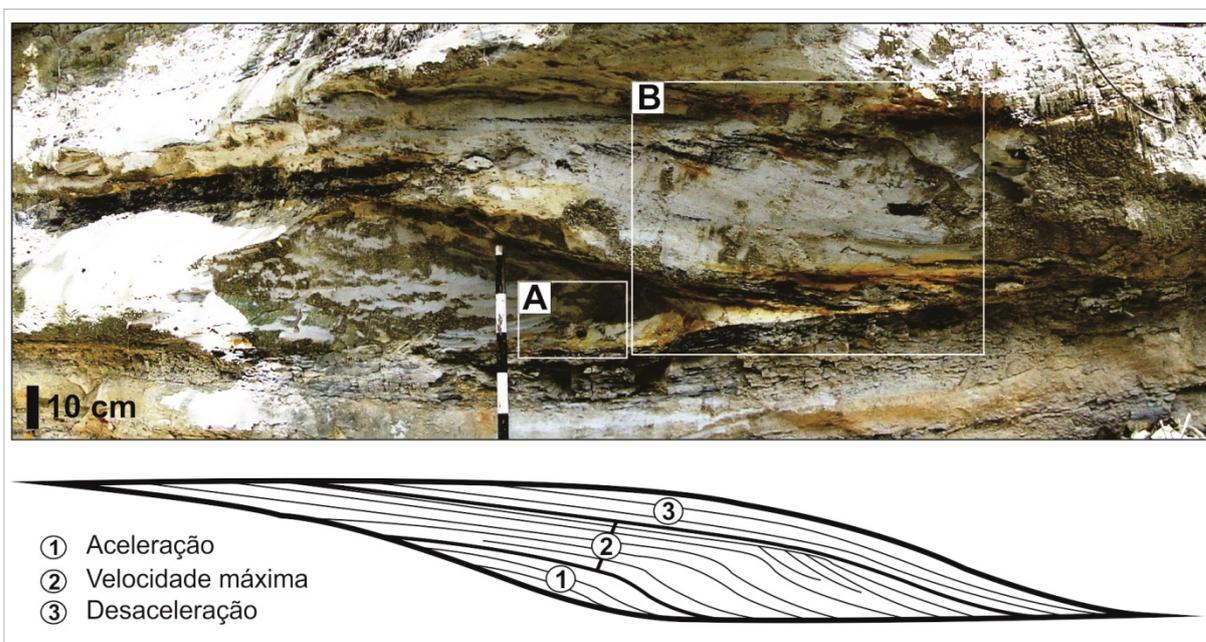
### 6.4. Arenitos com estratificação cruzada sigmoide (Fácies Ssg)

#### Descrição:

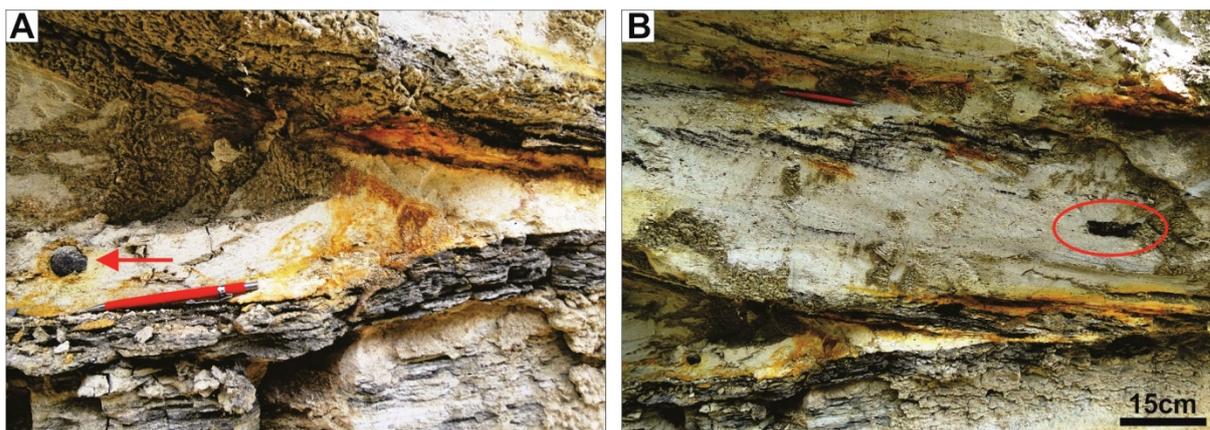
Arenitos muito finos a médios, coloração creme com grãos arredondados moderadamente selecionados. A estratificação cruzada sigmoide (*sigmoid cross stratification*) é a estrutura diagnóstica da fácies Ssg com tamanhos de 40 cm. Os

sigmóides apresentam ângulo de mergulho médio de  $20^\circ$ , enquanto que lateralmente, as estratificações tendem a se horizontalizar nas porções delgadas das barras arenosas.

As geometrias características dos estratos desta fácies são barras amalgamadas, justapostas lateralmente, com extensão lateral de 2 m, e espessura de 40 cm. As barras arenosas se adelgaçam lateralmente, apresentando base e topo planos e tangenciais às superfícies limitantes, representadas por camadas centimétricas (de 2 a 5 cm) de folhelho preto entre duas barras superpostas (Figura 16). Internamente às barras amalgamadas foram observadas lâminas de argila decantadas nos *foresets* das estratificações cruzadas sigmóides – feixes de maré (Figura 17). Fragmentos vegetais carbonizados foram observados no interior das barras, assim como clastos arredondados de argila (Figura 17).



**Figura 16.** Arenitos com estratificação sigmóide. Ssg: Arenitos sigmóides em barras amalgamadas de porte métrico, limitadas por lâminas centimétricas de argila. Abaixo, esquema da relação entre as estratificações cruzadas sigmóides e a velocidade do fluxo. A e B em detalhe na seção Sobradinho.



**Figura 17.** Detalhe das barras arenosas com sigmóides. A) Ssg: Barras amalgamadas, em detalhe, com clastos arredondados de argila; B) Detalhe dos arenitos em barras sigmóides (Ssg) com argila decantada nos *foresets* e fragmentos de vegetais (destaque).

#### *Interpretação:*

As estratificações cruzadas sigmóides com formas de barras amalgamadas podem ser atribuídas a processos de maré. Os fluxos das marés, quando canalizados, têm períodos distintos de águas estagnadas que resultam na deposição de finos. As acelerações dos fluxos das correntes de marés associadas aos processos trativos elevam a carga sedimentar no sistema. As barras amalgamadas podem ter sido formadas em águas muito rasas, com as estratificações sigmóides geradas durante a aceleração das condições de fluxo.

A fácies Ssg sugere que à medida que o regime de fluxo superior é alcançado, com aumento do poder da corrente, a estratificação cruzada das dunas se transforma de côncava para sigmóide, com *topset*, *foreset* e *bottomset* distintos. Em condições de fluxo transicional entre os campos de estabilidade da duna e o campo do regime de fluxo superior, a porção superior das dunas pode ser erodida (Picard & High Jr. 1973).

### **6.5. Arenito Maciço (Fácies Sm)**

#### *Descrição:*

Arenito cinza-esverdeado a marrom-arroxeadado, granulometria muito fino a médio, com predomínio de grãos médios, moderadamente (Figura 18). São observados grãos de feldspato dispersos, subangulosos a subarredondados, de aproximadamente 1 cm de dimensão.

Esta fácies é caracterizada pela abundância de cimento silto-argiloso que confere tonalidades escuras ao pacote. Associadas a esta fácies, estão presentes bioturbações intensas (*diploclaterion* ?), representadas, em sua maioria, por condutos preenchidos por lama. A fácies Sm ocorre de forma pouco expressiva, sendo pouco identificada na unidade de estudo.

*Interpretação:*

Processo posterior como fluidificação pode destruir os vestígios de estratificação, deixando a rocha com aspecto maciço (Picard & High Jr. 1973). Os traços de icnofósseis normalmente indicam situações intermarés, onde os organismos estão submetidos a condições estressantes (Benton & Harper 1997).



**Figura 18.** Arenito maciço. Sm: Arenito maciço de granulometria fina com matriz argilosa, coloração cinza- esverdeada. Local da foto: seção Sobradinho.

