



Gabriel Barbosa Drago

Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica de um sistema costeiro misto carbonático-siliciclástico dominado por ondas – Fm Caboclo, Chapada Diamantina/BA

Porto Alegre, 2019.

GABRIEL BARBOSA DRAGO

Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica de um sistema costeiro misto carbonático-siliciclástico dominado por ondas – Fm Caboclo, Chapada Diamantina/BA

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

Orientador: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Supervisor: Me. João Pedro Formolo Ferronato.

PORTO ALEGRE, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Drago, Gabriel Barbosa

Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica de um sistema costeiro misto carbonático-siliciclástico dominado por ondas –Fm Cabloco, Chapada Diamantina, BA. / Gabriel Barbosa Drago. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2019.
[97 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2019.

Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer

1. Análise de fácies. 2. Depósitos híbridos. 3. Proterozoico .4. Formação Caboclo. 5. Chapada Diamantina I. Título.

CDU 551.7

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale - Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à minha família pelo suporte e incentivo, sem o qual eu não teria chegado aqui. Em especial aos meu pais, Gilmar e Rosane, por todo amor e por terem apoiado minha decisão, lá em 2012, de sair do curso de Administração para cursar Geologia. Às minhas irmãs Mari e Tati, primos e primas, tios e tias, queridos avós Dilma e Rui, muito obrigado!

Agradeço à Carol, pelo reencontro e reconhecimento. Por compartilhar sonhos e ser uma fonte de inspiração. Minha gratidão, admiração e amor.

Aos amigos de longa data Sérgio, Edu e Hans e aos queridos da Tribo do skt, do Che abagualados! e do Grupo Escoteiro Arno Friedrich.

Agradeço aos colegas da geo por tanto convívio. Aos queridos da 36 pela amizade e parceria de todos os dias. Aos bravos mapeadores da Faixa 5, Cassiano, Douglas e Rossano. Aos alquimistas Magmáticos Pepe e Maxi. Ao grande amigo Bruno Petracco, que assim como eu, é de 90 e veio de escola pública. Ao CAEG pelo espaço, discussões e Horas Felizes.

Agradeço à UFRGS pela excelência no ensino e por tantas vivências. Aos professores do IGEO pela iniciação nos conhecimentos geológicos, uma jornada de aprendizado que não tem fim.

Agradeço ao grupo de pesquisa em Estratigrafia, que me recebeu nessa etapa final do curso, minha admiração pelo trabalho desenvolvido por todos. Em especial, agradeço ao professor Claiton pela orientação e ao João pela supervisão deste trabalho, ao Carrel e Adriano pelas contribuições nas interpretações geológicas e a todo pessoal da sala 204 e do prédio da Pós em Estrati, pelo convívio diário.

E basta contar compasso

E basta contar consigo

Que a chama não tem pavio

De tudo se faz canção

E o coração na curva de um rio

E lá se vai

Mais um dia

(Lô Borges)

RESUMO

Localizada no município de Morro do Chapéu no estado da Bahia, a gruta dos Cristais é entendida como a base da Formação Caboclo do Grupo Chapada Diamantina, Supergrupo Espinhaço. É constituída por sedimentos híbridos de composição carbonático-siliciclásticos depositados em um ambiente costeiro dominado por ondas de tempestade de idade Mesoproterozoica. Este trabalho tem como objetivo caracterizar em escala de alta resolução os processos sedimentares e propor um modelo deposicional e evolução estratigráfica para os depósitos costeiros dominados por onda da gruta dos Cristais. Para isso, foi realizado a análise de fácies, associações de fácies e técnicas complementares como petrografia e gamaespectrometria. A análise de fácies realizou-se com a descrição e interpretação de um perfil colunar do afloramento, de 46 m de espessura, em escala 1:20. Foram identificadas dez litofácies, que compõem três associações de fácies dispostas em um sistema de rampa mista carbonática-siliciclástica dominada por ondas de tempestade. As porções distais da rampa são dominadas por estromatólitos horizontais e subordinadamente sedimentos proximais são remobilizados por tempestade. A porção intermediária do sistema compõe bioermas e heterolitos, onde ocorrem com mais frequência arenitos e conglomerados depositados por eventos de tempestade. A porção proximal, caracterizada como rampa interna é dominada por arenitos híbridos e por conglomerados intraformacionais com estruturas de fluxo oscilatório ou combinado. A composição mista dos sedimentos ocorre por indução biogênica nas porções mais distais do sistema, em profundidade superior ao nível de base de ondas de tempo bom, e pela mistura de sedimentos aloquímicos e terrígenos nas porções proximais do sistema, causado por eventos de tempestade. Ciclos R de alta frequência, de caráter predominantemente progracionais são identificados ao longo do perfil indicando uma tendência regressiva da linha de costa. Na sucessão estratigráfica geral do afloramento estudado é identificado um grande ciclo T-R.

Palavras-Chave: Análise de fácies, Depósitos híbridos, Siliciclástico-carbonático, Eventos de tempestade, Proterozoico, Formação Caboclo, Chapada Diamantina.

ABSTRACT

Located in Morro do Chapéu County, Bahia State, the Gruta dos Cristais cave is understood as the base of Caboclo Formation in Espinhaço Supergroup at Chapada Diamantina. It is constituted of carbonatic-siliciclastic hybrid sediments deposited in a Mesoproterozoic wave-dominated coastal environment. This work aims to characterize in a high-resolution approach the sedimentary process, propose the depositional model and the stratigraphic evolution of the coastal wave-dominated system of the Gruta dos Cristais cave. For this it was accomplished facies analysis, facies association and complementary techniques as petrography and gamma spectrometry. The facies analysis was made with the description and interpretation of a columnar profile in the Cristais outcrop, of 46 m thick, in a 1:20 scale. Ten lithofacies were identified, wich constitute three facies association in a mixed carbonatic-siliciclastic storm-dominated ramp system. Distal portions are dominated by horizontal stromatolites and subordinate by proximal sediments remobilized by storm events. The intermediate portion of the system is compound by bioherms and heterolites, where occurs sandstones and conglomerate more frequently by storm surges. The proximal part, characterized as intern ramp, is dominated by hybrid sandstones and intraformational conglomerates with oscillatory or combined flow structures. The mixed composition of the sediments occurs by microbial bioinduction in the distal portions of the system, below fair weather wave base, and by terrigenous and allochems sediments mixture in the proximal portions of the system. The physical process of mixture is induced by storm process. Predominantly progradational high frequency R-cycles identified in the profile indicating a short term regressive trend of the shoreline. While on an outcrop scale, it is identified a longest T-R cycle.

Keywords: Facies Analysis, Hybrid deposits, Siliciclastic-carbonatic, Storm events, Proterozoic, Caboclo Formation, Chapada Diamantina.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Localização do afloramento em relação às localidades de Morro do Chapéu, Cafarnaum e Bonito. Imagem de satélite do Google.	13
Figura 2: Mapa geológico regional com a localização da Gruta dos Cristais. Modificado de CPRM 2003.....	14
Figura 3: A) Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco. B) Localização dos domínios morfotectônicos do Aulacógeno do Paramirim e Bacia do São Francisco. Modificado de Alkmim e Martins-Neto (2001).....	16
Figura 4: Coluna estratigráfica do Supergrupo Espinhaço. A Formação Caboclo está indicada pelo polígono azul. Modificado de Guadagnin et al (2015).	18
Figura 5: Seção composta estratigráfica da Formação Caboclo com a interpretação de processos e ambientes deposicionais. Fonte: Schobbenhaus (1996).....	20
Figura 6: Afloramento da Gruta dos Cristais. A) Visão geral do afloramento a partir da entrada do sítio. B) Parte interna da gruta, escala humana na altura de base onde se iniciou a seção colunar. C) Parte lateral de transição da saída da gruta para a zona escarpada. D) Porção superior do afloramento, o topo da seção encontra-se na parte superior esquerda da foto. Fotos do autor.	21
Figura 7: Estratigrafia e associação de litofácies da base da Formação Caboclo descrita por Maia e Pena Filho (1989) na Gruta dos Cristais. Fonte: Maia e Pena Filho (1989).	22
Figura 8: Exemplos modernos de rampas carbonáticas. A) Golfo Pérsico; B) Shark Bay, Austrália; C) Parte do litoral SE da Austrália; e D) Exemplo de uma plataforma carbonática escarpada nas Bahamas. Imagens de satélite do Google Earth.	24
Figura 9: Subdivisões de plataformas carbonáticas com morfologia do tipo rampa. Retirado de Ligabue (2016), adaptado de (FLÜGEL, 2013).....	25
Figura 10: Comportamento das ondas em relação ao leito marinho. As estruturas sedimentares são mais assimétricas e a granulometria é mais grossa nas porções mais rasas. Fonte: Plint, James e Darlymple (2010)	27
Figura 11: Efeitos físicos envolvidos na sedimentação durante uma tempestade. Retirado de Aigner (1985).	28

Figura 12: Processos de mistura de sedimentos em plataformas escarpadas. Adaptado de Mount (1984).....	31
Figura 13: Modelo para descrição de perfil colunar.....	34
Figura 14: Fluxograma de interpretação de fácies. Modificado de Walker e James (1992).....	35
Figura 15: Fotomicrografias dos litotipos estromatolíticos. Em (a), intraclastos microbial. Note-se que as fácies estromatólito dômico (b) e horizontal (c) são texturalmente semelhantes na análise petrográfica, sendo distinguíveis em escala de afloramento. Em (d), intensa dolomitização e silicificação afetando a trama primária da rocha.	40
Figura 16: Fotomicrografias dos litotipos arenitos híbridos. Em (a) a fábrica original encontra-se obliterada por dissolução pervasiva de constituintes primários e cimentos. A forma arredondada dos poros móldicos indica a natureza oolítica dos componentes aloquímicos. Em (b), arenito médio híbrido oolítico-intraclástico. Em (c), grãos angulosos siliciclásticos indicando pouco retrabalhamento ou transporte por suspensão. Em (d) dolomita romboédrica e quartzo microcristalino preenchendo porosidade intergranular/interpartícula, além de crescimentos de quartzo circundando grãos.....	41
Figura 17: Fotomicrografias dos litotipos conglomerado intraclástico. Esse litotipo apresenta abundantes intraclastos carbonáticos oolíticos (a) e microbiais (a, b, c, d) de tamanho seixo e grânulo, sustentado pelas partículas. À parte dos intraclastos, ocorrem oolitos, ooides compostos e peloides, bem como areia fina siliciclástica.	42
Figura 18: Descrição, características principais e interpretação da fácies Gm.	43
Figura 19: Descrição, características principais e interpretação da fácies Gt.	44
Figura 20: Descrição, características principais e interpretação da fácies St.	45
Figura 21: Descrição, características principais e interpretação da fácies Sl.	46
Figura 22: Descrição, características principais e interpretação da fácies Sm.	47
Figura 23: Descrição, características principais e interpretação da fácies Scsc.	48
Figura 24: Descrição, características principais e interpretação da fácies Shcs.	49
Figura 25: Descrição, características principais e interpretação da fácies H.....	50
Figura 26: Descrição, características principais e interpretação da fácies STd.....	51
Figura 27: Descrição, características principais e interpretação da fácies STh.....	52
Figura 28: Associação de fácies de rampa intermediária distal (AF1).....	55
Figura 29: Associação de fácies de rampa intermediária proximal (AF2).....	57

Figura 30: Associação de fácies de rampa intermediária distal (AF3).....	59
Figura 31: Curvas de tendência dos valores gamaespectométricos.	61
Figura 32: Modelo deposicional de acordo com as associações de fácies da Gruta dos Cristais.....	63
Figura 33: Exemplo atual de rampa mista carbonático/siliciclástica. Fonte: Google Earth.....	64
Figura 34: Perfil colunar da gruta dos cristais com as interpretações de associações de fácies e ciclos estratigráficos de baixa frequência. O ciclo T-R, identificado na escala do perfil é marcado pelo intervalo transgressivo na base, registrado pelo aumento de espessura das associações de fácies intermediárias-distais até o intervalo onde aparece a primeira camada de estromatólitos colunares, marcando o início do intervalo regressivo.	67
Figura 35: Perfil colunar da gruta dos cristais com as interpretações de associações de fácies e ciclos estratigráficos de alta frequência.	68

QUADROS

Quadro 1: Associações de fácies e ambientes deposicionais da Formação Caboclo.....	19
Quadro 2: Descrição e interpretação das fácies sedimentares da Gruta dos Cristais.	39

TABELAS

Tabela 1: Dados brutos gamaespectométricos.	78
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivos	12
1.2. Justificativa.....	12
2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO	13
2.1. Localização	13
2.2. Contexto geológico.....	15
2.2.1. Geologia Regional	15
2.2.2. Formação Caboclo	18
3. ESTADO DA ARTE	23
3.1. Rampas carbonáticas.....	23
3.2. Mistura de sedimentos em plataformas marinhas	28
4. METODOLOGIA.....	32
4.1. Revisão bibliográfica	32
4.2. Trabalho de campo	32
4.3. Perfil colunar e análise de fácies.....	33
4.4. Microscopia óptica.....	36
4.5. Gamaespectrometria.....	37
5. RESULTADOS.....	38
5.1. Fácies.....	38
5.2. Associações de fácies.....	53
5.2.1. Rampa intermediária distal (AF1)	53
5.2.2. Rampa intermediária proximal (AF2)	56
5.2.3. Rampa interna (AF3)	58
5.3. Gamaespectrometria.....	60
6. DISCUSSÕES.....	62
6.1. Modelo Depositional	62
6.2. Evolução estratigráfica	65
7. CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	77

1. INTRODUÇÃO

Durante o proterozoico, inúmeras bacias ao redor do mundo desenvolveram mares epicontinentais rasos, caracterizados pela deposição carbonática ou por sucessões híbridas carbonáticas-siclioclástica (e.g BEUKES, 1987; SAYLOR, 2003). Nesse contexto marinho raso, a ação de ondas normais e de tempestade consistem em importantes processos de transporte, mistura e deposição de sedimentos carbonático e siliclásticos, conforme demonstram inúmeras sucessões proterozoicas descritas na bibliografia (e.g (BHATTACHARYA; BHATTACHARYA, 2005; DIBENEDETTO; GROTZINGER, 2005; HAINES, 1988). Apesar disso, ainda existem poucos estudos detalhando o modelo deposicional de rampas híbridas dominadas por ondas, tanto no que se refere aos mecanismos de mistura, quanto a que se refere ao zoneamento faciológico, principalmente ao que tange a distribuição espacial de depósitos estromatolíticos. Somado a isto, algumas sucessões proterozoicas híbridas dominadas por ondas apresentam um padrão cíclico na sedimentação, induzidos por movimentações transgressivas e regressivas da linha de costa. Essas movimentações provocam mudanças paleobatimétricas que são expressas estratigraficamente por modificações nas associações de fácies, cuja dinâmica não se encontra bem definida na bibliografia.

A Formação Caboclo, tema deste estudo, representa a entrada de um mar raso sobre o continente em ambiente transgressivo. Fazem parte desta formação conjuntos de estromatólitos estratiformes e colunares, descritos por Srivastava e Rocha (2002), de grande valor paleontológico. Rocha, Pereira e Srivastava (1990) reconheceram distintas associações de fácies, interpretadas como uma plataforma híbrida afetada por eventos de tempestade, servindo como estudo de caso para a definição de modelos deposicionais e da sucessão estratigráfica marinho raso dominadas por ondas. A caracterização dos depósitos da Formação Caboclo em um perfil colunar, a partir de conceitos atualizados de fácies sedimentares, permitirá a interpretação dos processos geradores, do ambiente deposicional, da colocação espacial destes depósitos no sistema e sua evolução estratigráfica, conforme detalharemos a seguir.

1.1. Objetivos

O objetivo deste trabalho é a caracterização faciológica e estratigráfica de uma seção da Formação Caboclo aflorante da Gruta dos Cristais. Como objetivos específicos, pode-se ressaltar:

- Reconhecer as associações de fácies que constituem os depósitos estudados;
- Definir um modelo deposicional;
- Analisar a evolução estratigráfica e reconhecer escalas de ciclicidades ao longo do intervalo de interesse.

1.2. Justificativa

O detalhamento faciológico da Gruta dos Cristais justifica-se por contribuir com informações sobre as condições deposicionais e a evolução paleoambiental do intervalo costeiro afetado por ondas de tempestade da Formação Caboclo. Os resultados obtidos nessa pesquisa podem auxiliar em futuras interpretações sobre as rochas do Proterozoico.

2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. Localização

O afloramento escolhido para o trabalho encontra-se na mesorregião Centro Norte Baiano, ao sul do município de Morro do Chapéu, já no limite territorial do município de Bonito (Figuras 1 e 2). A partir de Salvador, o acesso se dá via BR-234 até o município de Feira de Santana (115 km), BA-052 até Morro do Chapéu (279 km) e BA-144 sentido sul até o povoado de Catuaba (47 km); deste povoado, seguir estrada de chão batido no sentido de Cafarnaum até a Fazenda Cristal (5 km).

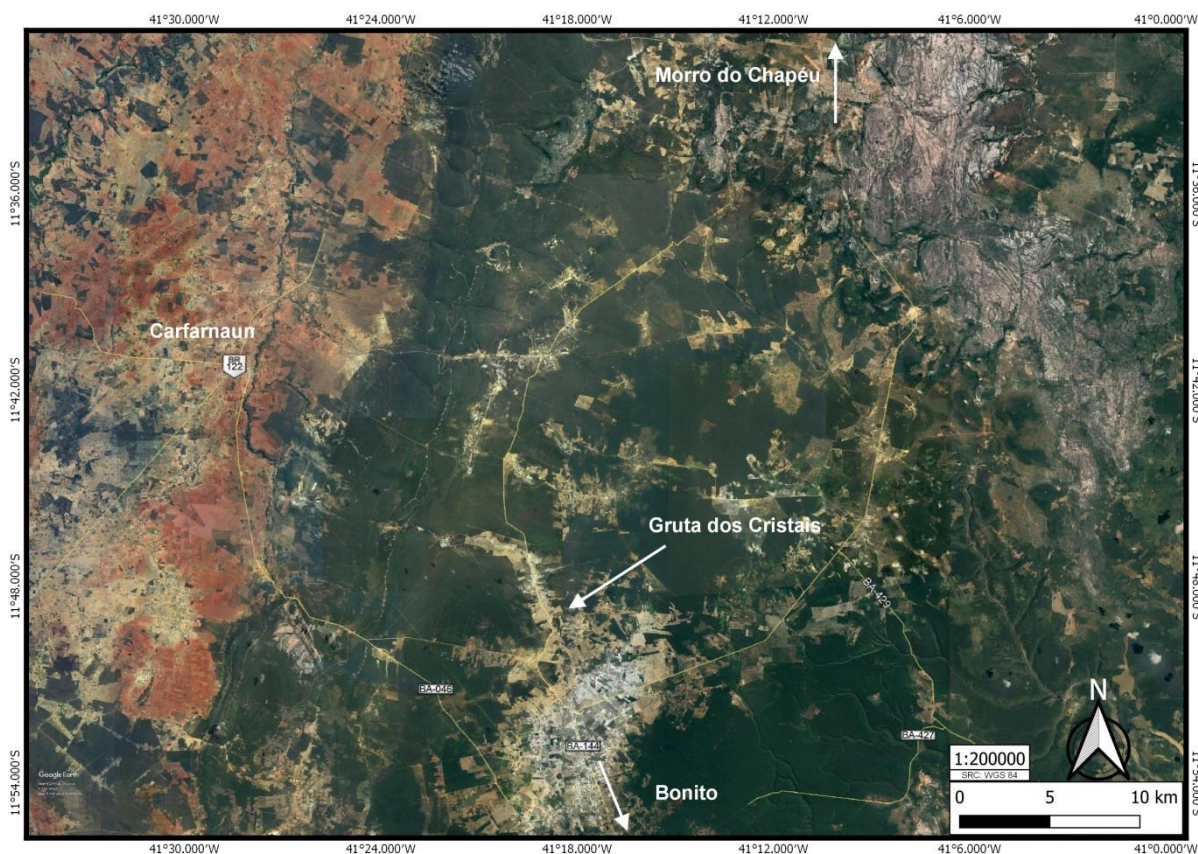


Figura 1: Localização do afloramento em relação às localidades de Morro do Chapéu, Cafarnaum e Bonito. Imagem de satélite do Google.

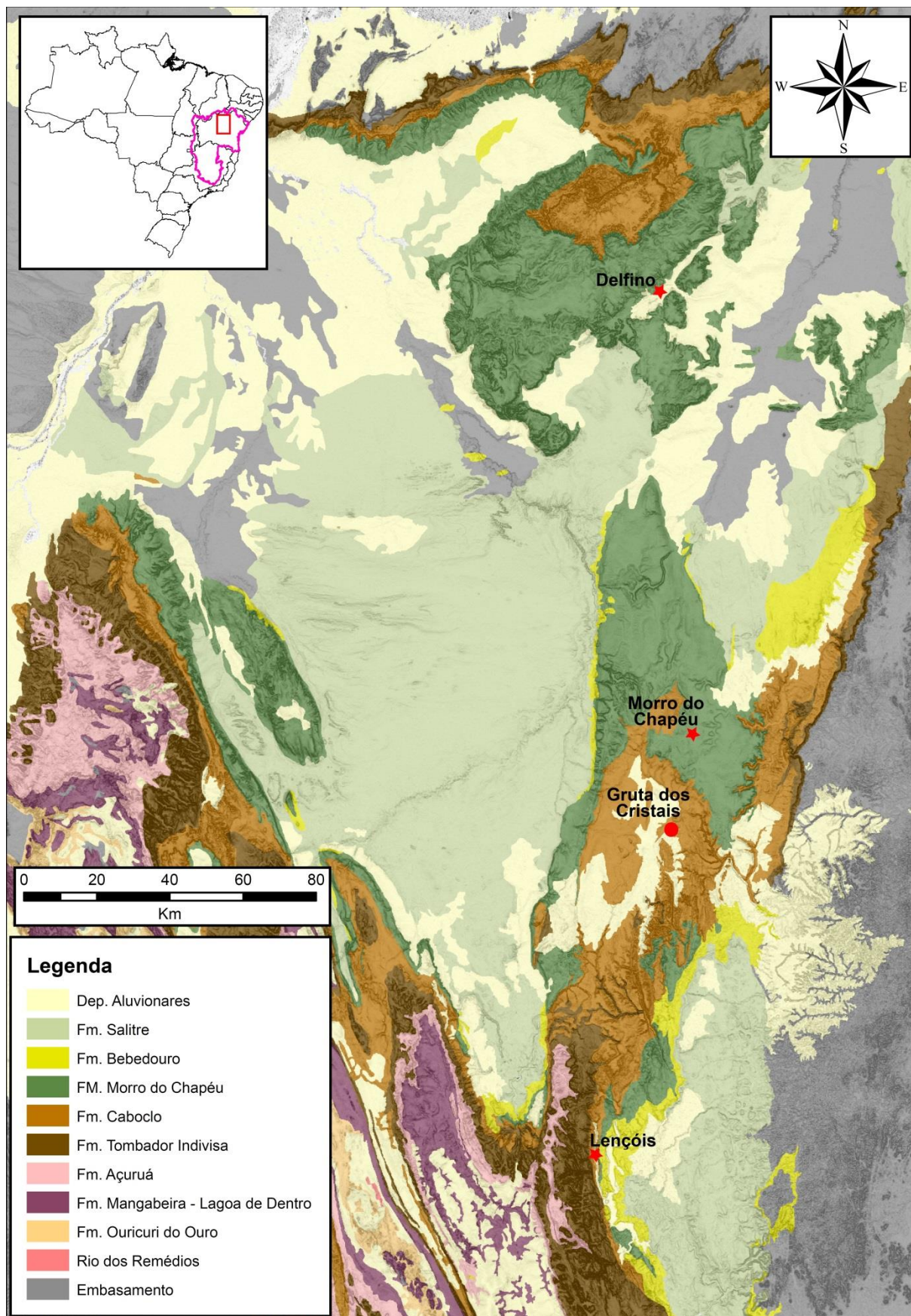


Figura 2: Mapa geológico regional com a localização da Gruta dos Cristais. Modificado de CPRM 2003.

2.2. Contexto geológico

2.2.1. Geologia Regional

O domínio tectônico que corresponde ao embasamento da área de estudo compreende o Cráton do São Francisco (Almeida, 1967, 1977), unidade tectônica mais bem estudada e exposta da Plataforma Sul-Americana. Juntamente com o Cráton do Congo, formaram uma massa continental estável aglutinada durante o Arqueano e Paleoproterozoico, como parte do supercontinente Rodínia (BRITO NEVES; CAMPOS NETO; FUCK, 1999), e tiveram sua separação no Cretáceo durante a abertura do Oceano Atlântico.

O cráton se estende principalmente pelos estados da Bahia e Minas Gerais, abrangendo também parte dos estados de Goiás, Piauí, Sergipe, Pernambuco e Tocantins. Seus limites geológicos são marcados pelas faixas móveis Brasilianas (Figura 3): ao sul e oeste pela faixa Brasília, a noroeste pela faixa Rio Preto, a norte pelas faixas Riacho do Pontal e Sergipana e a sudeste pela faixa Araçuaí. Ao leste, o cráton limita-se pela margem passiva da Plataforma Sul-Americana. O embasamento do cráton, também denominado Pré-Espinhaço (Cordani e Brito Neves, 2018) é composto por terrenos metamórficos de médio a alto-grau e granitoides arqueanos e paleoproterozoicos, sobrepostos em seu interior por coberturas proterozoicas e fanerozoicas.

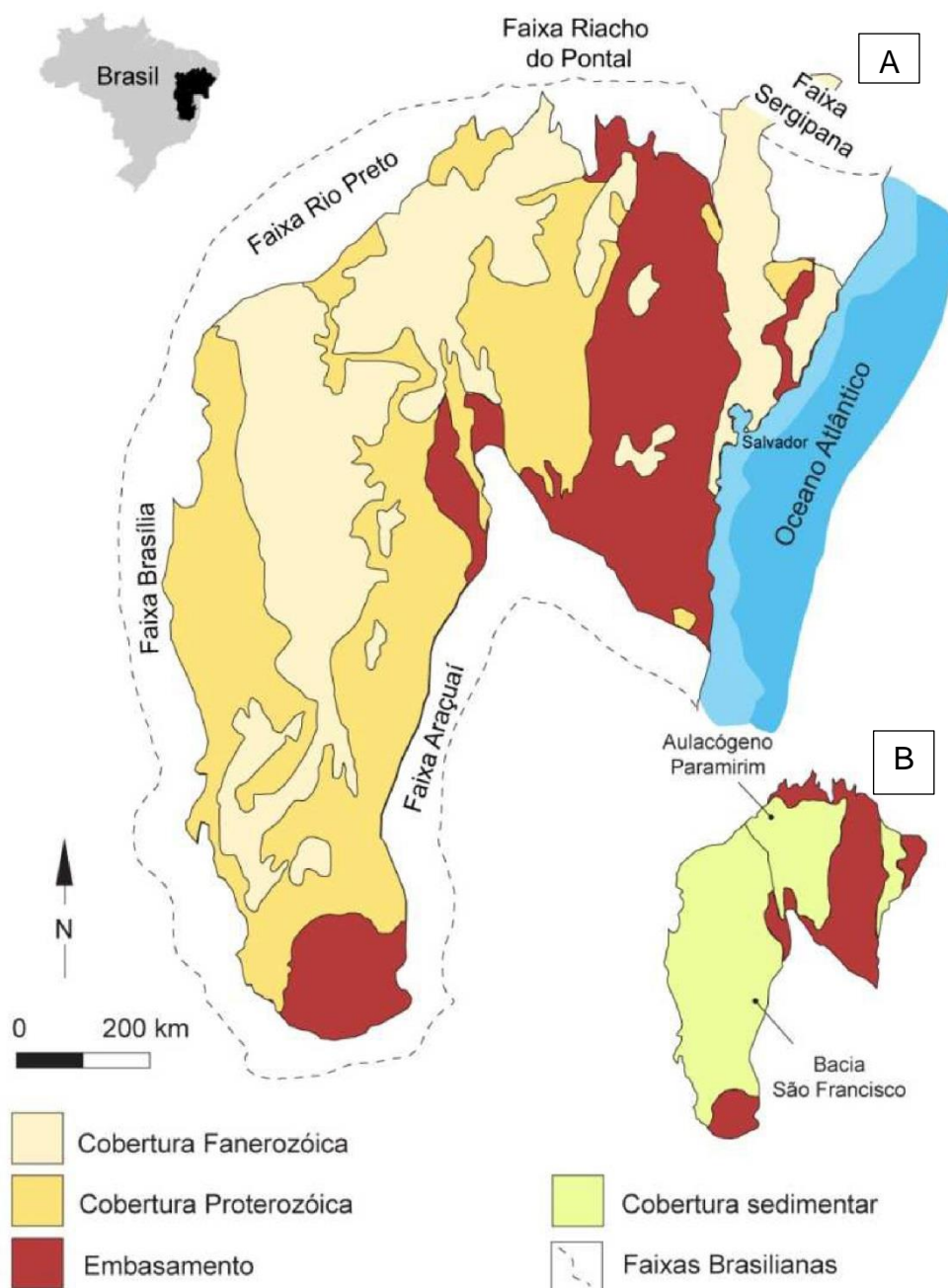


Figura 3: A) Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco. B) Localização dos domínios morfotectônicos do Aulacógeno do Paramirim e Bacia do São Francisco. Modificado de Alkmim e Martins-Neto (2001).