## 6.6. Arenitos com acamamento *flaser*, *wavy* e *linsen* (Fácies H)

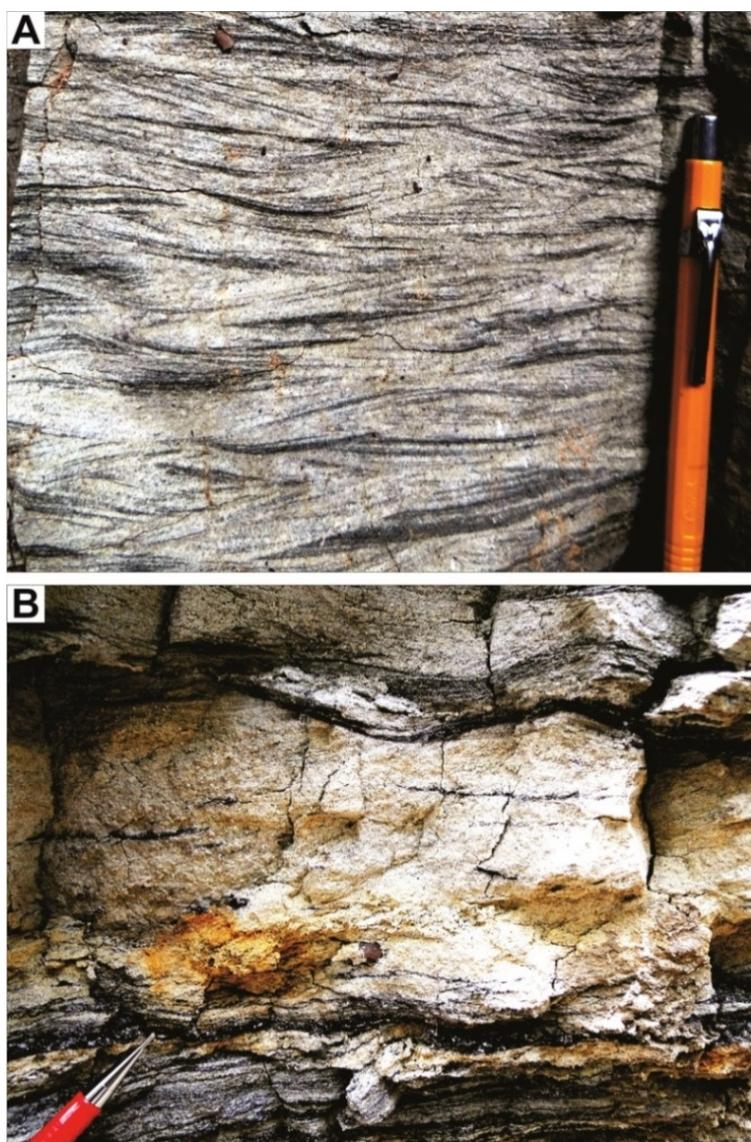
*Descrição:*

A fácies H é aqui considerada um conjunto de fácies que ocorrem associadas de forma heterolítica complexa, caracterizando uma associação genética. É representada por arenitos com acamamentos *flaser*, *wavy* (ondulado) e *linsen* (lenticular), intercalados com lâminas de folhelhos e lamitos. Intercalações de camadas delgadas de arenitos e lamitos são frequentemente referidas como *fácies heterolíticas*.

Lamitos cinza-escuros intercalados entre arenitos muito finos a finos, bem selecionados, matriz siltosa, esbranquiçados a acinzentados, com laminações

horizontal, ondulada ou cruzada por ondas (estratificação cruzada cavalgante – *ripples*). Pequenos fragmentos de restos vegetais carbonificados podem estar presentes. Localmente, é constituída por arenitos finos, bem selecionados, creme-esbranquiçados, intercalados a lâminas de folhelhos pretos. Os arenitos estão dispostos na forma de camadas centimétricas, podendo apresentar-se com acamamento ondulado ou horizontal, e até mesmo com estruturas incipientes.

Os acamamentos presentes se diferem quanto à continuidade da camada arenosa. Os acamamentos *flaser* são caracterizados por finas lâminas de lama, em forma de calha (côncavas) isolada em meio à areia (Figura 19).



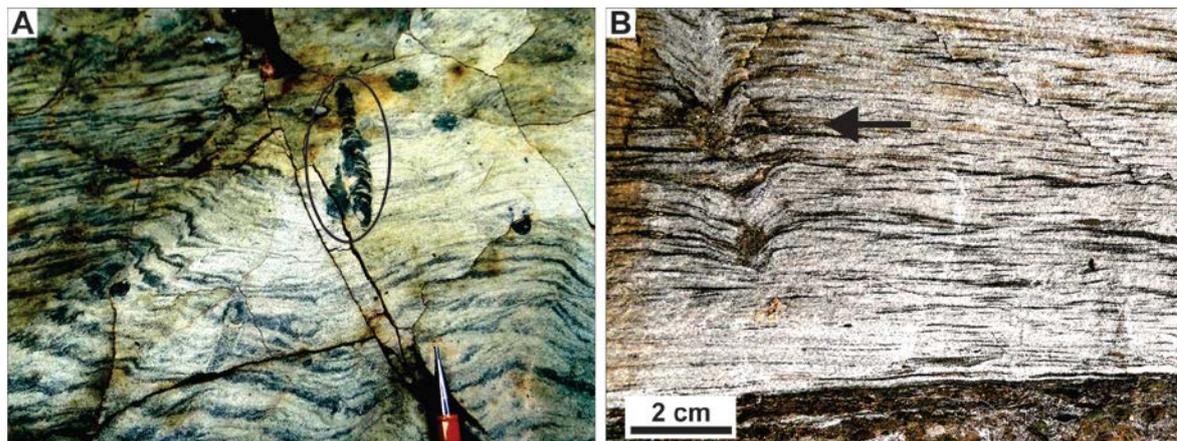
**Figura 19.** Fácies heterolíticas, arenito com acamamento *flaser*. A) H: Arenito cinza com acamamento *flaser* com *drapes* de argila; B) H: Arenito creme esbranquiçado com acamamento *flaser* associado a acamamento *wavy* - ondulado. Local da foto: seção sobradinho.

O acamamento *wavy* (ondulado) é transicional entre *flaser* e *linsen* e se caracteriza por proporções, aproximadamente iguais, de areia e argila (Figura 20). Por outro lado, o acamamento *linsen* (lenticular) é caracterizado por lentes centimétricas de areia em meio a lama, apresentando laminação cruzada interna. Em ambos os casos, houve um diminuto suprimento de areia durante a deposição e formação dos acamamentos *wavy* e *linsen* (Picard & High Jr. 1973).

Bioturbações estão frequentemente associadas a estas fácies, como observado na figura 21. A maioria destas bioturbações é representada por tubos verticais preenchidos por lama, que, em geral, apresentam-se em forma de “U” (*diploclaterion* ?). Estas estruturas biogênicas constituem os icnofósseis presentes nas fácies mais finas, indicando ação de organismos nos sedimentos. Os registros de icnofósseis encontrados não possibilitaram o reconhecimento quanto ao gênero e/ou espécie.



**Figura 20.** Fácies heterolítica (fácies H), arenito com acamamento *wavy*: camadas milimétricas a centimétricas de lama intercaladas com camadas arenosas. (Local da foto: seção Sobradinho).



**Figura 21.** Fácies heterolíticas, arenito com bioturbação (*diploclaterion* ?). A) H: Fácies heterolítica bioturbada, apresentando condutos com linhas de crescimento (em destaque), afloramento em planta; B) H: Arenito heterolítico com acamamento *flaser*, bioturbado (seta indicativa). (Local da foto: seção Sobradinho).

#### *Interpretação:*

A ocorrência do acamamento *flaser* requer atividades de correntes com pausas periódicas, como nas planícies dominadas por marés (Picard & High Jr. 1973).

### 6.7. Folhelho (FI)

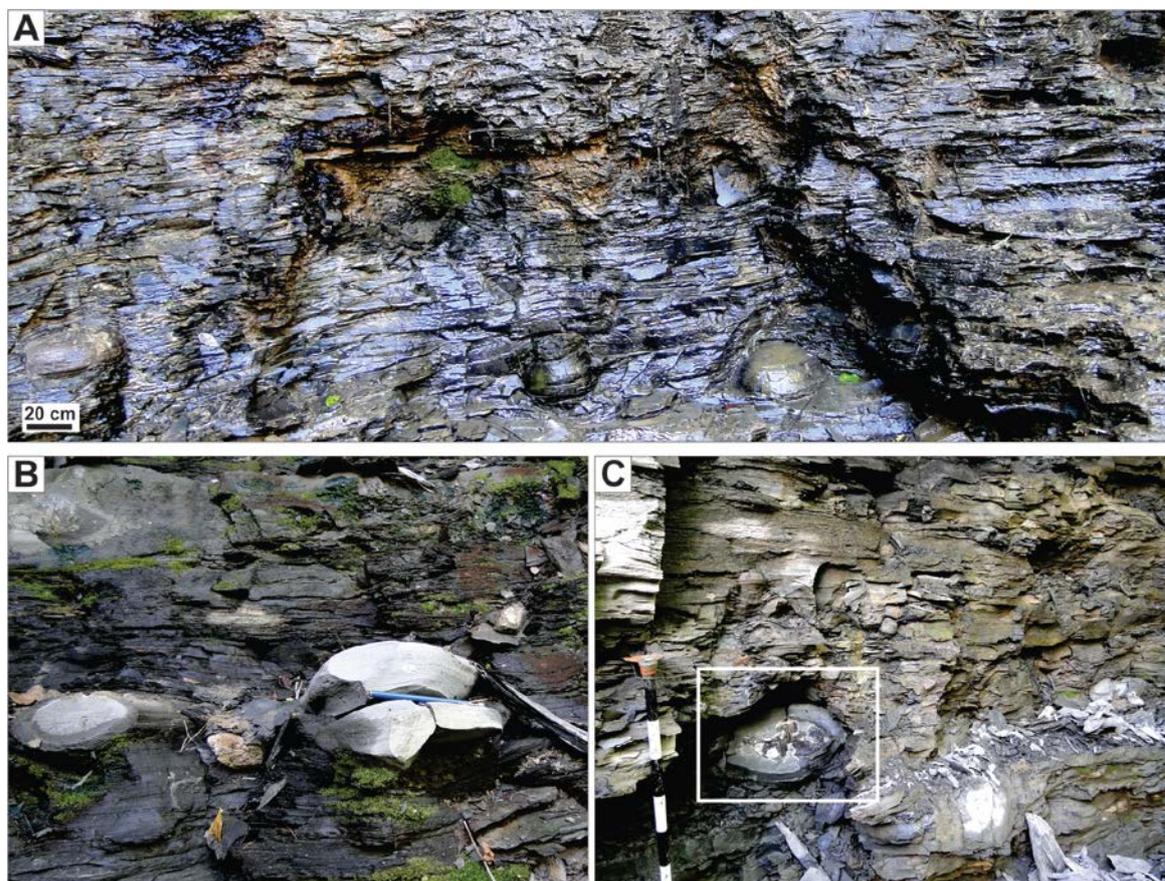
#### *Descrição:*

Folhelhos cinzas, verdes e pretos (pirobetuminosos), com tons de cinza variando de claro a escuro (Figura 22). A fácies FI consiste em folhelhos calcíferos, destacando-se a presença de um intervalo de folhelhos cinza escuros e pretos, ricos em matéria orgânica. Apresentam-se, por vezes, deformados nos entornos das concreções.