As coberturas sedimentares que preenchem o cráton ocorrem em domínios morfotectônicos distintos, separados pelo Corredor do Paramirim: o Aulacógeno do Paramirim e a Bacia do São Francisco (CRUZ; ALKMIM, 2006; SCHOBENHAUS, 1996). Embora apresentem uma separação física, ambos os domínios registram de forma semelhante coberturas metassedimentares pré-cambrianas e fanerozoicas. O

Aulacógeno do Paramirim representa a grande morfoestrutura ao norte e corresponde a duas bacias do tipo rifte superpostas e parcialmente invertidas, enquanto a Bacia do São Francisco corresponde ao segmento alongado NS do cráton.

O Aulacógeno do Paramirim, originalmente denominado Aulacógeno do Espinhaço (DA COSTA; INDA, 1982) é a região ao norte do cráton que abriga a Serra do Espinhaço Setentrional, os vales do Paramirim e do São Francisco e a Chapada Diamantina (CRUZ; ALKMIM, 2006). É limitado a NNW pelas faixas Rio Preto e Riacho do Pontal, e a SSE pela faixa Araçuaí. As unidades de preenchimento que compõem o aulacógeno são os Supergrupos Espinhaço e São Francisco, aflorantes ao longo dos estados da Bahia e Minas Gerais.

A área de estudo integra o Supergrupo Espinhaço, localizada na porção leste do aulacógeno, denominada Chapada Diamantina Oriental. Essa região abriga rochas predominantemente siliciclásticas dos Grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina, e rochas carbonáticas do Grupo Una. Formam um pacote de metassedimentos proterozoicos que ultrapassam 2.000 m de espessura e cobrem as rochas gnáissicas, migmatíticas e graníticas do embasamento arqueano-paleoproterozóico, aflorante nas bordas NE, E, S e SW da Chapada.

O Supergrupo Espinhaço é dividido em três domínios: Espinhaço Meridional, Espinhaço Setentrional e Chapada Diamantina (Figura 4). Os domínios Espinhado Meridional e Setentrional posicionam-se a oeste do Corredor de Deformação do Paramirim e apresentam um grau de metamorfismo e deformação mais expressivo do que a leste do corredor, onde posiciona-se o domínio da Chapada Diamantina. Na Chapada Diamantina, o Supergrupo Espinhaço é segmentado em três grupos, que registram uma série de bacias *rift-sag* com início de formação entre 1.8 e 1.6 Ga: Grupo Rio dos Remédios, Grupo Paraguaçu e Grupo Chapada Diamantina. Essas unidades estão relacionadas ao evento orogênico Transamazônico e registram, da base para o topo, sequências vulcanosedimentares continentais do Grupo Rio dos Remédios (BABINSKI et al., 1999). Depósitos marinho raso, deltaico, fluvial e eólico do Grupo Paraguaçu (BABINSKI et al., 1999). O Grupo Chapada Diamantina (topo do Supergrupo Espinhaço) subdivide-se da base para o topo nos depósitos continentais da Formação Tombador, depósitos marinhos rasos de

ambiente transgressivo da Formação Caboclo e depósitos estuarinos e fluviais da Formação Morro do Chapéu (GUADAGNIN et al., 2015).

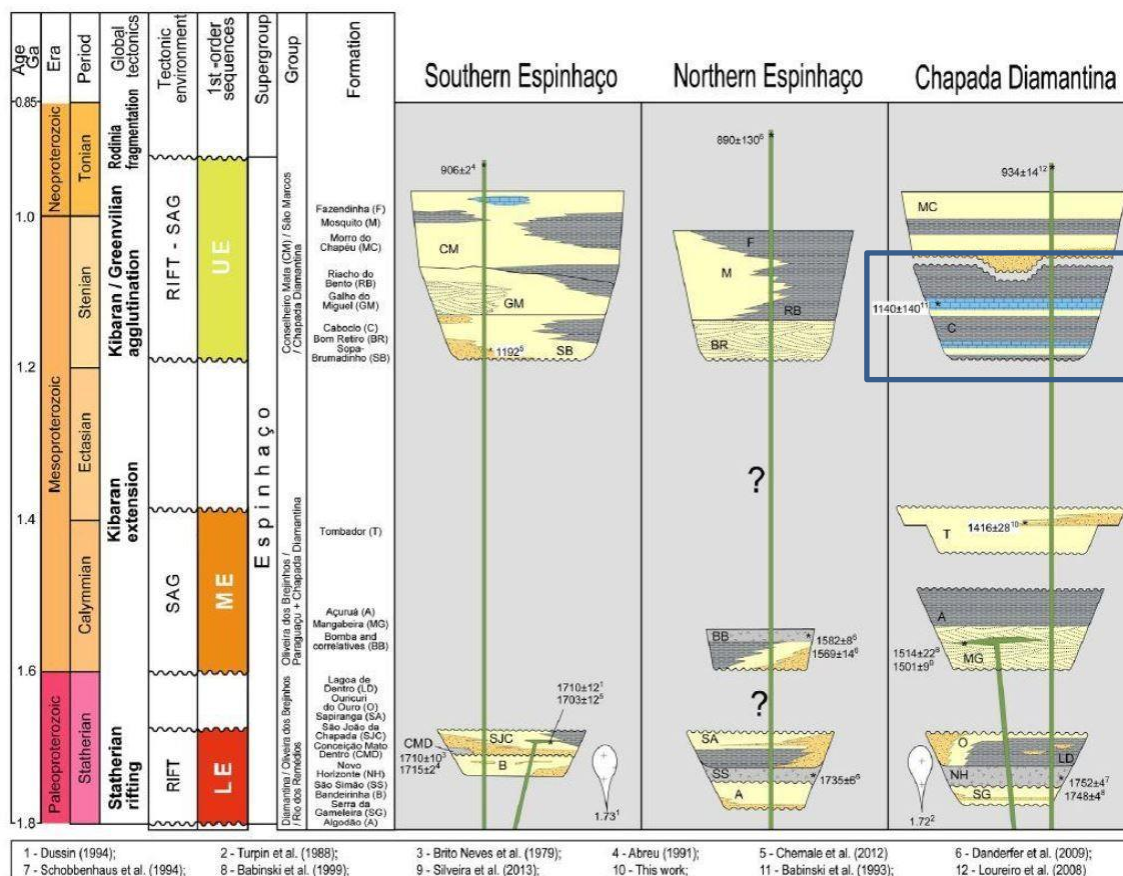


Figura 4: Coluna estratigráfica do Supergrupo Espinhaço. A Formação Caboclo está indicada pelo polígono azul. Modificado de Guadagnin et al (2015).

2.2.2. Formação Caboclo

A Formação Caboclo foi descrita primeiramente por Branner (1910), tendo sua seção de referência na Serra do Tombador. Essa unidade registra eventos transgressivos da entrada de um mar raso sobre os depósitos deltaicos da Formação Tombador. As idades geocronológicas da Formação Caboclo foram obtidas por Babinski (1993) 1.290 Ma., e por Macedo e Bonhomme (1984) 960 Ma.

De acordo com Rocha, Pereira e Srivastava (1990), os depósitos marinhos representam uma plataforma mista carbonática/siliciclástica dominada por eventos de tempestade, possuindo uma espessura de aproximadamente 400 metros (SRIVASTAVA; ROCHA, 1999). Schobbenhaus (1996) (Figura 5) registra a ocorrência de duas discordâncias no interior da formação, que representam o rebaixamento do nível do mar e a formação de vales incisos com depósitos fluviais, superpostos por laminitos algais e calcarenitos oolíticos de ambientes inter e supra-maré e argilitos e arenitos de ambiente marinho plataformal.

A formação é caracterizada pela predominância de depósitos de pelitos, siltitos e arenitos, subordinadamente ocorrem conglomerados e carbonatos biogênicos. Os arenitos são bem selecionados, de granulometria fina a média, com estratificações cruzadas de baixo ângulo ou plano-paralelas, com marcas onduladas no topo e base por vezes erosiva. Os pelitos formam camadas laminadas lateralmente contínuas. De acordo com Rocha (1998), a formação é composta por dez associações de litofácies (Quadro 1).

Quadro 1: Associações de fácies e ambientes deposicionais da Formação Caboclo.

Associações de fácies	Ambiente deposicional
Laminito algal – estromatólito colunar	Supra a submaré (topo)
Lamito-Arenito	Marinho profundo
Laminito Algal-Calcarenito Oolítico	Supra a intermaré
Arenito Conglomerático	Fluvial <i>braided</i>
Lamito-Arenito	Marinho profundo
Laminito Algal-Calcarenito Oolítico	Supra a intermaré
Arenito Conglomerático	Fluvial <i>braided</i>
Lamito-Arenito	Marinho profundo
Siltito Lenticular Amalgamado	Submaré
Laminito Algal-Calcarenito-Estromatólito Colunar	Supra a submaré (base)

Fonte: Srivastava e Rocha (1999)

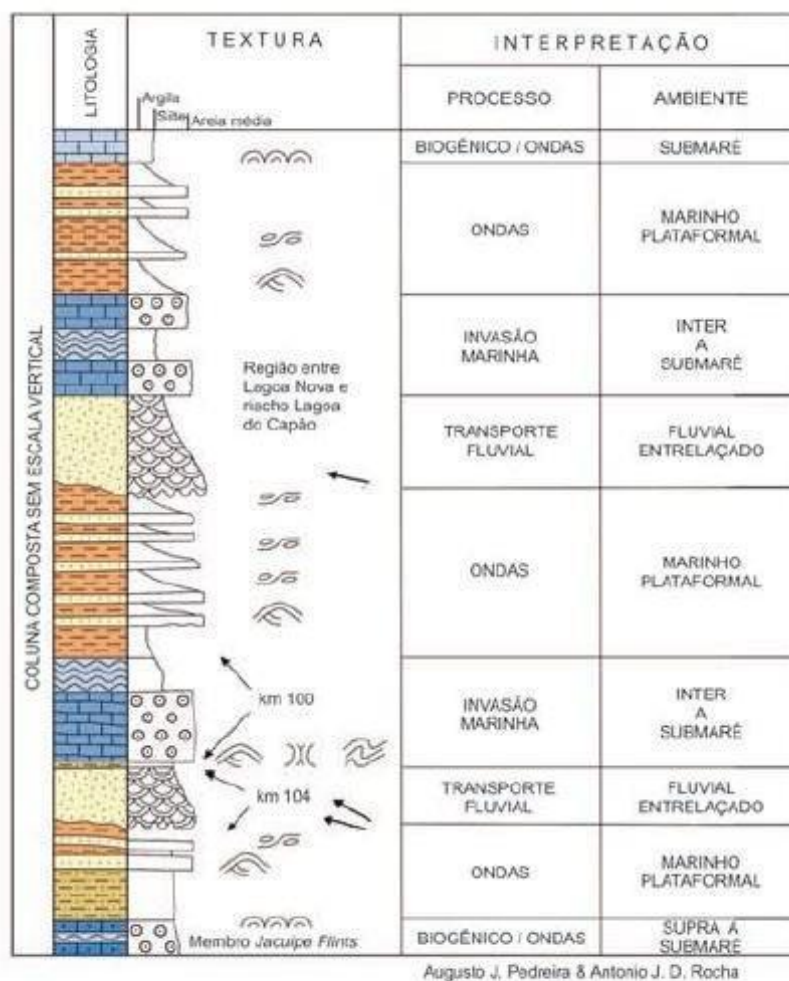


Figura 5: Seção composta estratigráfica da Formação Caboclo com a interpretação de processos e ambientes deposicionais. Fonte: Schobbenhaus (1996).

O afloramento da Gruta dos Cristais (Figuras 1, 2, 6 e 7) encontra-se a aproximadamente 50 km ao sul da cidade de Morro do Chapéu, entre essa cidade e os municípios de Bonito e Cafarnaum. Essa seção representa a base da Formação Caboclo e foi descrita como carbonatos silicificados, denominados *Jacuípe Flints* por Branner (1910). O sítio geológico registra exposições de estromatólitos na forma de bioermas e biostromas, colunares e estratiformes, e são um exemplo de associação

de estromatólitos carbonáticos com estruturas sedimentares de tempestade (SRIVASTAVA; ROCHA, 1999).