A fácies FI, na seção Sobradinho, tem ocorrência expressiva, atingindo espessura aproximada de 40 metros. Nesta seção, concreções fossilíferas arredondadas, de 9 a 20 cm (Figura 22), são bastante comuns na fácies FI e caracterizam paleoictiofauna marinha. As concreções são mais abundantes na porção inferior do intervalo de folhelho, que pode atingir 5 metros de espessura.

*Interpretação:*

Processos de decantação de sedimentos finos em ambientes subaquosos de baixa energia.



**Figura 22.** Folhelho preto. A) Fl: Camada métrica de folhelhos pretos laminados; B) Fl: Folhelho preto laminado contendo concreções calcárias; C) Detalhe de concreção carbonática em meio a folhelhos cinza-esverdeados. (Local da foto: seção Sobradinho).

## 6.8. Calcário (Ca)

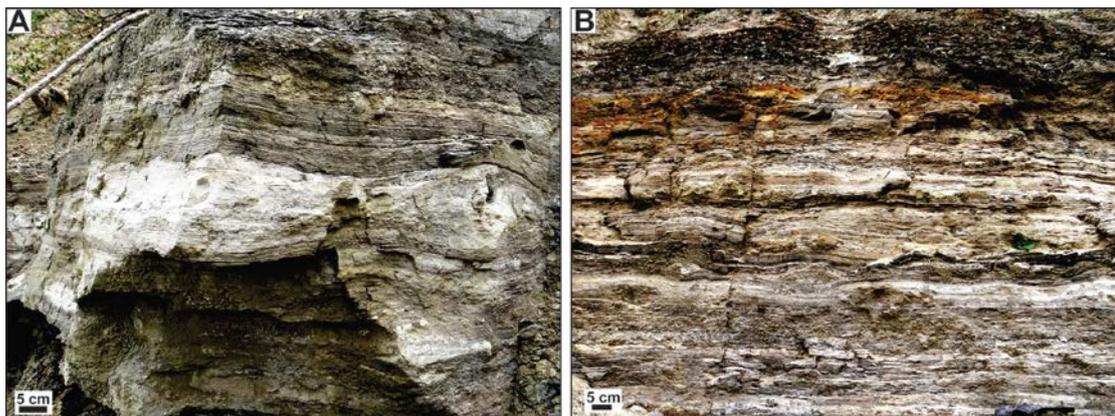
### *Descrição:*

Calcários finos, com cores cinza, creme e branca. A forma mais comum é o calcário laminado (Cal) e o calcário com topo e base ondulados. Os calcários laminados são caracterizados pela estrutura laminar, coloração creme, fino e por apresentar forma tabular, em camadas centimétricas. Os calcários ondulados são caracterizados por camadas delgadas intercaladas entre folhelhos. Nesta intercalação são verificados nódulos de carbonatos (Figura 23).

*Interpretação:*

Precipitação química de carbonatos ou processos de bioindução (?) em ambiente subaquoso em períodos climáticos mais áridos, que favorece a redução da entrada de sedimentos alóctones e elevação da produção carbonática.

A distinção dos carbonatos pautou-se nos dados de afloramento, em meso escala, carecendo de dados de petrografia para melhor caracterização.



**Figura 23.** Calcário laminado. A) Ca: Calcário com topo ondulado, em contato com fácies de folhelho preto. B) Cal: Calcário laminado intercalado com folhelho preto com nível de nódulos carbonáticos. (Local da foto: seção Pedra Branca).

## 6.9. Coquinas (CQ)

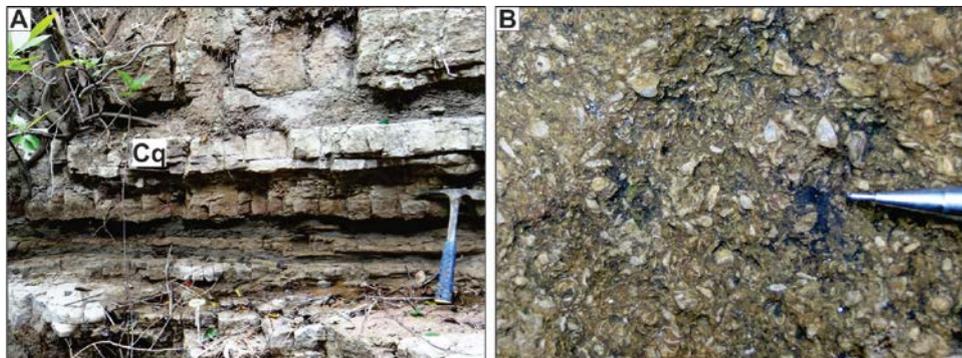
*Descrição:*

Bioclastos associados a areia e silte. A fração biogênica é constituída principalmente por turrítelídeos, equinóides e gastrópodes. As coquinas são observadas no topo da Formação Romualdo, alguns metros acima do intervalo das concreções fossilíferas, estando limitadas a um intervalo com delgadas camadas (4 camadas centimétricas) (Figura 24).

Os fósseis constituintes se encontram fragmentados a bem preservados e apresentam leve orientação preferencial. A coloração característica desta fácies é creme com tons amarelados. As geometrias predominantes são camadas tabulares centimétricas podendo atingir um metro de espessura.

*Interpretação:*

Processos de retrabalhamento por correntes que depositam as conchas em suspensão, sendo transportadas por correntes de maior energia, capazes de desarticular e fragmentar as conchas de bivalves.



**Figura 24.** Coquina. A) CQ: Coquinas intercaladas com folhelho (FI) cinza; B) CQ: Coquina com turritelídeos e conchas de bivalves. (Local da foto: seção Sobradinho).

As fácies sedimentares acima descritas encontram-se dispostas em uma sucessão faciológica que permite interpretar o paleoambiente deposicional. A seguir, tabela 3, síntese da associação de fácies e interpretação do sistema paleodeposicional:

**Tabela 3.** Associação de fácies e interpretação do sistema deposicional.

Associação de Fácies	Sistema Deposicional	Associação	Exemplo
Gt, St, Sr	Fluvial		
St, Ssg, Sr, Sm, H, FI, Ca	Costeiro		
FI, H, Sm, Ca, CQ	Marinho raso		

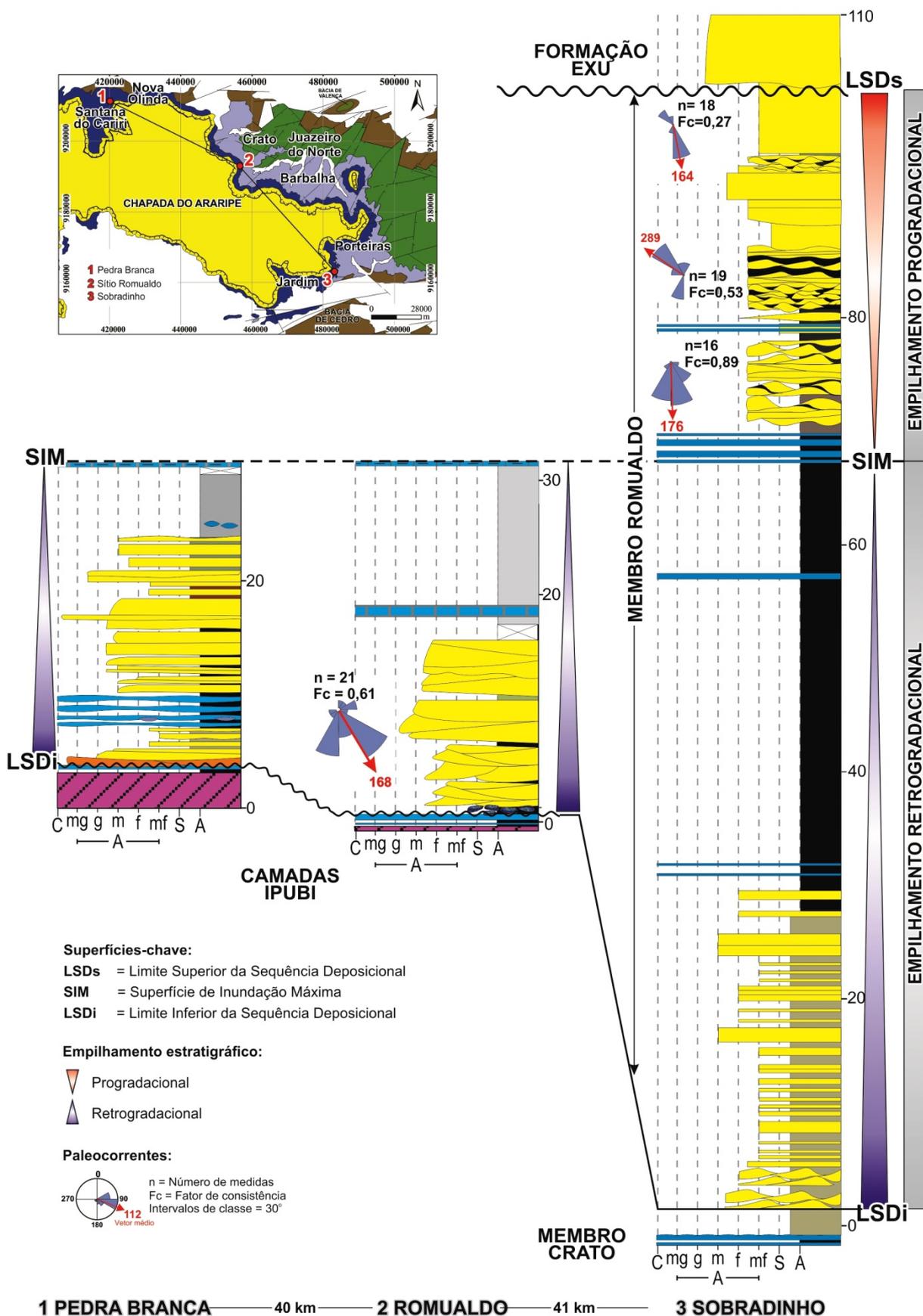
## 7. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS

O Membro Romualdo corresponde litoestratigraficamente a uma sequência deposicional com aproximadamente 100 m de espessura, limitada por desconformidades, na base (limite inferior da sequência deposicional) e no topo (limite superior da sequência deposicional).

Três são as superfícies chave identificadas na sequência deposicional estudada: 1) limite de sequência deposicional inferior (LSDi) na base da sequência; 2) superfície de inundação máxima (SIM) situada na porção intermediária, sendo definida como superfície isócrona desse intervalo e, conseqüentemente, como o melhor marco estratigráfico (*datum*) para a correlação estratigráfica (Figura 25) e, 3) finalizando a sequência têm-se o limite de sequência deposicional superior (LSDs) no topo, de caráter erosional, contato do Membro Romualdo (sequência pós-rifte I) com a Formação Exu (pós-rifte II).

Dois são os tratos de sistemas deposicionais identificados na sequência deposicional (Membro Romualdo), com sucessões estratigráficas distintas: 1) trato de sistemas transgressivo (TST) - empilhamento retrogradacional, posicionado na seção inferior da sequência; e 2) trato de sistemas de mar alto (TSMA) - empilhamento progradacional, na seção superior. O TST é de caráter transgressivo, no qual fácies de sistemas fluviais são sucedidas por fácies costeiras que culminam em depósitos marinhos rasos. Tais depósitos são sucedidos por fácies mais continentais representadas por arenitos com fósseis de água doce, os quais caracterizam o TSMA, de caráter regressivo.

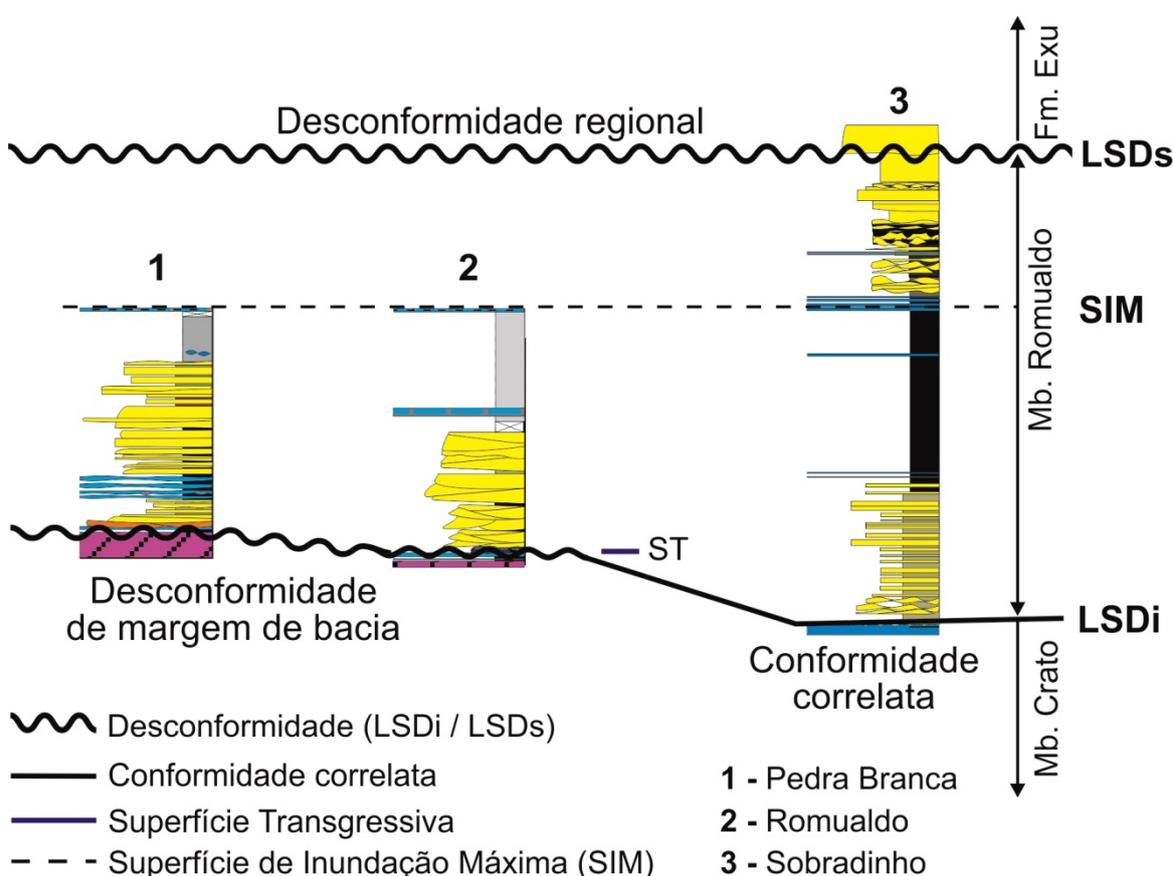
A seguir, são apresentadas características dos limites da sequência deposicional, a superfície de inundação máxima, os tratos de sistemas e uma discussão dos resultados obtidos em relação aos trabalhos disponíveis na literatura.



**Figura 25.** Correlação estratigráfica das seções colunares levantadas: (1) Pedra Branca, (2) Sítio Romualdo e (3) Sobradinho. (datum = SIM)

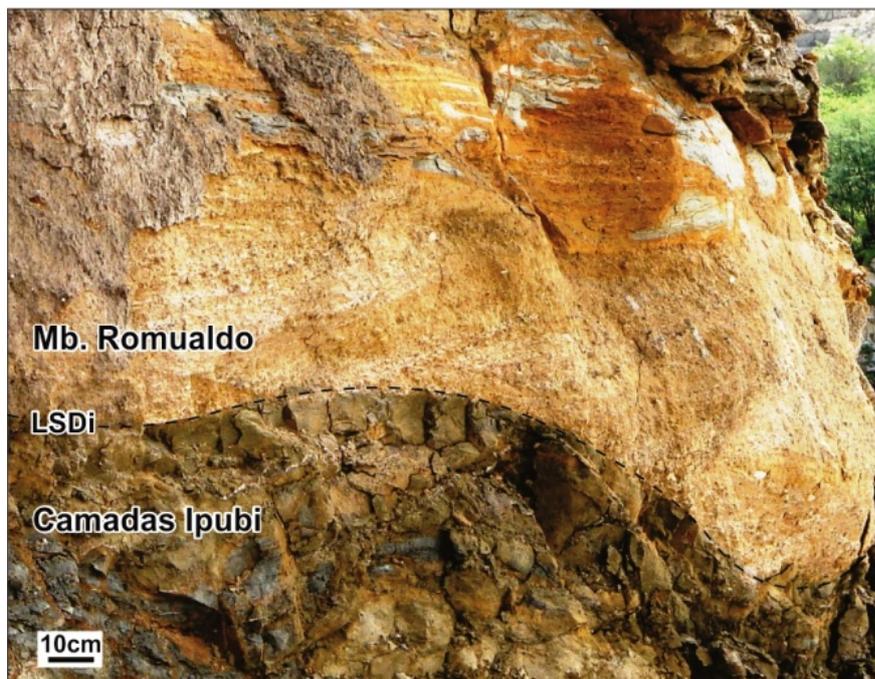
### 7.1. Limite Inferior da Sequência Depositional

O limite inferior da sequência deposicional (LSDi) é o contato entre os membros Crato e Romualdo. Esta superfície se caracteriza por ser uma desconformidade na região proximal da borda da bacia, que passa gradualmente a uma conformidade correlata no sentido do centro da bacia (Figura 26).



**Figura 26.** Representação esquemática da variação lateral da LSDi ao longo da bacia.

A desconformidade é evidenciada pelo substrato erosivo irregular dos arenitos ( fácies St) e conglomerados ( fácies Gt) da base do Membro Romualdo sobre os folhelhos ( fácies FI) e gipsita ( fácies GIP) das Camadas Ipubi; tais evidências são verificadas na seção Pedra Branca (Figura 27).



**Figura 27.** Superfície inferior caracterizada por conglomerado com substrato erosivo sobre folhelho preto – Seção Pedra Branca; contato Camadas Ipubi / Membro Romualdo. (Local da foto: ver seção Pedra Branca na figura 9)

O limite inferior coincide com a superfície transgressiva identificada na seção Sítio Romualdo. A superfície transgressiva é evidenciada por depósitos de retrabalhamento do substrato, tendo como característica clastos de calcário dispostos sobre camadas delgadas de calcário laminado, interpretados como depósito residual transgressivo (*transgressive lags*) (Figura 28). A desconformidade e a superfície transgressiva não foram observadas nos afloramentos da seção Sobradinho, tendo identificado nesta seção apenas a conformidade correlata. O critério utilizado para situar a superfície inferior na seção Sobradinho foi o aparecimento de arenitos sigmoides sobrepostos às fácies siliciclásticas finas e carbonáticas, características do Membro Crato.



**Figura 28.** Superfície transgressiva (ST) marcada por clastos de calcário dispostos sobre calcário laminado = contato Membro Crato / Membro Romualdo. (Local da foto: ver seção Romualdo na figura 10).

## 7.2. Limite Superior da Sequência Depositional

O limite superior da sequência deposicional (LSDs) corresponde à discordância erosiva de caráter regional que limita o topo da sequência deposicional. O LSDs está posicionado no contato entre a Formação Santana (Membro Romualdo) e a Formação Exu. No entanto, é de difícil observação no campo, devido à presença constante de depósitos de tálus nas escarpas da Chapada do Araripe, como já enfatizado por Assine (1992). Uma evidência, entretanto, sustenta a interpretação de contato discordante entre estas formações (LSDs). No registro estratigráfico, o LSDs é evidenciado pela presença de arenito médio a grosso com estratificação cruzada acanalada (Fácies St) em contato erosivo sobre arenito muito fino a fino com estratificação cruzada acanalada (Fácies St), como verificado na seção Sobradinho. Embora registrado na seção sobradinho, o LSDs não foi observado nas demais seções, devido à erosão da sucessão sotoposta.