Figura 6: Afloramento da Gruta dos Cristais. A) Visão geral do afloramento a partir da entrada do sítio. B) Parte interna da gruta, escala humana na altura de base onde se iniciou a seção colunar. C) Parte lateral de transição da saída da gruta para a zona escarpada. D) Porção superior do afloramento, o topo da seção encontra-se na parte superior esquerda da foto.

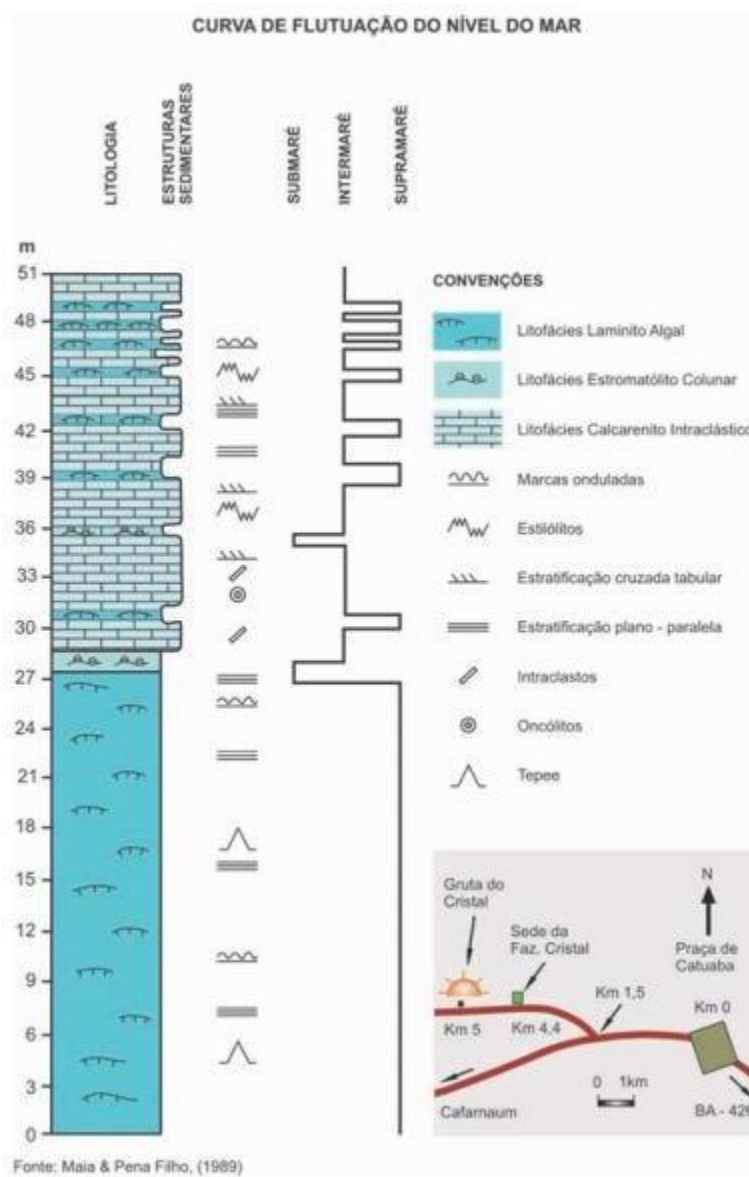


Figura 7: Estratigrafia e associação de litofácies da base da Formação Caboclo na Gruta dos Cristais. Fonte: Maia e Pena Filho (1989).

3. ESTADO DA ARTE

3.1. Rampas carbonáticas

Em um contexto de ambiente deposicional marinho raso, que compreende a zona desde a linha de costa até a quebra do talude em uma plataforma continental, as rampas carbonáticas são um tipo de plataforma sem uma quebra de relevo marcada e com baixa inclinação (geralmente inferior a 1°). Essas morfologias passaram a ser discutidas a partir de AHR (1973), como uma alternativa ao modelo clássico de plataforma rasa escarpada, a exemplo dos depósitos recentes na costa da Flórida e Bahamas.

Exemplos modernos de rampas carbonáticas (Figura 8) podem ser encontrados em ambientes de alta salinidade, que impedem a crescimento de recifes, como no Golfo Pérsico e em *Shark Bay*, e em ambientes de baixa temperatura de água marinha, como no sul da Austrália e Nova Zelândia e oeste da Flórida. Podem ser subdivididas de acordo com seu perfil morfológico longitudinal, sendo distalmente escarpadas ou homoclinais, sem a quebra do relevo (BURCHETTE; WRIGHT, 1992; READ, 1985) e são reconhecidas como um morfotipo de valor econômico pelo seu registro como reservatório de hidrocarbonetos e hospedeira de depósitos minerais (BURCHETTE; WRIGHT, 1992).

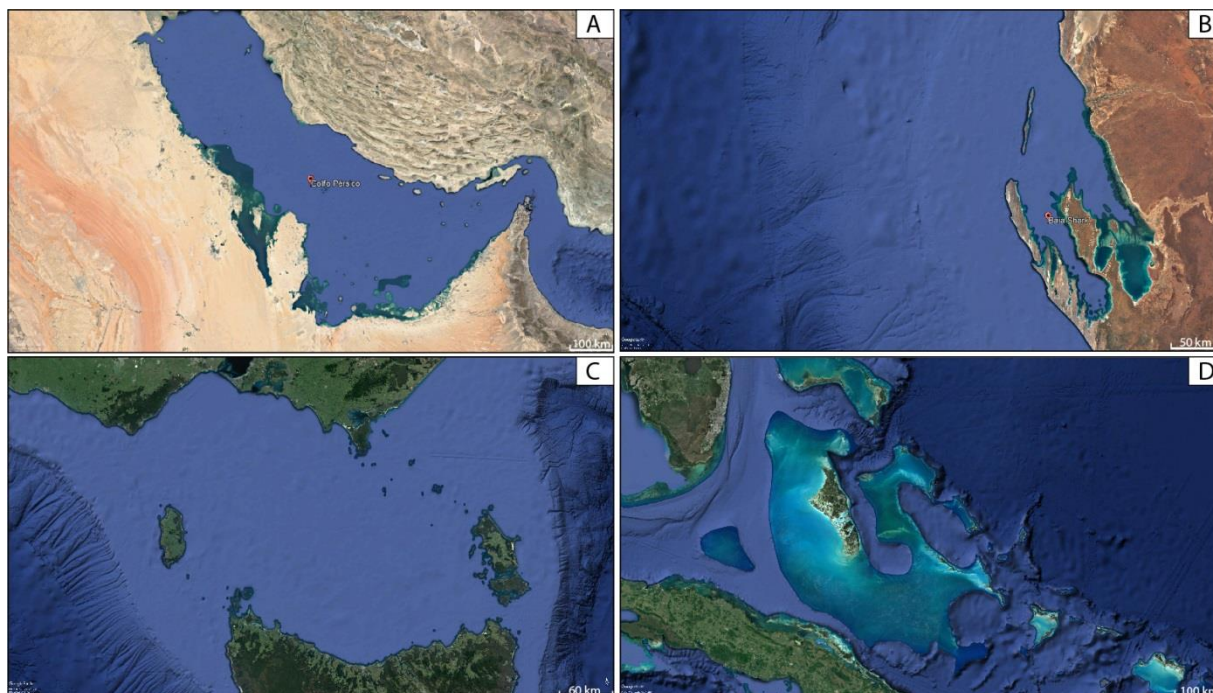


Figura 8: Exemplos modernos de rampas carbonáticas. A) Golfo Pérsico; B) Shark Bay, Austrália; C) Parte do litoral SE da Austrália; e D) Exemplo de uma plataforma carbonática escarpada nas Bahamas. Imagens de satélite do Google Earth.

Para Flügel (2013), as principais características de uma rampa carbonática são:

- Declividade suave, responsável pela passagem gradual dos depósitos rasos de alta energia (dominantemente *grainstones*) para depósitos de baixa energia em água profunda (*mudstones*);
- Produção carbonática contínua nas zonas de rampa interna e intermediária;
- Depósitos de alta energia gerados por tempestade dominantes na rampa interna e intermediária;
- Produção carbonática autóctone por organismos bentônicos na rampa externa;
- Sedimentos de água rasa remobilizados para zonas mais profundas da rampa;
- Acumulações esparsas e discretas (*mud mounds* e *pinnacle reefs*).

	RAMPA INTERNA			RAMPA INTERMEDIÁRIA	RAMPA EXTERNA	BACIA
	Planície de maré <i>Sabkha</i>	Ambiente Lagunar	Banco de areia			Nível do mar
	Tapetes algais e evaporitos		Acumulação de bioclastos e ooides	Lama	Lama	Base de ondas de tempo bom Base de ondas de tempestade
Estruturas sedimentares	Laminação, gretas de ressecamento	Camada irregular com bioturbação	Estratificação cruzada	Estratificação cruzada e <i>Hummocky</i>	Laminação, bioturbação	Laminação
Principais texturas carbonáticas	<i>Mudstones</i> , <i>bindstones</i> , <i>grainstones</i>	<i>Wackestones</i> , <i>mudstones</i>	<i>Wackestones</i> , <i>packstones</i> , <i>grainstones</i>	<i>Wackestones</i> , <i>grain/packstones</i> ressedimentados e <i>mudstones</i>		<i>Mudstones</i> , <i>bindstones</i> , <i>grainstones</i>
Energia deposicional	Baixa e alta	Baixa	Baixa e alta	Baixa e alta	Baixa	Baixa
Processo deposicional	Bioconstrução e precipitação química	Decantação	Ressedimentação	Depósitos induzidos por ondas de tempestade	Raros depósitos induzidos por ondas de tempestade,, depósitos induzidos por corrente de turbidez	Decantação

Figura 9: Subdivisões de plataformas carbonáticas com morfologia do tipo rampa. Retirado de Ligabue (2016), adaptado de (FLÜGEL, 2013).

Segundo Burchette e Wright (1992), uma rampa carbonática pode ser dividida em três segmentos: rampa interna, rampa intermediária e rampa externa (Figura 9). As interfaces que dividem os segmentos da rampa carbonática são as profundidades relativas ao nível de base de tempo bom e o nível de base de tempestade. Essas profundidades variam de acordo com as condições climáticas e hidrodinâmicas de um ambiente deposicional. Embora os limites dos segmentos da rampa carbonática sejam gradacionais, o processo dominante em cada segmento possui características sedimentares identificáveis no registro geológico. A Figura 9 apresenta um esquema posicionando os segmentos de uma rampa carbonática e suas principais características, descritas abaixo:

- **Rampa interna:** localizada na zona fótica entre a linha de costa (praial ou lagunar e o nível de base de tempo bom. Nessas regiões o leito marinho é constantemente afetado pela ação de ondas e correntes. Pode apresentar um complexo laguna-barreira e planície de maré (zona de *ante-rampa* ou *back-ramp*) que se interdigitam lateralmente com depósitos de shoreface superior. Caracteristicamente, os sedimentos se acumulam sob condições de água agitada. A energia deposicional pode variar de alta a baixa, ocorrendo acumulação de bioclastos ou oóides. As estruturas dominantes são

estratificações cruzadas, e as texturas dominantes são *grainstones*, *wackestones* e *packstones*.

- Rampa intermediária: compreende a zona entre o nível de base de tempo bom e o nível de base de tempestade, em uma profundidade de até poucas dezenas de metros. O leito marinho é frequentemente retrabalhado pela ação de ondas de tempestade e *swells*, remobilizando sedimentos rasos para partes mais profundas. É marcado pela presença de *packstone* e *grainstone* com de estratificação cruzada *hummocky* e laminações de marcas onduladas de onda, intercalados com sedimentos finos. Intraclastos e camadas brechadas são comuns. Fases de tempo bom são marcadas pela ocorrência de pelitos terrígenos e carbonáticos. Acumulações orgânicas (*mounds*) ocorrem na parte distal. Comumente depósitos de rampa intermediária são mais espessos que os depósitos contemporâneos de rampa interna.
- Rampa externa: localizada abaixo do nível de base de ação de ondas de tempestade, com profundidade que pode variar de algumas dezenas a centenas de metros. Dominam sedimentos carbonáticos de baixa energia alóctones (pelitos carbonáticos e terrígenos) e autóctones (acumulações orgânicas - mud mounds) e sedimentação hemipelágica. Pouca evidência direta de retrabalhamento por tempestade, podendo ocorrer raros depósitos de tempestitos distais.

A diferenciação entre as zonas da rampa pode ser feita a partir de uma análise granulométrica e estratigráfica dos depósitos, os quais estão ligados aos processos hidrodinâmicos citados acima. A profundidade que uma onda atinge o leito marinho e começa a gerar estruturas é relativa à metade do seu comprimento de onda, de modo que os sedimentos de fundo respondem ao movimento orbital das partículas abaixo da superfície da onda, movimentando-se para frente e para trás de uma maneira simétrica (Figura 10). O movimento orbital das partículas tende a ficar assimétrico conforme a onda chega a zonas mais rasas, aumentando o vetor energético para a o continente, fazendo com que os sedimentos arenosos e mais grossos concentrem-se próximos à costa e os sedimentos finos sejam depositados na direção da bacia (CLIFTON, 2007).

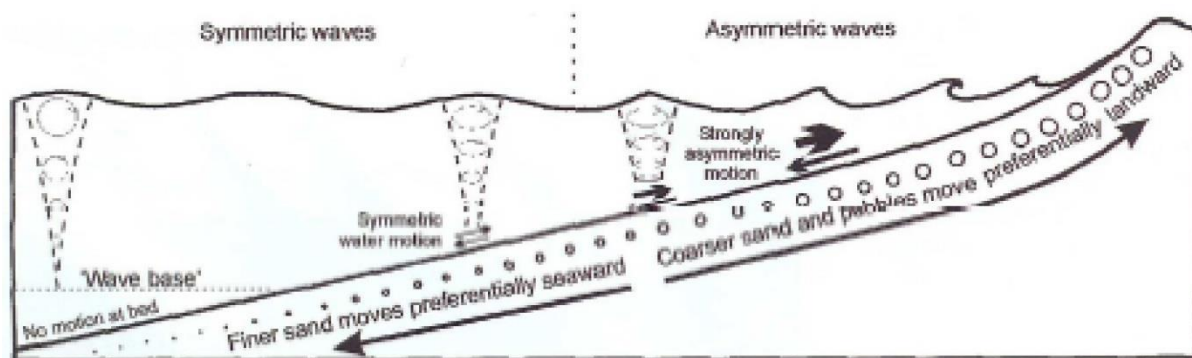


Figura 10: Comportamento das ondas em relação ao leito marinho. As estruturas sedimentares são mais assimétricas e a granulometria é mais grossa nas porções mais rasas. Fonte: Plint, James e Darlymple (2010)

A presença de estratificação cruzada hummocky nos depósitos sedimentares tem sido um critério fundamental para o reconhecimento de depósitos de tempestade em ambiente marinho (CHEEL; LECKIE; OTHERS, 1993). De acordo com Allen (1984, 1982), a sedimentação durante eventos de tempestade envolve três principais categorias de processos físicos:

- Efeitos barométricos: depressões ciclônicas que acompanham gradientes de pressão atmosférica, responsáveis pela elevação do nível da água próximo a linha de costa;
- Efeitos do vento: os efeitos de vento respondem pela combinação de dois processos:
 - i. Correntes paralelas à linha de costa (*longshore currents*);
 - ii. Correntes de retorno (*offshore currents*);
- Efeitos de onda: causam fluxo oscilatório ao longo do leito marinho, responsáveis pelo empilhamento e remobilização sedimentar.

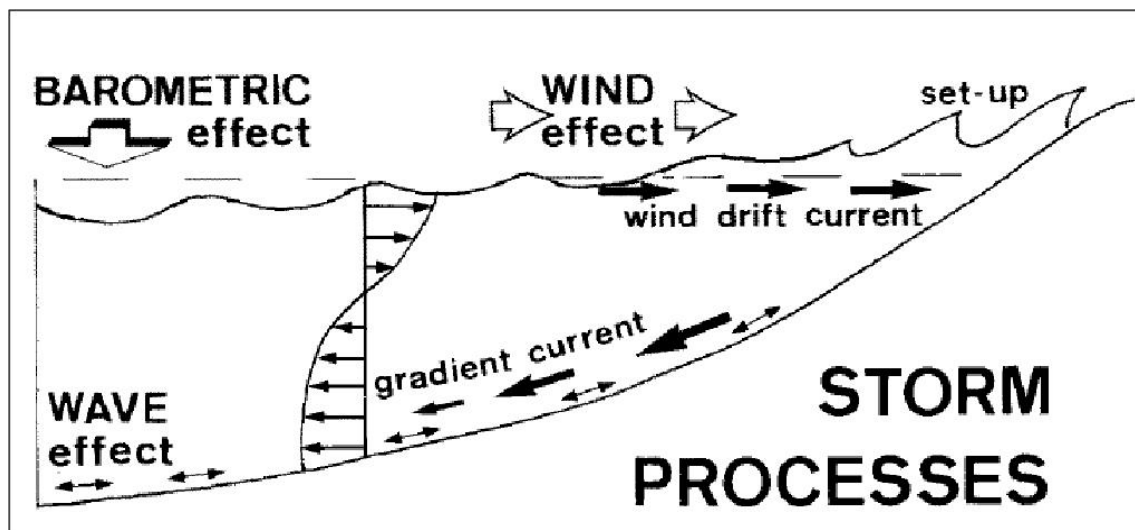


Figura 11: Efeitos físicos envolvidos na sedimentação durante uma tempestade. Retirado de Aigner (1985).

3.2. Mistura de sedimentos em plataformas marinhas

Uma abordagem comum para a classificação de rochas sedimentares é interpretá-las como componentes de um sistema fechado siliciclástico ou carbonático. Os sistemas de classificação utilizados amplamente para sedimentos siliciclásticos, são os diagramas ternários de Folk (1968), que levam em consideração as texturas e composição dos sedimentos, e Dickinson (1985), para a interpretação da sua proveniência. Para os sedimentos carbonáticos, são referências os diagramas de Dunham (1962) e Embry e Klovan (1971), para a descrição de granulometria dos componentes aloquímicos, presença e teor de matriz micrítica e relação da matriz com os aloquímicos. O diagrama modificado de Grabau (1904) e Bramkamp e Powers (1958), classificam de acordo com a granulometria dos aloquímicos, as relações granulométricas entre matriz e cimento, os tipos de aloquímicos, variações relativas a acessórios e processos diagenéticos principais.

Essa abordagem dualística tem embasamento no senso comum de que o aporte sedimentar siliciclástico afeta a taxa de crescimento de uma população carbonática e, por isso, os dois componentes não poderiam, salvo raras exceções, coexistir em um mesmo ambiente deposicional. Todavia, Ager (1973) mostra que a sedimentação de eventos catastróficos pode prevalecer no registro geológico, favorecendo a ocorrência de depósitos mistos ou híbridos.

Zuffa (1980) classificou como depósitos mistos ou híbridos pacotes com componentes extrabaciais (terrígenos ou epiclásticos) e intrabaciais (autóctones ou parautóctones). Já os estudos de Mount (1984), analisando plataformas marinhas rasas recentes e antigas, mostram que esse tipo de registro são comuns. O autor apresenta quatro tipos principais de processos de mistura de sedimentos: mistura pontual, mistura de fácies, mistura *in situ* e mistura de fonte. A Figura 12 apresenta um esquema ilustrativo para os tipos de mistura de sedimentos, sendo eles:

- Mistura pontual: eventos catastróficos, raros e de alta energia como tempestades são eficientes mecanismos de transferência de uma grande quantidade de sedimentos de uma porção para outra da bacia. Por exemplo, a remobilização de sedimentos siliciclásticos rasos para um ambiente carbonático distal e relativamente profundo (KREISA, 1981). Erosão de um recife ou banco de areia no *shoreface* e deposição em ambiente lagunar predominantemente siliciclástico. A periodicidade desses eventos tem um papel importante na gênese da mistura, pois permite que uma fábrica carbonática estabelecida no substrato não seja “envenenada” por um constante aporte siliciclástico, a exemplo da plataforma interna da Venezuela (Weiss et al., 1978).
- Mistura de fácies: transição lateral de ambientes deposicionais contemporâneos. Embora o contato gradacional seja previsto pela Lei de Walther (MIDDLETON, 1973), existem raros registros desse tipo de mistura. Para o autor, a escassez desse tipo de registro ocorre por dois motivos: (1) A mudança de fácies ocorre sob mudanças nas condições deposicionais da plataforma, envolvendo migração rápida de ambientes e erosão, a exemplo os depósitos quaternários da plataforma de Belize (CHOI e GISBURG, 1982). (2) A transição lateral entre ambientes carbonáticos e siliciclásticos é muito abrupta, a mistura de sedimentos pode não ficar preservada, a exemplo dos sedimentos recentes da costa da Nicarágua (ROBERTS; MURRAY, 1983).
- Mistura *in situ*: ao invés de uma transferência lateral de uma fácies para outra, a mistura *in situ* envolve a formação local de sedimentos misturados. Ocorre comumente em ambientes lamosos de submaré, pela interação entre

organismos e sedimentos derivados de correntes marinhas. Esteiras microbiais, responsáveis pela produção de carbonato de cálcio e captura e cimentação (*trapping and biding*) de materiais siliciclásticos. Sepkoski (1982) indica que a erosão e retrabalhamento destes sedimentos produzem intraclastos carbonáticos ou conglomerados intraformacionais com uma matriz siliciclástica. Outro fator importante é a precipitação inorgânica de cimento carbonático em um leito siliciclástico;

- Mistura de fonte: na qual um terreno carbonático soerguido e erodido, alimentando, na forma de um componente clástico, uma sistema plataformal marinho siliciclástico.

Sendo assim, a mistura de sedimentos pode ser gerada pela ação de tempestades, pela mistura ao longo das margens de fácies contrastantes, pela acumulação *in situ* de organismos carbonáticos, e pelo soerguimento e erosão de fontes carbonáticas. Ainda, pode ocorrer pela combinação desses processos. O entendimento dos mecanismos geradores, diversidade e a ampla ocorrência de mistura de sedimentos contribui com informações importantes sobre a dinâmica deposicional e variações do nível de base, taxas de sedimentação e subsidências regionais (KENDALL; SCHLAGER, 1981; WALKER; SHANMUGAM; RUPPEL, 1983). A análise de texturas e composição desses depósitos híbridos, suas distribuições temporais e espaciais, podem ser uma importante ferramenta para estudos paleobotânicos e paleoambientais (MOUNT, 1984).

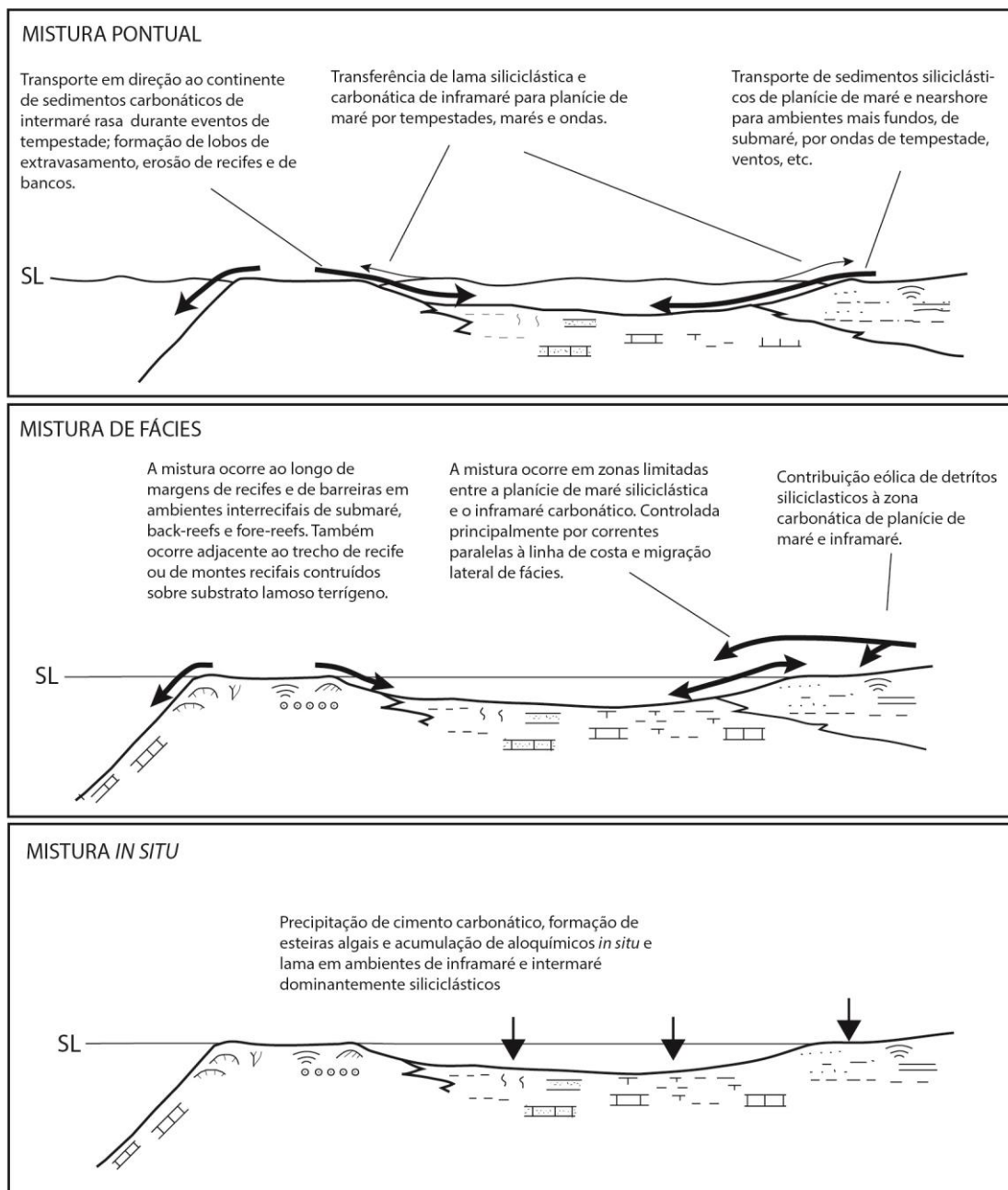


Figura 12: Processos de mistura de sedimentos em plataformas escarpadas. Adaptado de Mount (1984).

A interação entre os diferentes processos de mistura em um mesmo setor deposicional possibilita uma ampla variação lateral e vertical no registro sedimentar. Segundo Chiarella (2017), a mistura de sedimentos é controlada por fatores alocíclicos (clima, variação do nível do mar) e/ou autocíclicos (processos deposicionais). Essa mistura pode ser de caráter composicional ou estratal e pode ocorrer três ordens de escala observáveis: escala de lâminas (centimétrica); escala de fácies (decimétrica a métrica); escala estratigráfica (sísmica).

4. METODOLOGIA

O presente trabalho buscou realizar a caracterização de uma seção de 46 metros de afloramento na Gruta dos Cristais, em Morro do Chapéu, de acordo com os métodos descritos a seguir.

4.1. Revisão bibliográfica

A etapa de revisão bibliográfica foi realizada durante todo o projeto. Nas fases iniciais do projeto, a revisão teve como fundamento o entendimento do estado da arte do tema proposto. A partir da etapa de campo e coleta de dados, a pesquisa priorizou o entendimento e a interpretação dos resultados obtidos, através da comparação com trabalhos realizados por outros autores no mesmo tema. A bibliografia compilada ficou catalogada por temas no servidor virtual do grupo de pesquisa vinculado ao projeto.

4.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 22 de abril e 1 de maio de 2019 na região de Morro do Chapéu, Bahia. A preparação para a coleta de dados de campo envolveu a identificação de rotas de acesso ao afloramento, utilizando o *software Google Earth*, compilação de mapas geológicos e cartográficos da região, disponíveis de pesquisas já realizadas pelo grupo de pesquisa e por outros autores. As atividades de campo consistiram em aquisição de dados estratigráficos através do levantamento de um perfil colunar, coleta de dados gamaespectométricos amarrados ao perfil colunar, e amostragem de litofácies para confecção de lâminas delgadas.