A importância do LSDs está relacionada ao fato de que este limite corresponde ao final da sequência deposicional do intervalo estudado, marcando o final do ciclo transgressivo-regressivo desta sequência e o contato entre o Membro Romualdo (Fm. Santana) e a Formação Exu, ou seja, entre a sequência pós-rifte I para pós-rifte II.

### 7.3. Superfície de Inundação Máxima

A superfície de inundação máxima (SIM) corresponde à máxima transgressão ocorrida na sequência deposicional, estando posicionada entre o TST e TSMA. Esta superfície é evidenciada pelo intervalo das coquinas (fácies CQ) encontrado no topo da sucessão dos folhelhos pretos (fácies FI). A SIM é elemento fundamental na correlação dos empilhamentos estratigráficos. A correlação estratigráfica apoiou-se na expressiva rastreabilidade desta superfície, a qual é marcada pelo intervalo das coquinas. A marcante continuidade lateral da fácies coquinas (fácies CQ), corresponde a eventos quase instantâneos na escala do tempo geológico e confere a este nível/superfície o caráter de excelente marco estratigráfico.

A SIM é definida de distintas formas pelos autores que a estudaram. Assine (1992) a situou ao nível dos folhelhos esverdeados portadores de concreções carbonáticasossilíferas e a interpretou como superfície de máxima transgressão marinha, tendo evidenciado deposição de folhelhos diretamente sobre o embasamento na porção oeste da bacia, sugerindo *onlap* costeiro. Bruno *et al.* (2006) reconheceram fortes influências marinhas no nível das concreções e o consideraram como a SIM, pois, afirmaram que nas concreções calcárias da Formação Romualdo, ocorrem peixes osteíctes marinhos como *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis* e *Rhacolepis buccalis*. Moura (2007) caracteriza esta superfície como superfície SI – inundação e, admite que a mesma marca o contato de um conjunto de camadas de fácies heterolítica (H), abaixo, com folhelhos (fácies FI), acima, indicando o afogamento da bacia e representando o limite basal do TSMA. Contudo, Assine (2007) considerou a SIM equivalente ao intervalo das coquinas e a interpreta como superfície de ravinamento provocada pela ação de marés. Além disto, este autor afirma que, em direção ao topo, a partir da SIM, voltam a predominar condições continentais, dedutíveis pelo padrão de engrossamento textural ascendente e pela presença de fósseis não-marinhos.

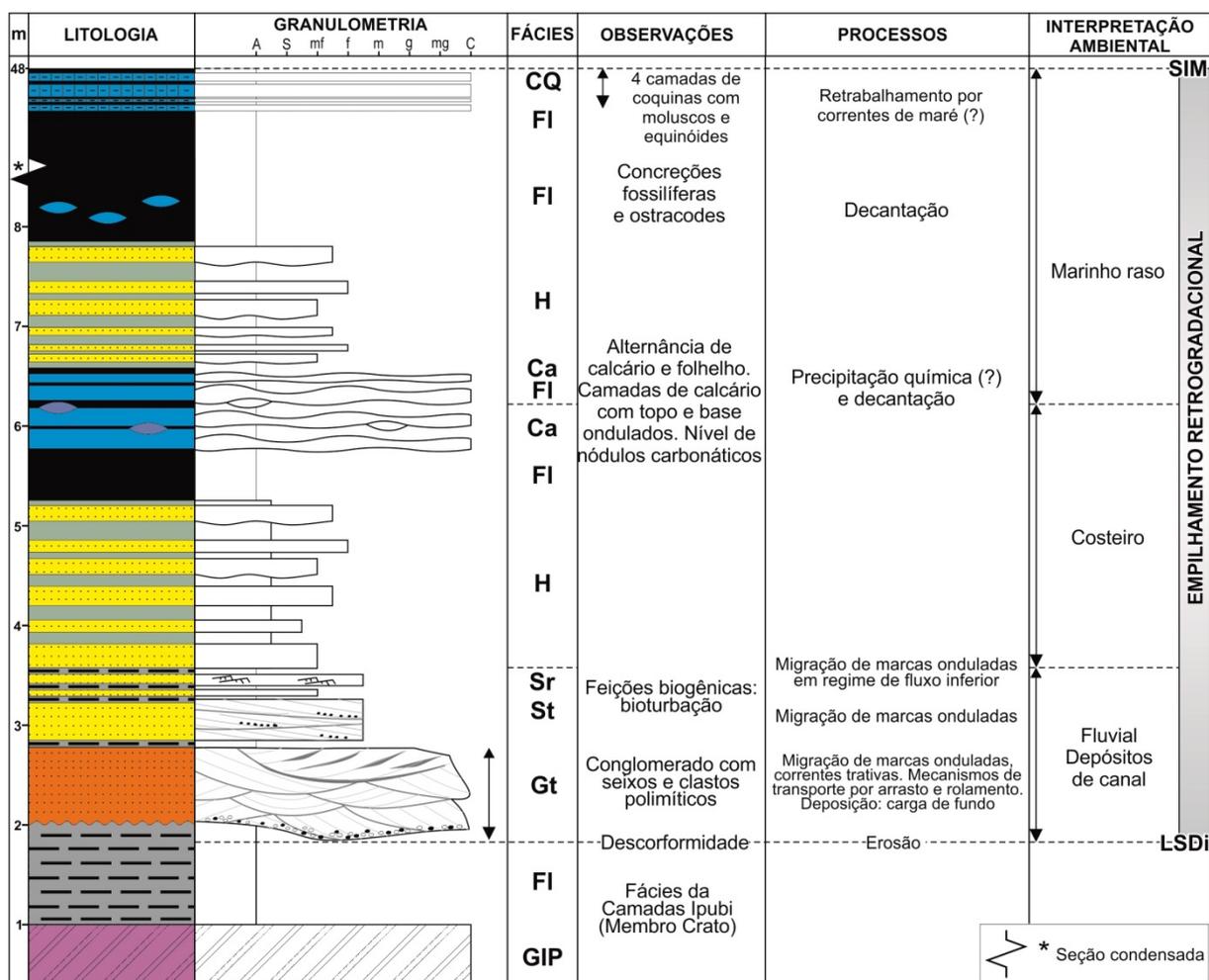
Acima da SIM ocorre padrão regressivo que se encerra com uma superfície de desconformidade que, neste estudo, corresponde ao LSDs.

#### 7.4. Trato de Sistemas Transgressivo

O TST constitui a parte inferior da sequência deposicional, tendo início com conglomerados e arenitos, após intenso período de aridez que perdurou durante a deposição do Membro Crato / Camadas Ipubi (Rojas 2009). O TST é caracterizado por empilhamento retrogradacional, exibindo afinamento textural para o topo (Figura 29).

O empilhamento se inicia por uma desconformidade na base (LSDi), que marca passagem abrupta entre folhelhos calcíferos esverdeados (Fácies FI) em contato com conglomerados (Fácies Gt), matriz sustentados a arenitos muito grossos. Em detalhe, a desconformidade é marcada na base por conglomerados com tonalidades avermelhadas com grânulos e clastos dispersos ou alinhados nos *foresets* das estratificações cruzadas acanaladas. Estes conglomerados (fácies Gt) aparecem em forma de corpos (lentes) amalgamados erodindo o substrato e apresentam granodecrescência ascendente, gradando para arenitos estratificados, médios a grossos (fácies St). O incremento de frações conglomeráticas na sucessão siliciclástica no início do TST marca a passagem do sistema lacustre (Membro Crato) e sistema evaporítico (Camadas Ipubi) para o sistema fluvial (base do Membro Romualdo).

A associação de fácies siliciclásticas descrita na base do TST sugere canais fluviais, reforçado pelas características do preenchimento do depósito como as formas de leito que incluem marcas onduladas, a forma de barras arenosas e cascalhosas, tamanho e variabilidade dos clastos e sedimentos. Os dados de paleocorrentes deste intervalo apresentam padrão unimodal, com paleofluxo rumo SE. O estabelecimento deste sistema pode estar relacionado ao rejuvenescimento de correntes em vales incisos, devido ao provável nível de mar baixo após a aridez do sistema evaporítico da sequência sotoposta (Camadas Ipubi).

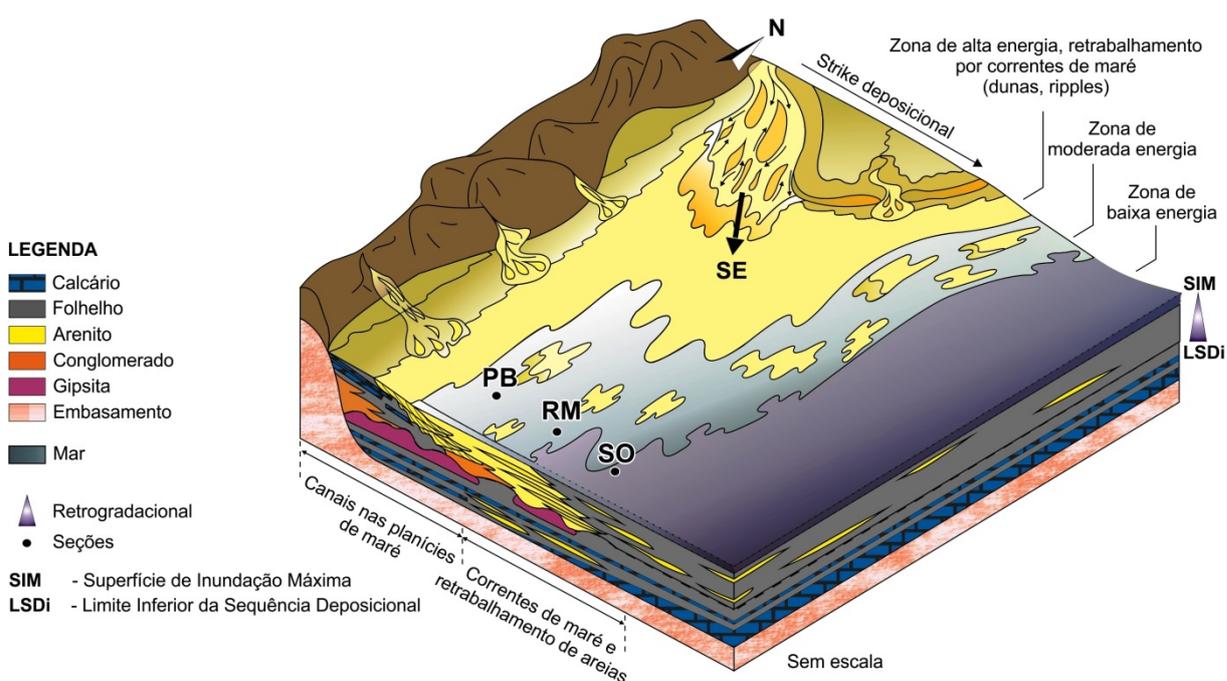


**Figura 29.** Empilhamento retrogradacional esquemático para a área, com típico padrão granodecrescente ascendente do TST.

Para o topo, os arenitos se tornam finos e apresentam evidência de maré. O incremento de argila e areias finas na sucessão siliciclástica do TST, evidenciado por arenitos com estratificação cruzada cavalgante (fácies Sr) e heterolíticas (fácies H) com acamamentos *flaser*, *wavy* e *linsen*, que registram influências de correntes de maré, marcando a transição do sistema fluvial para o sistema costeiro. Sotoposto a estes arenitos, é observada uma seção rítmica delgada de folhelhos intercalados com carbonatos. Esta seção inicia com a sedimentação de folhelhos (fácies FI), ricos em matéria orgânica, intercalados com calcários (fácies Ca) com aproximadamente 1,5 m de espessura. Os folhelhos contêm filmes orgânicos representados por lâminas levemente onduladas intercalados às laminações carbonáticas e níveis com nódulos carbonáticos.

As fácies carbonáticas e siliciclásticas intercaladas são sucedidas por folhelhos pretos, com espessura máxima constatada de 40 m, ricos em concreções fossilíferas. Este intervalo apresenta fortes evidências de sistema marinho raso, marcadas por associação fossilífera peculiar. Tais evidências são realçadas no trabalho de Arai & Coimbra (1990), que pelo estudo do intervalo de folhelhos do Membro Romualdo, apresentam evidências da ingressão marinha na Bacia do Araripe, como dinoflagelados.

Os níveis das coquinsasm que correspondem a SIM, sucedem o intervalo dos folhelhos ricos em concreções calcárias fossilíferas e dinoflagelados. Estes níveis ocorrem na parte mais superior / final do TST, sendo caracterizado pela presença de equinoides e moluscos intercalados com lâminas de folhelhos. No contexto de trato de sistemas, o intervalo da coquina pode indicar ambiente marinho submetido a condições de tempestades capazes de transportar e retrabalhar fósseis de moluscos e equinoides. Esta superfície é a transição entre os tratos de sistemas deposicionais, limitando o TST (empilhamento retrogradacional) (Figura 30), abaixo e, o TSMA (empilhamento progradacional), acima. O intervalo das coquinas é caracterizado por ser delgado, com uma ampla distribuição geográfica, sendo rastreável em todas as seções levantadas e por isso foi adotado como superfície de correlação estratigráfica.

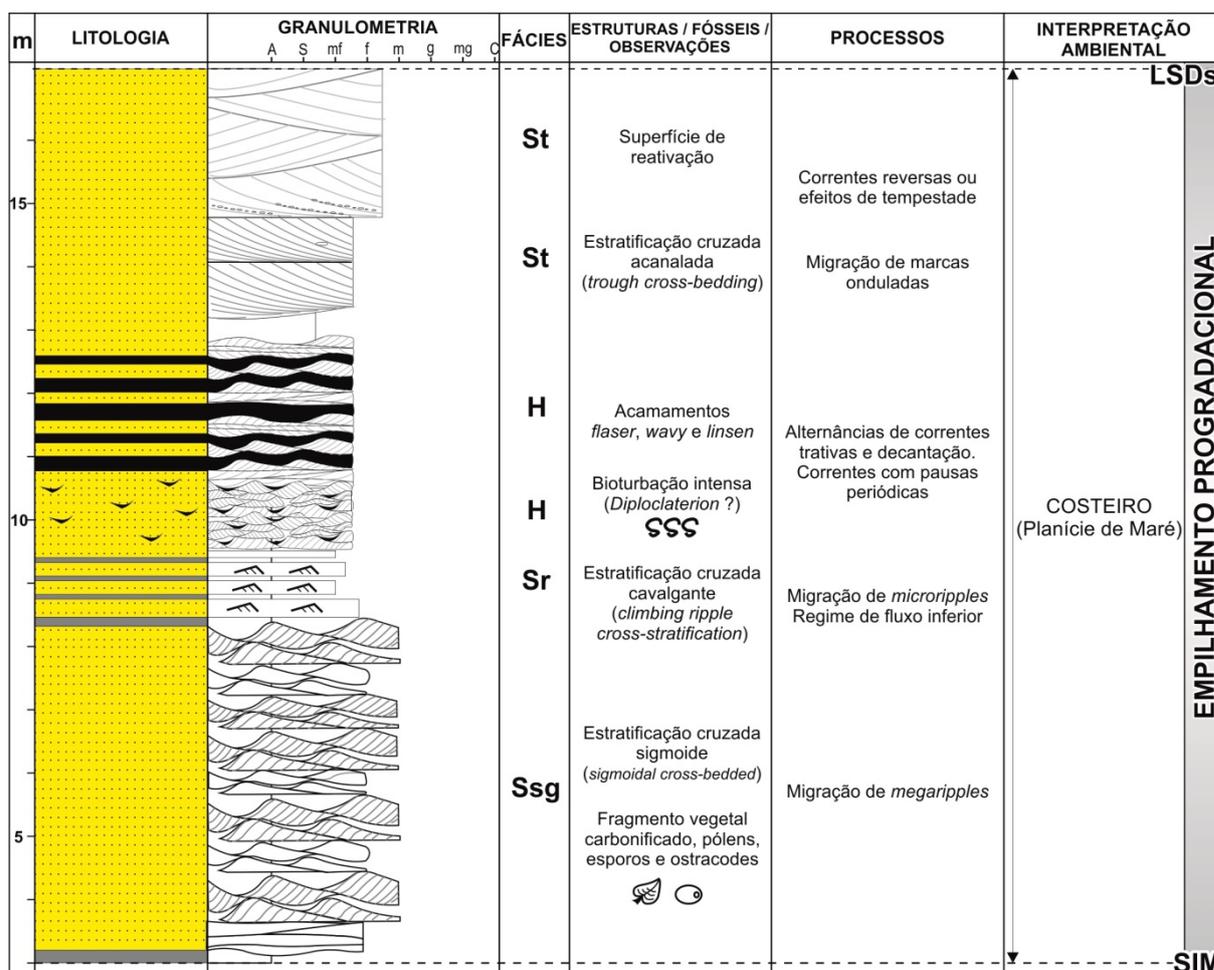


**Figura 30.** Bloco diagrama esquemático do TST.

## 7.5. Trato de Sistemas de Mar Alto

O TSMA está posicionado na porção superior da sequência deposicional, limitado abaixo pela SIM e acima pelo LSDs. O TSMA apresenta padrão progradacional (empilhamento regressivo) (Figura 31). Este padrão revela engrossamento textural para o topo, de modo que, paulatinamente, retornam arenitos com conchostráceos e ostracodes, fósseis de água doce (Beurlen 1963), os quais caracterizam condições regressivas na parte superior da sequência.

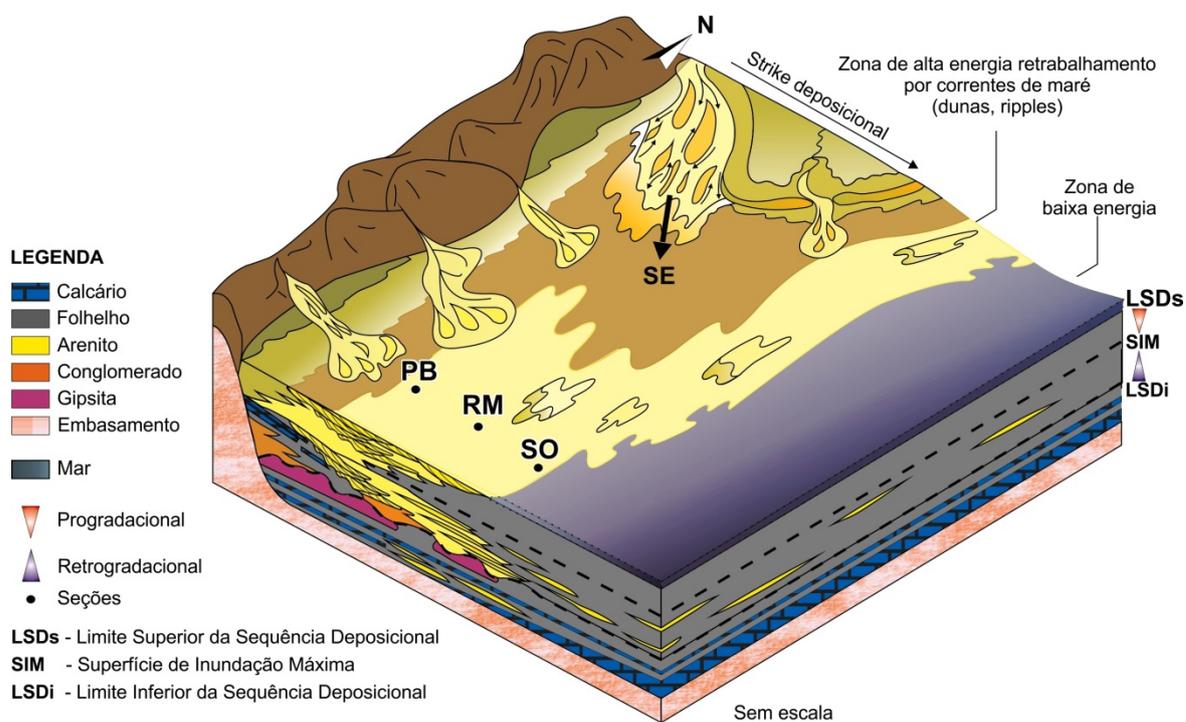
O empilhamento progradacional observado no TSMA sucede o empilhamento retrogradacional do TST, sendo depositado em condições cada vez mais rasas resultando em sucessões com tendências gerais de engrossamento textural para o topo (Figura 32).