4.3. Perfil colunar e análise de fácies

A coleta de dados estratigráficos foi realizada a partir da elaboração de um perfil colunar, que consiste em uma representação gráfica da sucessão vertical dos pacotes sedimentares no afloramento. A espessura dos pacotes é representada no eixo vertical do diagrama, enquanto o tamanho de grão é representado pelo eixo horizontal. Demais características litológicas e dados de campo são representados, como estruturas sedimentares e geometria dos pacotes, código de fácies, código de fotografias, código de dados gamaespectométricos, unidade amostrada e descrições de fácies. O perfil colunar foi elaborado utilizando uma folha modelo de descrição de afloramentos (Figura 13).

COLUNA ESTRATIGRÁFICA		SEÇÃO/UNIDADE:		NOMES:	
ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS M Maciço Lam. Plano Paralela Lam. Cruz. de ripples Ripples assimétricas Ripples simétricas E.Cruz. Baixo Ângulo			ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS Estratificação horizontal Estratificação cruzada de baixo ângulo Estratificação cruzada planar Estratificação cruzada tangencial Estratificação cruzada acanalada Estruturas de adesão		Ponto: Coord. UTM E: N: Data: Escala:
ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS DEFORMACIONAIS E. Cruzada Planar E. Cruz. Tangencial E. Cruz. Acanalada Lam. Ondulada Truncada Estrutura de Carga Estrutura em Chama			Fluidização Lam. Convoluta Escorregamento		
Área Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag		Cód. Fácies	Paleocorrente Estruturas	Fotos Amostras	Assoc. de fácies
DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					
Área Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag					

Figura 13: Modelo para descrição de perfil colunar.

O perfil colunar foi levantado em escala 1:20 e totalizou 46 metros de espessura. A metodologia utilizada para a nomenclatura de fácies foi adaptada de Miall (1996), na qual adota-se um código para cada fácies, sendo a primeira letra maiúscula, representando a granulometria, e a segunda letra minúscula, representando estrutura ou textura. A interpretação dos dados faciológicos, o

agrupamento em associações de fácies e a proposição de um modelo deposicional seguem o fluxograma (Figura 14) proposto por Walker e James (1992).

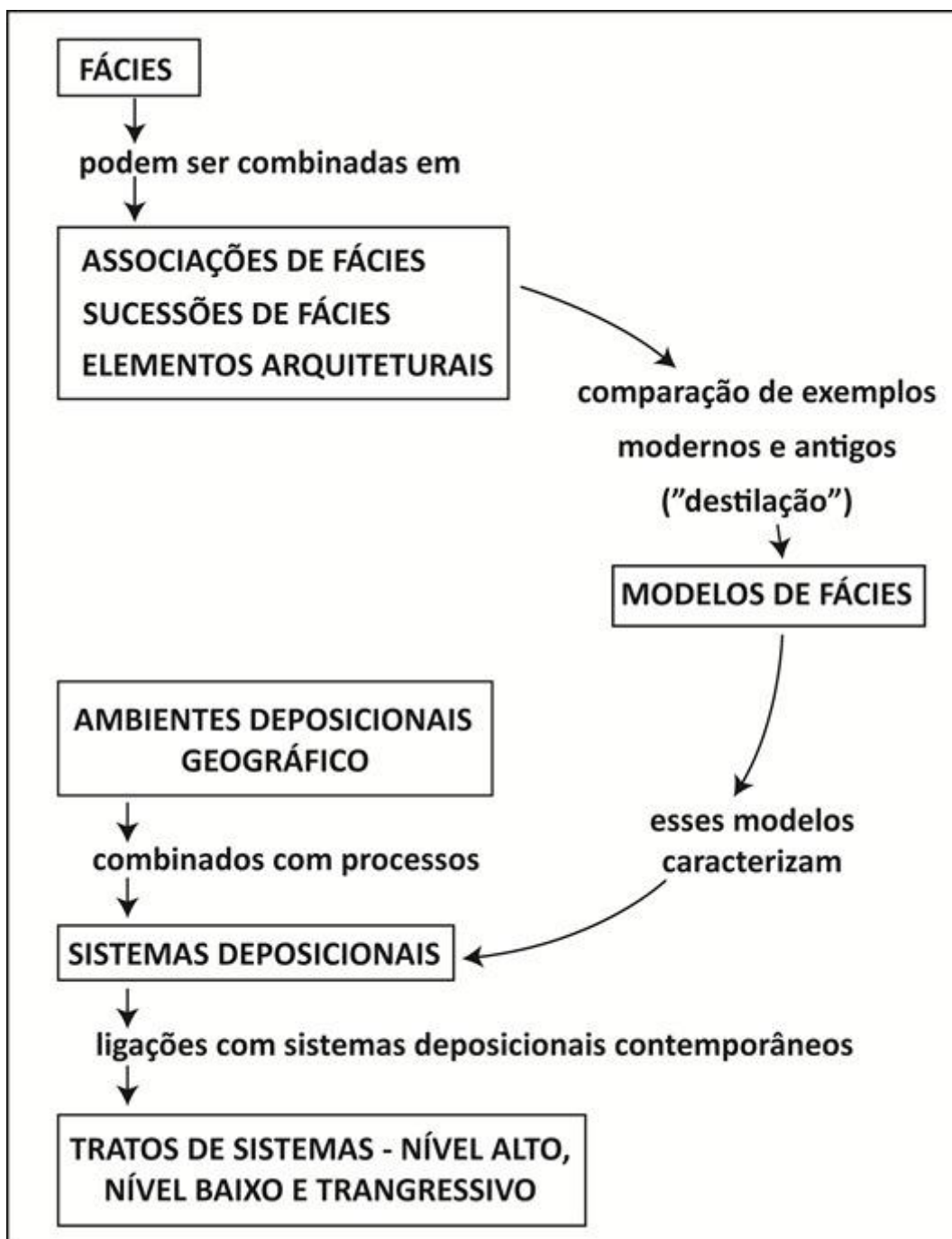


Figura 14: Fluxograma de interpretação de fácies. Modificado de Walker e James (1992).

4.4. Microscopia óptica

A microscopia óptica por luz transmitida, ou petrografia, tem como objetivo complementar a análise de fácies, principalmente das litofácies que apresentam difícil visualização em campo. Alguns componentes da rocha, como matriz e grãos aloquímicos, podem ser obliterados pela ação de diagênese e/ou exposição, motivo pelo qual a análise petrográfica é utilizada como complemento deste estudo, descrevendo em detalhe componentes primários e diagenéticos presentes nas seções amostradas.

A confecção de lâminas delgadas consiste em realizar o polimento de amostras acopladas em uma lâmina de vidro, até que elas fiquem com uma espessura de 0,3 mm, ideal para a microscopia óptica. Foram amostrados dezesseis pontos das diferentes litofácies identificadas para confecção de lâminas. Os cortes procuraram ser realizados perpendiculares à estrutura deposicional da rocha (corte em perfil) a fim de poder ser analisado em petrografia a variação vertical da laminação. A amostragem foi realizada com uma perfuratriz de broca cilíndrica (29 mm) diamantada Milwaukee 2603-259C 18V.

No Laboratório de Preparação de Amostras da UFRGS, as amostras foram cortadas com serra circular e demarcadas à caneta com uma seta indicativa de topo estratigráfico. Também à caneta, marcou-se um retângulo na porção escolhida para a confecção da lâmina. Após a identificação, as amostras foram enviadas para o Laboratório Petrografia BR, para a confecção das lâminas delgadas.

A petrografia e as fotomicrografias foram realizadas utilizando um fotomicroscópio óptico Zeiss AXIO *imager* 2 e o programa ZEN 2012, no Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS. As fotomicrografias foram processadas no programa Adobe Photoshop, para ajustar os atributos de contraste e brilho das imagens.

4.5. Gamaespectrometria

A gamaespectrometria permite analisar a intensidade de radiação natural emitida pelos minerais contidos nas rochas. Os principais elementos que emitem esse sinal são potássio (K), tório (Th) e urânio (U), e são encontrados predominantemente em feldspatos, micas, zircão, monazita e argilominerais. Devido a variação composicional das rochas, é possível mapear unidades a partir de dados geofísicos indiretos, como a assinatura radiométrica destes elementos. Essa técnica tem sido amplamente utilizada na pesquisa em geociências, como em trabalhos de mapeamento geológico, prospecção mineral e estudos sedimentológicos (HURST, 1990; MYERS; WIGNALL, 1987).

A aplicação da gamaespectrometria em rochas sedimentares se dá pelo fato de diferentes tipos de rochas apresentarem distintos valores já conhecidos de K, Th, U e contagem total, onde pacotes arenosos comumente apresentam uma quantidade baixa de elementos radioativos, enquanto pacotes de composição pelítica tendem a concentrar os elementos potássio, tório e urânio, este último associado com matéria orgânica (Rider, 1991). Em função desse comportamento, é possível diferenciar rochas areníticas de rochas lamosas a partir da contagem de dados radiométricos, além de observar diferenças em relação à mineralogia e maturidade dos depósitos.

A coleta de dados gamaespectrométricos foi realizada com o espectrômetro portátil *RS-125 Super SPEC*, da *RADIATION SOLUTIONS INS* (patrimônio UFRGS nº502420). A aquisição de dados seguiu uma ordem de coleta de pontos da base para o topo, com espaçamento vertical entre os pontos de 30 cm e período de 1 min de aquisição por ponto. Em cada ponto coletou-se 3 medidas. No laboratório, montou-se uma tabela de dados no programa EXCEL para elaborar os gráficos de contagem total, potássio, urânio, tório e razões entre os elementos.

A utilização dessa metodologia tem como objetivo verificar qual sinal radiométrico é apresentado pelo afloramento. Tendo em vista que se trata de uma rocha de caráter misto carbonático-siliciclástico, procurou-se observar se é possível fazer alguma relação entre o dado radiométrico e a análise faciológica. Sabe-se que

esse método possui limitações para a interpretação de dados em rochas que sofreram remobilizações secundárias ou forte digênese (SERRA et al., 1980).

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados, obtidos na pesquisa, divididos em três subcapítulos. Juntamente com os resultados, algumas discussões pertinentes de cada tópico.

5.1. Fácies

Foram reconhecidas dez litofácies no afloramento da Gruta dos Cristais, que estão descritas e interpretadas no Quadro 2 e ilustradas nas figuras 18 a 27. A classificação composicional híbrida das fácies foi determinada a partir de descrições petrográficas. Existem três conjuntos litológicos, representados por estromatólitos, arenitos híbridos e conglomerados intraformacionais.

Quadro 2: Descrição e interpretação das fácies sedimentares da Gruta dos Cristais.

Código	Fácies	Descrição	Interpretação
Gm	Conglomerado híbrido maciço	Conglomerado arenoso intraformacional híbrido mal selecionado, clasto suportado. Matriz composta por partículas aloquímicas oóides tamanho areia média e siliciclásticos compostos por quartzo e feldspato subordinado subangulosos tamanho silte a areia fina. Intraclastos (25 a 30 %) de tamanho variado entre granulos e seixos, de forma tabular alongada. Algumas camadas ricas em intraclastos de até 10 cm. Formam pacotes lenticulares de até 30 cm de espessura.	Fluxos gravitacionais hiperconcentrados em sedimentos.
Gt	Conglomerado híbrido com estratificação cruzada tangencial	Conglomerado arenoso intraformacional híbrido mal selecionado, matriz suportado. Matriz composta por grãos aloquímicos oóides tamanho areia média e siliciclásticos compostos por quartzo e feldspato subordinado subangulosos tamanho silte a areia fina. Estratificação cruzada tangencial com sets que variam de 0,2 a 0,3 metros. Intraclastos de composição microbial, de até 2 cm de comprimento e forma tabular alongada, orientados subparalelos com a estratificação, por vezes imbricados.	Migração de formas de leito cascalhosas transversais, geradas por correntes trativas unidirecionais.
St	Arenito híbrido com estratificação cruzada tangencial	Arenito muito fino a médio de composição híbrida com estratificação cruzada tangencial e topo ondulado. Grãos aloquímicos tamanho areia média, compostos por oólitos, intraclastos e pelóides. Siliciclásticos muito finos a finos subangulosos, compostos por quartzo e feldspato. Sets de 5 a 30 cm de espessura.	Migração de formas de leito de crista sinuosa (3D) sob fluxo combinado unidirecional-oscilatório.
Sl	Arenito híbrido com estratificação cruzada de baixo ângulo	Arenito fino a medio, moderadamente bem selecionado, de composição híbrida. Grãos aloquímicos oóides e siliciclásticos subangulosos a angulosos. Comumente com intraclastos microbiais (<10%), com forma tabular de até 2 cm de comprimento. Sets de até 50 cm.	Migração de formas de leito atenuadas sob fluxo combinado, unidirecional-oscilatório.
Sm	Arenito híbrido maciço	Arenito híbrido fino a grosso, moderadamente mal selecionado, maciço. Composto por partículas aloquímicas de oóides tamanho areia media a grossa e siliciclásticos de quartzo e feldspato de forma angulosa e tamanho areia fina. Rico em intraclastos microbiais, de poucos milímetros de comprimento e forma tabular alongada, comumente concentrados na base dos pacotes. Camadas tabulares de até 30 cm e espessura.	Fluxos gravitacionais hiperconcentrados em sedimentos ou fluidizações que podem apagar a estrutura deposicional primária.
Scss	Arenito híbrido swaley	Arenito híbrido fino a muito fino com estratificação cruzada swaley. Composto por partículas aloquímicas de oóides tamanho areia media a grossa e siliciclásticos de quartzo e feldspato de forma angulosa e tamanho areia fina. Sets amalgamados em pacotes de até 2 m de espessura, compostos por estratificações cruzadas de baixo ângulo. Superfície basal côncava, por vezes erosiva recoberta por intraclastos microbiais. Comprimento de onda de até 80 cm.	Formas de leito simétricas, isotrópicas ou levemente anisotrópicas, geradas por fluxos oscilatórios de alta intensidade, onde a erosão predomina sobre a deposição.
Shcs	Arenito híbrido hummocky	Arenito híbrido fino com estratificação cruzada hummocky. Composto por partículas aloquímicas de oóides tamanho areia media a grossa e siliciclásticos de quartzo e feldspato de forma angulosa e tamanho areia fina. Pacotes lenticulares de 10 a 40 cm de espessura. Superfície basal côncava, por vezes erosiva, lareralmente formando ondulações convexas. Laminações internas concordantes sobrepostas a superfície basal, com pequenas variações laterais de espessura. Superfícies de truncamento lateralmente concordantes. Ripples de onda preservadas no topo de alguns sets. Sedimentos finos envolvendo os pacotes arenosos, por vezes preservando ripples de onda.	Formas de leito simétricas, isotrópicas ou levemente anisotrópicas, geradas por fluxos oscilatórios de alta intensidade ou fluxos combinados predominantemente oscilatórios com alta taxa de agradação.
H	Heterolito	Alternância entre estromatólito horizontal (STh) e arenito fino híbrido. Difícil identificação de estruturas nos arenitos devido às condições de exposição e alteração da rocha. Camadas tabulares de arenitos comumente de 5 a 10 cm de espessura, por vezes com ripples de onda preservadas no topo das camadas. Camadas tabulares de estromatólitos horizontal de 10 a 20 cm de espessura, marcadas por erosão diferencial no afloramento, formando laminações plano-paralelas horizontais com superfície crenulada.	Alternancia entre regimes energéticos; depósitos de transporte por correntes de fundo e depósitos de decantação de sedimentos em suspensão sobre leito microbial.
STd	Estromatolito dômico	Estruturas microbiais dômicas na forma de bioerma, de 0,10 até 1,30 m de espessura e 1,50 m de largura, estruturas internas colunares ou laminadas milimetricamente espaçadas com superfície crenulada. Alternância entre componentes carbonáticos recristalizados e siliciclásticos muito finos a finos angulosos.	Depósitos organossedimentares gerados por captura e cimentação de partículas carbonáticas e/ou siliciclásticas em matriz orgânica microbial. A forma colunar dos estromatólitos está associada a deposição em ambiente de energia relativamente alta.
STh	Estromatolito horizontal	Pacotes tabulares de 0,1 a 2 metros de espessura, formados por alternância entre componentes carbonáticos recristalizados e siliciclásticos finos angulosos. Laminações milimétricas de superfície crenulada, lateralmente contínuas, por vezes embrionando pequenos dômicos (<5 cm).	Depósitos organossedimentares gerados por captura e cimentação de partículas carbonáticas e/ou siliciclásticas em matriz orgânica microbial, acrescidos em ambiente de energia relativamente baixa.