**Figura 31.** Empilhamento progradacional esquemático para a área, com típico padrão de empilhamento granocrescente ascendente do TSMA.

De modo geral, a sucessão regressiva da sequência apresenta níveis mais finos que gradam a fácies sigmoides, heterolíticas e arenitos com estratificações cruzadas acanaladas (fácies St) no topo. Os últimos 30 m do TSMA, na seção sobradinho, se caracterizam pela intercalação de arenitos e folhelhos, com os arenitos em forma de barras sigmoides (fácies Ssg) e com estratificação cruzada cavalgante (fácies Sr). Sobre estes arenitos, onde são observados restos de fósseis vegetais carbonizados; ocorrem fácies heterolíticas intensamente bioturbadas. Arenitos finos a médios com estratificação cruzada acanalada (fácies St) encerram a sequência.

A seção regressiva não ocorre com frequência, estando ausente nas seções colunares Pedra Branca e Sítio Romualdo. Esta ausência é devida à erosão durante a geração da desconformidade (LSDs) do topo da sequência deposicional, que marca o contato entre o Membro Romualdo e a Formação Exu. Desse modo, o TSMA é observado apenas na seção Sobradinho, que possui o ciclo transgressivo-regressivo completo. Dados de paleocorrentes foram obtidos na seção regressiva do TSMA e sua análise permitiu interpretar atuação de correntes de marés, pelo padrão bimodal dos histogramas de frequência. Em geral, as paleocorrentes possuem direção NW-SE.



**Figura 32.** Bloco diagrama esquemático do TSMA.

## 7.6. Discussão

A análise estratigráfica de sequências apresentada nesta monografia, permite estabelecer uma discussão acerca dos dados e interpretações apresentados pelos autores que corroboram ou não com a análise estratigráfica apresentada neste trabalho. Os trabalhos já publicados divergem quanto à interpretação paleoambiental do Membro Romualdo, bem como quanto a delimitação da sequência deposicional e dos tratos de sistemas que a compõem.

A sequência deposicional do intervalo pertencente ao Membro Romualdo foi descrita por Castro *et al.* (2006) que a denominou de S4 e a caracterizou por meio dos testemunhos dos poços PS-11 e PS-12. Os poços evidenciaram uma sequência com espessura completa de 75 m e um conjunto de fácies composto por seção arenosa e argilosa, interpretadas como fluvial e lacustre, respectivamente. Ainda segundo os citados autores, a sequência S4 é dominada por depósitos siliciclásticos que refletem condições climáticas úmidas favoráveis ao suprimento sedimentar e desfavoráveis à formação de carbonatos. Esta sequência foi reconhecida também por Rojas (2009) que a denominou como Sequência 6, identificando condições marinhas neste intervalo, subdividindo-a em três tratos de sistemas: trato de sistemas de mar baixo, transgressivo e de mar alto. A espessura

A sequência deposicional identificada neste trabalho, por sua vez, apresenta espessura aproximada de 100 m, com uma associação faciológica interpretada como característica de sistemas costeiros influenciados por marés.

A divisão em três tratos, proposta por Rojas (2009), que inclui o trato de sistemas de mar baixo (TSMB), distingue da divisão adotada neste trabalho, a de apenas dois tratos de sistemas. Adotou-se apenas o TST e TSMA por não ter sido identificado empilhamento prográdacional na base da sequência deposicional, não sendo possível, portanto, subdividi-lo em TSMB.

As superfícies da sequência deposicional apresentada na presente monografia difere, em parte, das superfícies propostas pelos demais autores. Enquanto que neste trabalho é adotada como limite inferior de sequência deposicional (LSDi), marcada por uma desconformidade que lateralmente grada para uma conformidade correlata; o trabalho de Moura (2007), a interpreta como superfície de regressão forçada (SRF), para toda a bacia, e a caracteriza pelo contato discordante dos carbonatos e evaporitos com fácies arenosas, interpretada

como o limite de evolução do ambiente lacustre, onde se observa a partir dela uma entrada de sedimentos continentais seguidos do avanço do mar no continente.

Assine (2007) considera que o topo do Membro Crato / Camadas Ipubi é marcado por descontinuidade erosiva de curta duração, caracterizando um contato diastêmico com o Membro Romualdo. Segundo Silva (1986), esta superfície registra o contato das Camadas Ipubi (inferior) com o Membro Romualdo (superior) sendo marcada por carstificação e, por um delgado intervalo (1-2 m) de conglomerado fino ou arenito conglomerático o que o leva a ser caracterizada como uma superfície discordante. Contrapondo a esta interpretação, Assine (1992) afirma que as feições paleocársticas no topo dos evaporitos e níveis de caliche descritos por Silva (1986), não implicam necessariamente em discordância, podendo ser uma simples feição resultante de exposições subaéreas com retrabalhamento. Porém, o autor salienta que descontinuidades menores são comuns no registro sedimentar, e muitas outras existem dentro da Formação Santana.

Acima desta desconformidade basal foi observada, no presente trabalho, fácies conglomeráticas (fácies Gt) registradas como conglomerados, matriz sustentados, com clastos e seixos arredondados e de distintas composições (quartzo, argila, feldspato), sendo interpretadas como registros de depósitos de canais fluviais. O trabalho de Cavalcanti & Viana (1990) reforça a interpretação de sistema fluvial, assim como adotado no presente estudo para a base do TST. Tais autores descrevem a ocorrência de gastrópodes e bivalves de pequeno porte associados às fácies conglomeráticas.

Para o topo do TST, Arai & Coimbra (1990) identificaram também evidências da ingressão marinha nos folhelhos, baseados em dados paleontológicos. Segundo tais autores, esses folhelhos apresentam assembleia fóssil composta por dinoflagelados, ostracodes, foraminíferos e moluscos típicos de ambientes costeiros mixohalinos. As condições ambientais, às quais os ostracodes foram submetidos, são interpretadas por Arai & Coimbra (1990) como de água doce, tendo ocorrido evento de mortandade quando da ingressão marinha. As amostras estudadas pelos autores revelam ocorrência de inúmeros dinoflagelados dos gêneros *Spiniferites*, incontestavelmente marinho e, *Subtilisphaera*, os quais podem atingir 58% da associação palinológica. Neste trabalho os autores fazem uma interpretação paleoecológica e afirmam tratar-se de ambiente marinho, sendo que a influência marinha mantém-se presente com intensidade variável no decorrer da deposição. O

estudo baseia-se nos parâmetros bióticos, descrevendo cinco fases paleoecológicas: 1) mar transgressivo, 2) mar hipóxico, 3) marinho quase normal, 4) ambiente mixohalino; e 5) ambiente de água doce, o qual corresponde, no presente estudo, ao TSMA.

Além dos dinoflagelados, são encontrados em abundância restos de fósseis de peixes (Beurlen 1963), situados no interior de concreções calcárias, como *Rhacolepis*, *Leptolepis*, *Aspidorhynchidae*, *Elopidae* e *Ichtyodectidae*. A presença de moluscos marinhos (turritelídeos) e de equinóides confirma inquestionavelmente condições marinhas em ambiente costeiro. Os equinóides ocorrem associados aos gêneros *Anomia*, *Brachidontes*, *Turritella* e *Natica*, com espécies de *Faujasia* e *Echinopygus* (Beurlen 1963).

O TSMA com típico padrão de empilhamento regressivo reconhecido neste trabalho corrobora com as evidências apresentadas por Arai & Coimbra (1990). O caráter regressivo deste empilhamento é reforçado pelo conteúdo fossilífero descrito por tais autores, que observaram no intervalo superior do Membro Romualdo, assembléia polínica dominada por pólenes do tipo *Classopollis* (95% da associação) e esporos derivados de plantas terrestres, não tendo sido observados dinoflagelados nem microfósseis calcários. A queda brusca da ocorrência de dinoflagelados nos registros sedimentológicos (3,5 %) e aumento considerável de *Classopollis* (95%) e ostracodes na associação palinológica são fortes indicativos da diminuição de condições marinhas no sistema deposicional (Arai & Coimbra 1990) e corroboram a interpretação de que ocorrem raseamento para o topo. Em consonância com estes dados, Beurlen (1963) sugeriu caráter regressivo com influências de água doce para o topo do Membro Romualdo, a partir da descrição de argilas e siltitos laminados com conchostráceos. A presença dos fósseis mostra certa tendência de diminuição do caráter marinho em direção ao topo do intervalo analisado, passando gradativamente para ambiente costeiro, com sucessão típica de planície de maré.

O LSDs, do topo da sequência deposicional e do TSMA, também foi identificado e discutido na literatura. Este limite é identificado por Assine (1992), que o considera como o contato da sequência aptiano-albiana com a sequência albiano-cenomaniana, interpretando-o como superfície de discordância. Lima (1978) interpretou contato discordante entre o Membro Romualdo (Fm. Santana) e a base da Formação Exu, constatando falta de seção correspondente à parte do Albiano Inferior a médio.

A rota da ingressão marinha tem sido conjecturada por diversos autores. Três opções e suas possíveis combinações têm sido propostas: via Bacia do Parnaíba, a nordeste (Arai 2014); via Bacia de Sergipe (Lima 1978) e pela Bacia de Potiguar (Viana 1998). Contudo, com base nos resultados obtidos por meio da análise estratigráfica, e reforçados pelos dados de paleocorrentes da Bacia do Tucano (Varejão 2013) que indicam paleofluxos fluviais com rumo para sul, assim, como observado nos depósitos fluviais da base do Membro Romualdo, as primeiras ingressões marinhas ocorridas na Bacia do Araripe (Formação Romualdo) no intervalo Aptiano / Albiano, admite-se neste trabalho ingressão marinha preferencialmente de sudeste.

Esta ingressão é evidenciada pelos dados de paleocorrentes que mostram paleofluxo fluvial com proveniência de NW, indicando depocentro a SE, principal sentido das paleocorrentes, o que concorda com paleocorrentes fluviais da Formação Barbalha, unidade do Andar Alagoas sotoposta à Formação Santana (Assine 1994). Posteriormente, os padrões bimodais de paleocorrentes com direções NW-SE, aliados ao espessamento da seção de folhelho, rica em dinoflagelados, a sucessão de fácies típica de influências de correntes de maré na seção Sobradinho e a relativa diminuição da contribuição de depósitos proximais, indicam que a SE da bacia havia maior espaço de acomodação e reforçam ingressão marinha a partir de sudeste.

## 8. CONCLUSÕES

A análise estratigráfica do Membro Romualdo mostrou-se efetiva e permitiu caracterizar e discriminar o intervalo estratigráfico estudado. Foi identificada uma sequência deposicional, separada por discordâncias erosivas (LSDi e LSDs), que apresenta ciclo transgressivo-regressivo completo. A sequência identificada exibe dois tratos de sistemas deposicionais com padrões de empilhamentos estratigráficos distintos, separada por uma superfície de inundação máxima (SIM): trato de sistemas transgressivo e trato de sistemas de mar alto.

O TST apresenta empilhamento retrogradacional, com típico padrão de afinamento textural em direção ao topo. O início do TST tem registro de sistemas deposicionais continentais, representado por depósitos de canais, mais expressivos na porção proximal da bacia, como reconhecido na seção Pedra Branca. Os depósitos de canais registram paleofluxos das correntes fluviais. Com base nos dados de paleocorrentes, concluiu-se que a área fonte da bacia estava situada a noroeste. A superfície transgressiva identificada na base do TST, reflete a subida relativa do nível do mar e registra o processo de retrabalhamento por ondas.

Os canais fluviais são sucedidos por ambiente costeiro sob condições parálicas, que favoreceram a deposição dos calcários e folhelhos, ricos em matéria orgânica. O ambiente costeiro passou a ter evidências de influências de marés, como a presença de fácies heterolíticas com acamamento *wavy* e *flaser*, feixes de maré, superfície de reativação, folhelhos com dinoflagelados e coquinas com equinoides. O TST marca a fase de ingressão marinha na seção, fase esta em que a taxa de criação de espaço de acomodação superou a de aporte sedimentar, culminando em um espesso pacote de folhelhos.

No final da sequência deposicional do Membro Romualdo a ligação com o oceano foi gradativamente reduzida. Este intervalo ocorre acima da SIM e compreende um padrão de empilhamento regressivo pertencente ao TSMA. Registros sedimentológicos, estratigráficos e paleontológicos indicam raseamento para o topo da unidade.

## Referências

- Arai, M. & Coimbra, J. C. 1990. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). *In: Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, Crato, 1, *Anais*. p. 225-239.
- Arai, M. 2006. Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das bacias interiores do Nordeste do Brasil. *Revista Geociências*, **25**(1):7-15.
- Arai, M. 2014. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. *Brazilian Journal of Geology*. **44**(2):339-350.
- Ashley, G. M. 1990. Classification of large scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petroleum*, **60**:160-172.
- Assine, M. L. 1990. Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 124 p.
- Assine, M. L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **22**(3):289-300.
- Assine, M. L. 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **24**(4): 223-232.
- Assine, M. L. & Perinotto, J. A. de J. 2001. Estratigrafia de seqüências em sistemas deposicionais siliciclásticos costeiros e marinhos. *In: SEVERIANO RIBEIRO, H. J. P. (Organizador), Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e aplicações*. Editora Unisinos, p. 305:339.
- Assine, M. L. 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**:371-389.
- Benton, M. J. & Harper, D. A. T. 1997. Basic Palaeontology. Harlow: Addison Wesley Longman, 342 pp.
- Beurlen, K. 1962. A geologia da Chapada do Araripe. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **34**(3): 365-370.
- Beurlen, K. 1963. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. *In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, Anais*. p. 47.
- Beurlen, K. 1966. Novos equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. *In: Anais da Academia Brasileira Ciências*, **38**(3-4):455-464.
- Beurlen, K. 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**:411-415.
- Braun O. P. G. 1966. *Estratigrafia dos sedimentos da parte inferior da região Nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe)*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim 236), 75 p.
- Brito Neves, B. B. 1990. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. *In: I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do Brasil*, p. 21-33.
- Brito Neves, B. B.; Santos, E. J.; Van Schmus, W. R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. *In: Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. A. (eds.) Tectonic Evolution of South America*. International Geological Congress, 31, p.: 151-182.

- Brown, L. F. & Fisher, W. L. 1977. Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull apart basins. *In: Payton, C. E. (ed) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG, p. 213-248, (Memoir #26).
- Bruno, A. P. Dos S., Hessel, M. 2006. Registros paleontológicos do Cretáceo marinho na Bacia do Araripe. *Estudos Geológicos*. **16**(1): 30-49.
- Castro, J. C., Valença, L. M. M., Neumann, V. H. 2006. Ciclos e sequências deposicionais das Formações Rio da Batateira e Santana (Andar Alagoas), Bacia do Araripe, Brasil. *Revista Geociências*, **25**(3):289-296.
- Catuneanu, O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Sciences. University of Alberta. Elsevier. p.: 205-261.
- Cavalcanti, V. M. M. & Viana, M. S. S. 1990. Faciologia dos sedimentos não-lacustres da Formação Santana (Cretáceo inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil). *In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do Nordeste, Crato,1, Anais*. p.:193-207.
- Coimbra, J. C., Arai, M., Carreño, A. L. 2002. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. *Geobios*, **35**:687-698.
- Chagas, D. B. 2006. Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 112 p.
- Dias, J. L. 2005. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **13**:7-25.
- Lima, M. R. 1978. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 335 p.
- Matos, R. M. D. 1992. The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, **11**(4):766- 791.
- Miall, A. D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. *In: MIALL, A. D. (ed.) Fluvial Sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol., p. 597-604 (Memoir 5).
- Miall, A. D. 1984. Principles of sedimentary basin analysis. *Springer*.
- Miall, A. D. 2006. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. 4<sup>th</sup> edição. *Springer*. 93 p.
- Mitchum Jr. R. M.; Vail, R. M.; Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part two: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. *In: Payton, C. E. (ed) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG, 53-62, (Memoir #26).
- Moura, M. V. 2007. Análise de fácies siliciclásticas da parte superior da Formação Santana (bacia do Araripe): Caracterização de potenciais rochas reservatório. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 74 p.
- Neumann, V. H. M. L. 1999. Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de lá Cuenca de Araripe (Nororeste do Brasil). Tese de Doutorado, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Picard, M. D. & High, L. R. 1973. Stratification. *In: Sedimentary Structures of Ephemeral Streams. Developments in sedimentology 17*, Elsevier Scientific Publishing Company, p.:143-188.
- Ponte, F. C. & Appi, C. J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. *In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Natal,1, Anais*. p.:211-226.

- Rojas, F. E. M. 2009. Estratigrafia de sequências do intervalo Aptiano ao Albiano na Bacia do Araripe, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 124 p.
- Sales, A. M. F. 2005. Análise tafonômica das ocorrências fossilíferas de macroinvertebrados do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: significado estratigráfico e paleoambiental. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 170 p.
- Santos, R. S. & Valença, J. G. 1968. A Formação Santana e sua Paleoictiofauna. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **40**:336-360.
- Santos, M. E. M. 1982. Ambiente deposicional da Formação Santana, Chapada do Araripe (PE/PI/CE). *In: CBG, Congresso Brasileiro Geologia, Salvador, 32. Anais*. **4**:1412-1426.
- Scherer, C. M. dos S., Jardim de Sá, E. F., Cordoba, V. C., Sousa, D. C., Aquino, M. M., Cardoso, F. M. C. 2014. Tectono-stratigraphic evolution of the Upper Jurassic-Neocomian rift succession, Araripe Basin, Northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **49**:106-122.
- Silva, M. A. M. 1986. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(3):306-310.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Posamentier, H. W., Vail, P. R. 1987. Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy: Part 2: Key Definitions of Sequence Stratigraphy. *In: Atlas of Seismic Stratigraphy*, (ed) Bally, A. W. vol.1. AAPG Studies in Geology #27, p. 11-14.
- Varejão, F. G. 2013. Sucessão estratigráfica do Andar Alagoas na Serra do Tonã, Bacia do Tucano (Bahia). Monografia de Graduação, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 35 p.
- Viana, M. S. S. & Cavalcanti, V. M. M. 1991. Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. *Revista de Geologia*, **4**:51-60.
- Viana M.S.S. 1998. The Proto-Atlantic Albian way and its influence on the South American-African life. *Boletín de la Asociación Paleontológica del Golfo San Jorge*, 2 (Edición Especial), Año I: 32-34. (Proceedings of 3rd Annual Conference IGCP Project 381, Comodoro Rivadavia, Argentina, November 17 – 20, 1998).
- Viana, M.S.S. 1999. Estudo Paleambiental na parte superior da Formação Santana (Cretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil): natureza dos sedimentos e tafonomia. Tese de Doutorado.
- Walker, R. G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In: Walker, R. G. & James, N. P. (eds.) Facies Models: response to sea-level change: Geological Association of Canada, Geotext 1*, p. 1-14.