Os estromatólitos, dômicos e horizontais, apresentam texturas muito semelhantes na microscopia óptica (Figura 15), sendo distinguíveis apenas em escala de afloramento. Apresentam laminação milimétrica, marcada por superfícies crenuladas (estilolitos) e grãos finos siliciclásticos dispostos sobre a laminação microbial. Apresentam forte dolomitização e parcial silicificação.

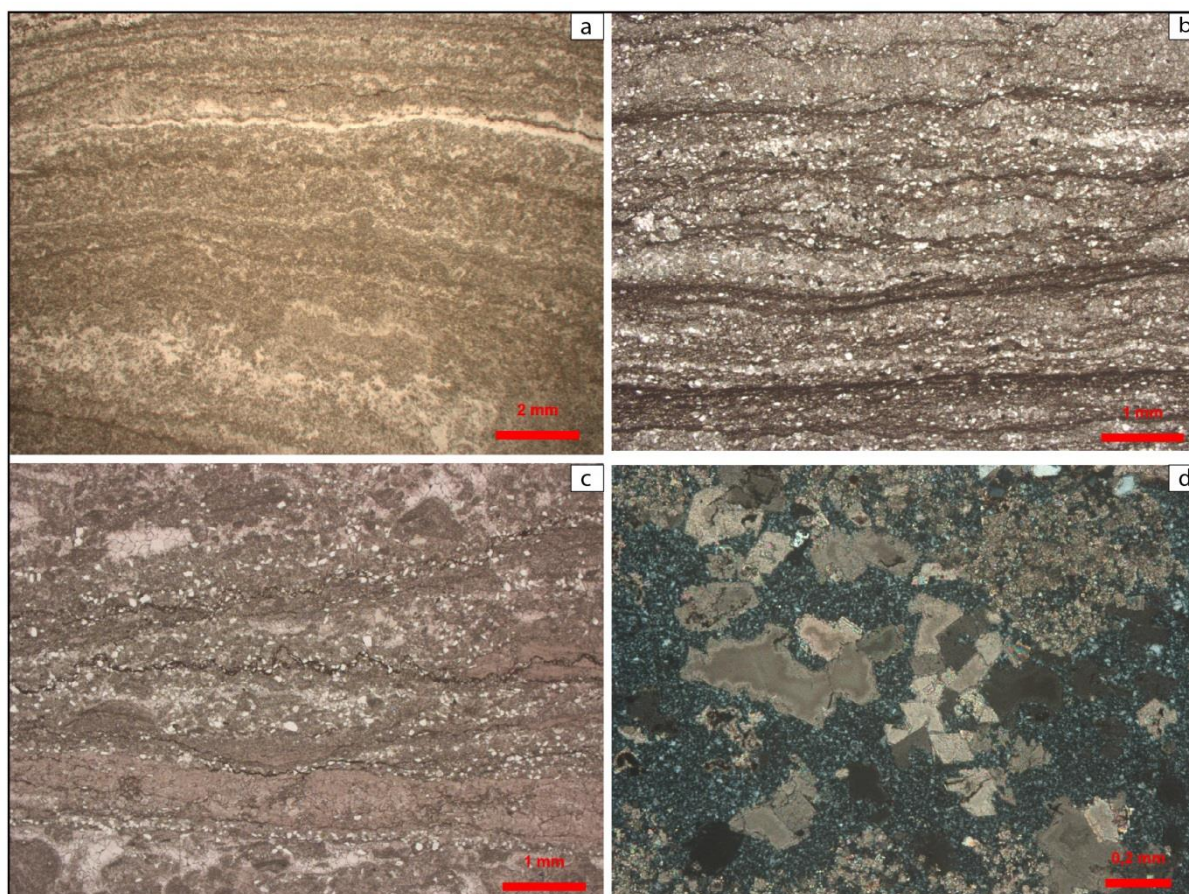


Figura 15: Fotomicrografias dos litotipos estromatolíticos. Em (a), seção de um intraclasto microbial. Note-se que as fácies estromatólito dômico (b) e horizontal (c) são texturalmente semelhantes na análise petrográfica, sendo distinguíveis em escala de afloramento. Em (d), intensa dolomitização e silicificação afetando a trama primária da rocha.

Os arenitos híbridos (Figura 16) apresentam uma variação granulométrica e composicional, onde os componentes aloquímicos, de natureza predominantemente oolítica, são mais grossos do que os componentes siliciclásticos, de granulometria areia fina e forma angulosa a subangulosa. Os grãos siliciclásticos são de quartzo e feldspato subordinado. Comumente, ocorrem pelóides, oncólitos, intraclastos microbiais e intraclastos oolíticos. A fábrica encontra-se parcialmente dolomitizada e silicificada.

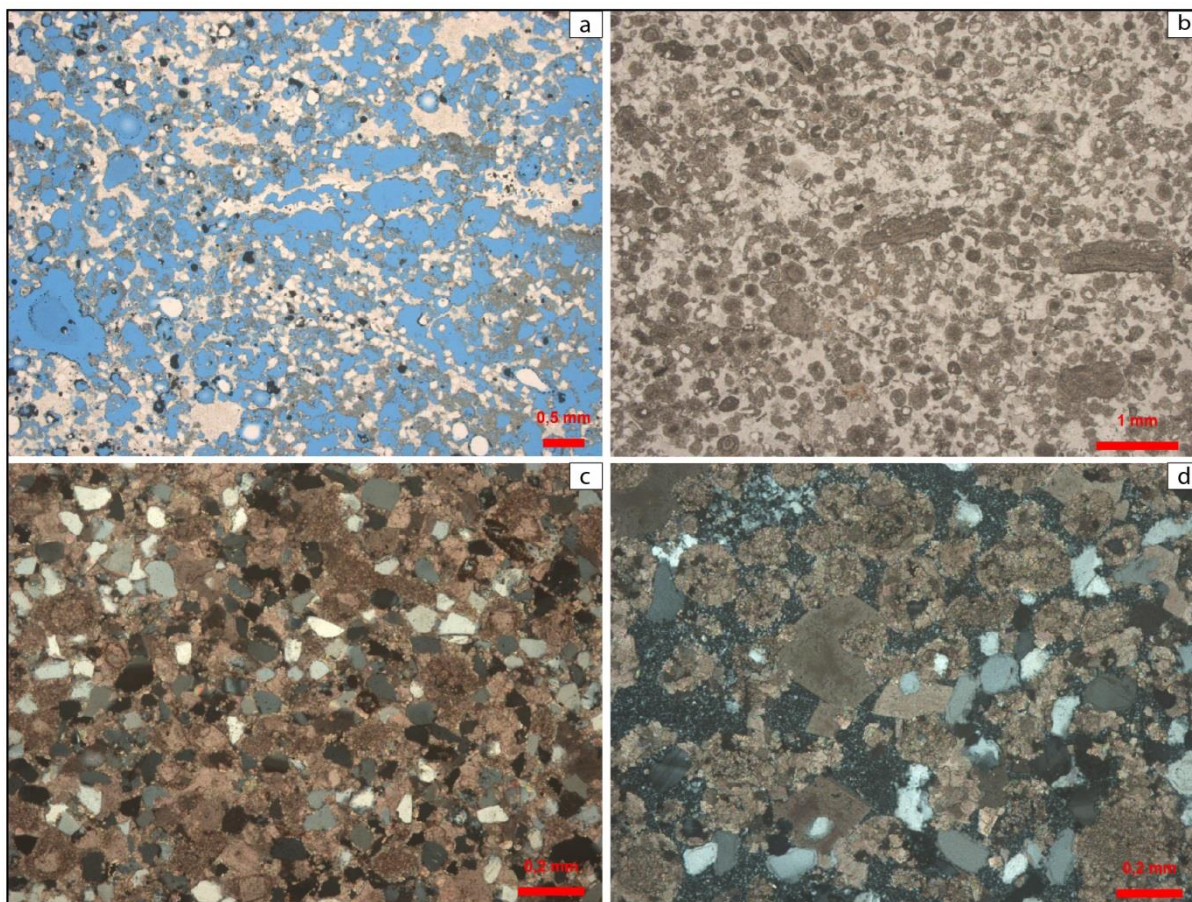


Figura 16: Fotomicrografias dos litotipos arenitos híbridos. Em (a) a fábrica original encontra-se obliterada por dissolução pervasiva de constituintes primários e cimentos. A forma arredondada dos poros móldicos indica a natureza oolítica dos componentes aloquímicos. Em (b), arenito médio híbrido oolítico-intraclástico. Em (c), grãos angulosos siliciclásticos indicando pouco retrabalhamento ou transporte por suspensão. Em (d) dolomita romboédrica e quartzo microcristalino preenchendo porosidade intergranular/interpartícula, além de crescimentos de quartzo circundando grãos.

Os conglomerados intraformacionais (Figura 17) são composicionalmente semelhantes aos arenitos híbridos, diferenciando-se pelo tamanho mais grosso dos intraclastos. Apresentam um arcabouço rico em siliciclásticos finos angulosos, ooides tamanho areia média a grossa, intraclastos subangulosos, microbiais e oolíticos de tamanho grânulo a seixo e forma tabular. Apresentam forte dolomitização e parcialmente silicificação.

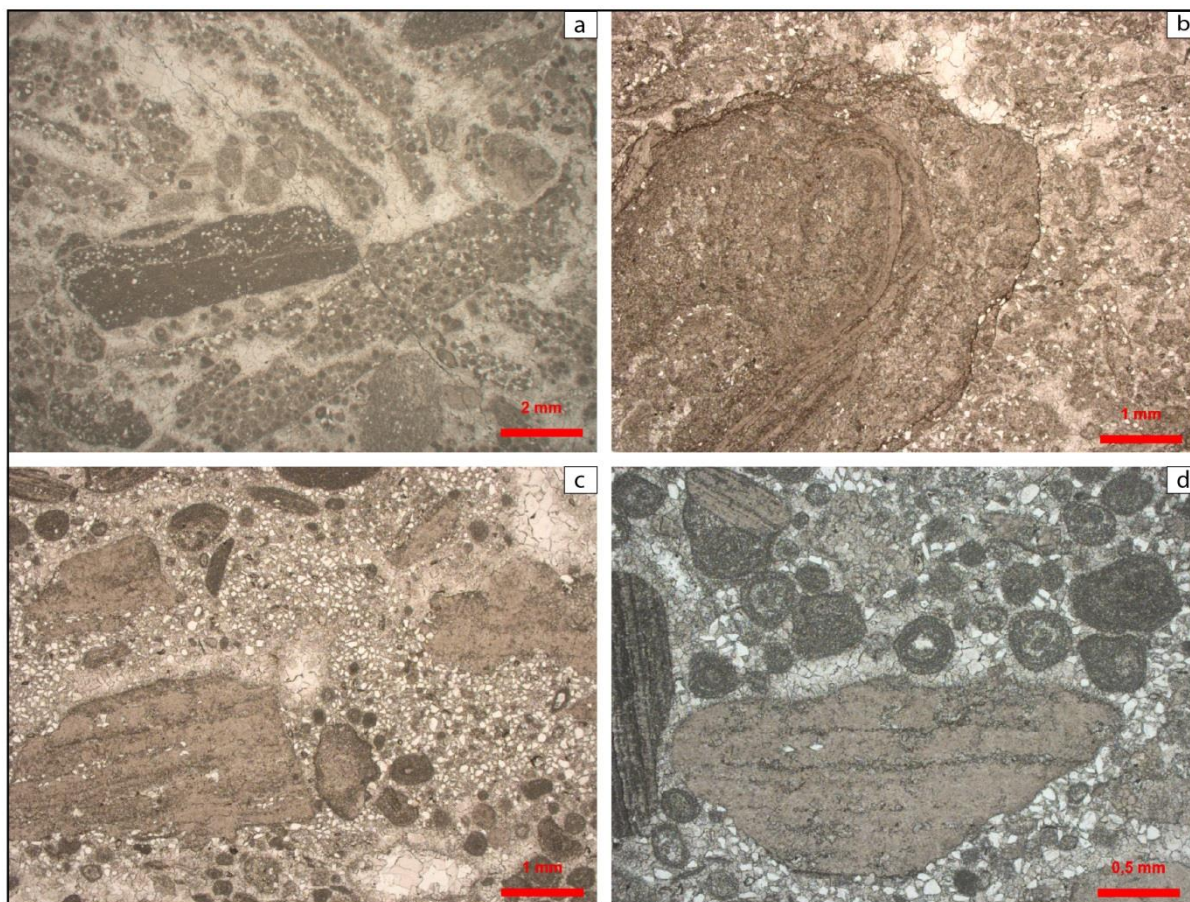



Figura 17: Fotomicrografias dos litotipos conglomerado intraclástico. Esse litotipo apresenta abundantes intraclastos carbonáticos oolíticos (a) e microbiais (a, b, c, d) de tamanho seixo e grânulo, sustentado pelas partículas. À parte dos intraclastos, ocorrem oolitos, ooides compostos e peloides, bem como areia fina siliciclástica.

Conglomerado híbrido maciço (Gm)



Descrição	
Cor típica	cinza claro
Granulometria	fino a médio
Grau de seleção	mal selecionado
Arredondamento	subanguloso
Espessura das laminações	maciço
Características	
<p>Pacotes tabulares de até 0,3 m de espessura, clasto suportado. Componentes carbonáticos compostos por oóides tamanho areia média. Grãos siliciclásticos finos a médios compostos por quartzo e feldspato angulosos a subangulosos. Cascalhos intraformacionais de até 10 cm de comprimento;</p>	
Interpretação	
<p>Fluxos gravitacionais hiperconcentrados em sedimentos.</p>	

Figura 18: Descrição, características principais e interpretação da fácies Gm.

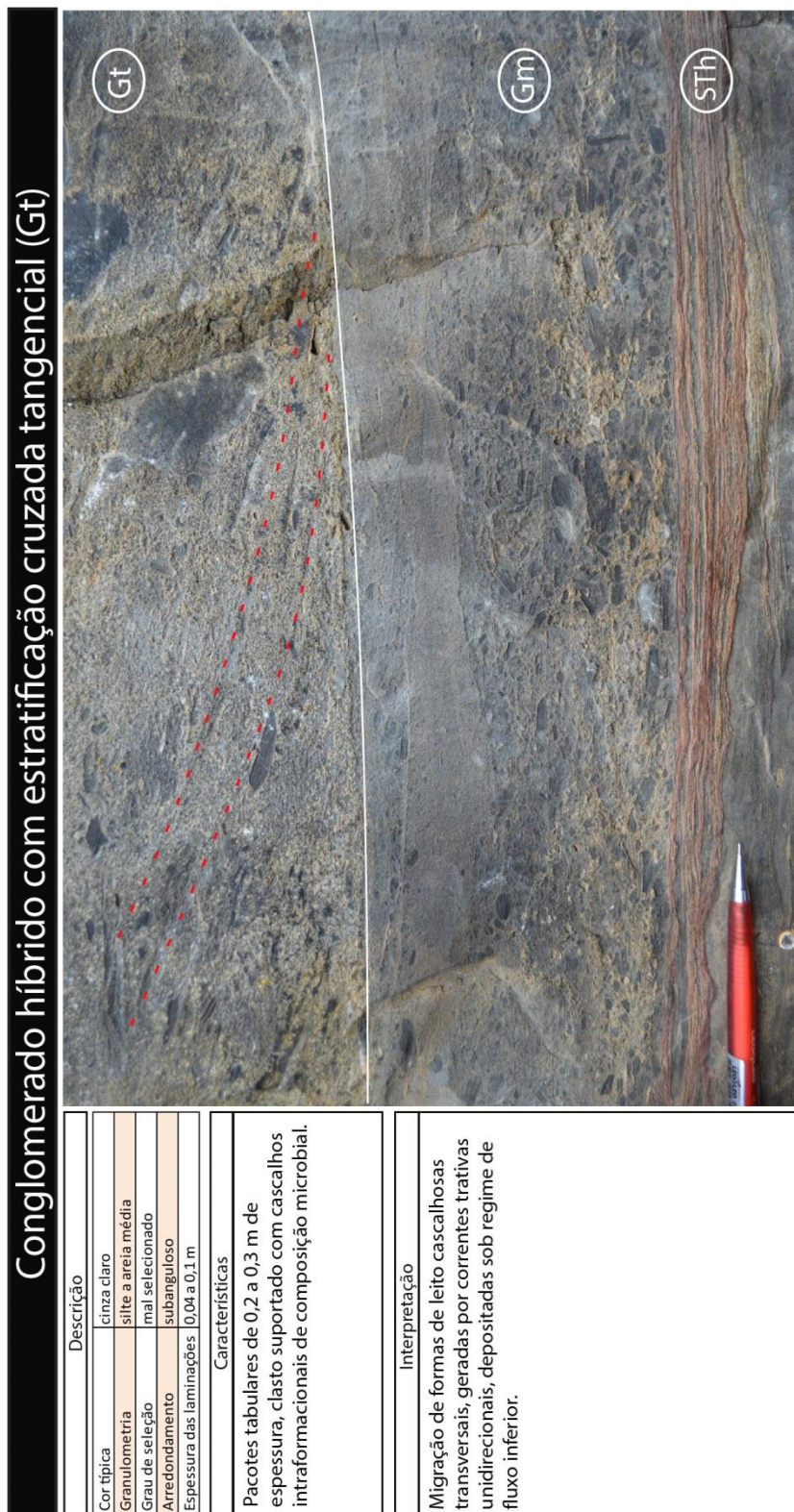


Figura 19: Descrição, características principais e interpretação da fácies Gt.

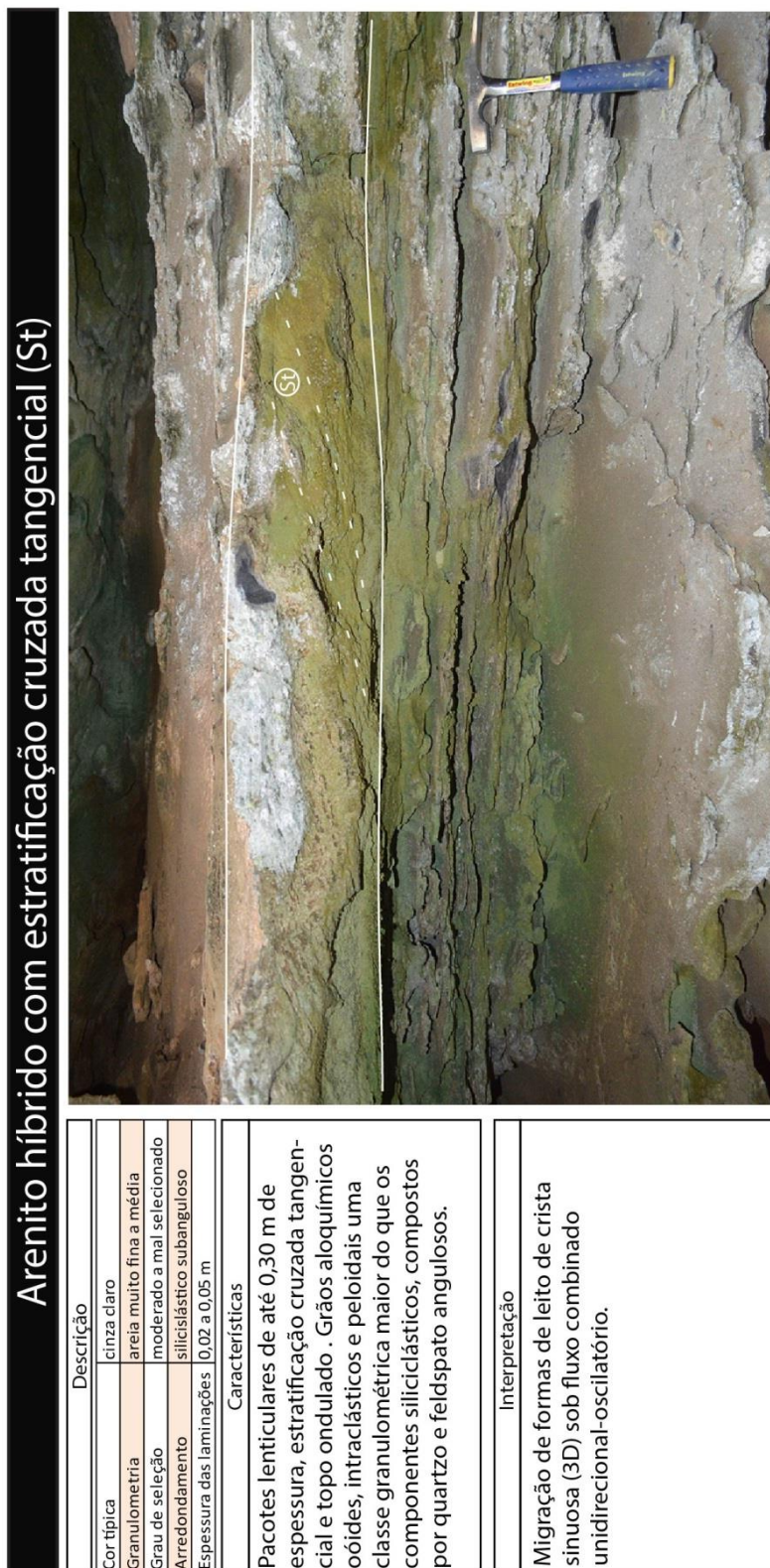


Figura 20: Descrição, características principais e interpretação da fácies St.

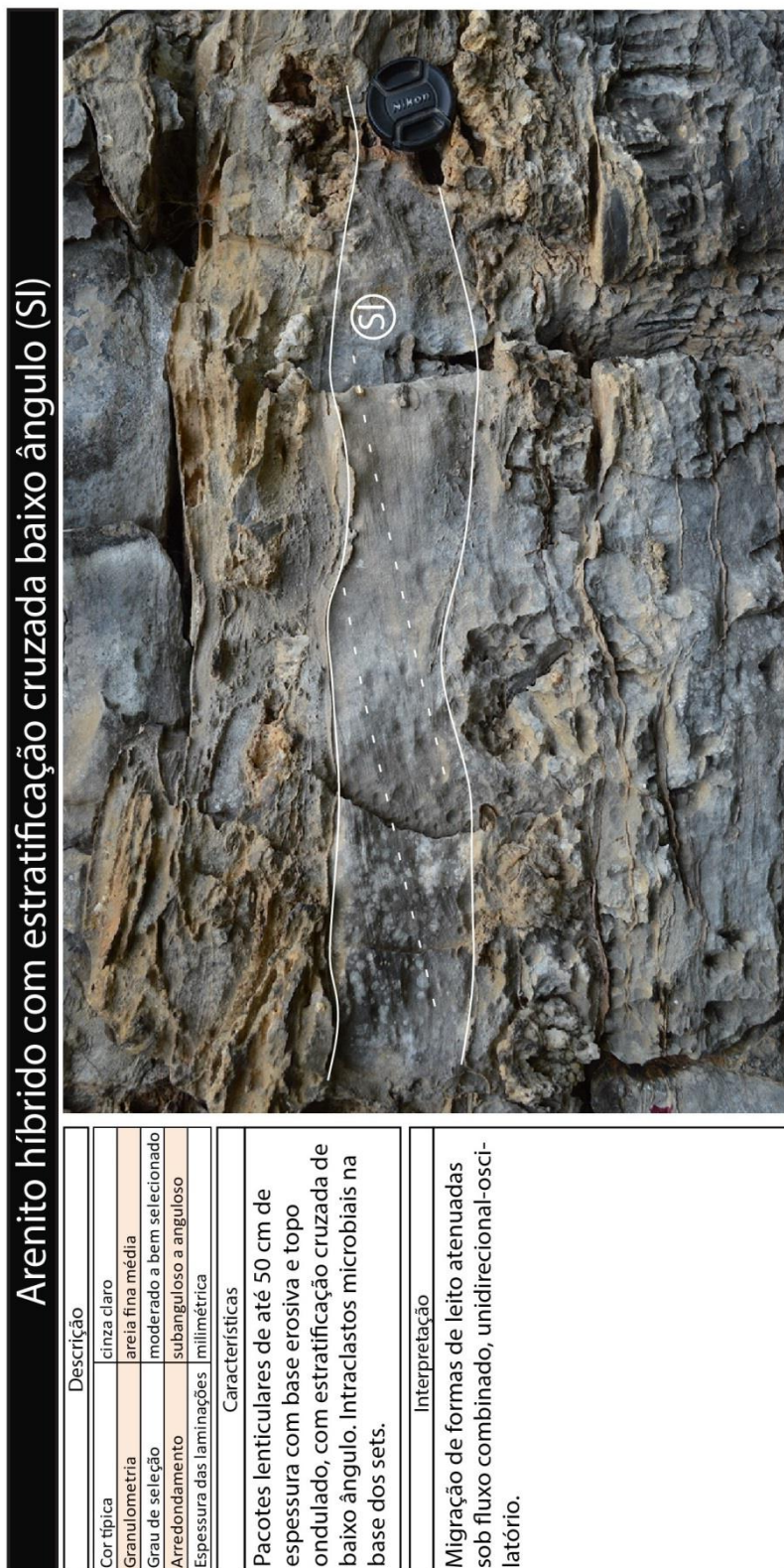


Figura 21: Descrição, características principais e interpretação da fácies SI.

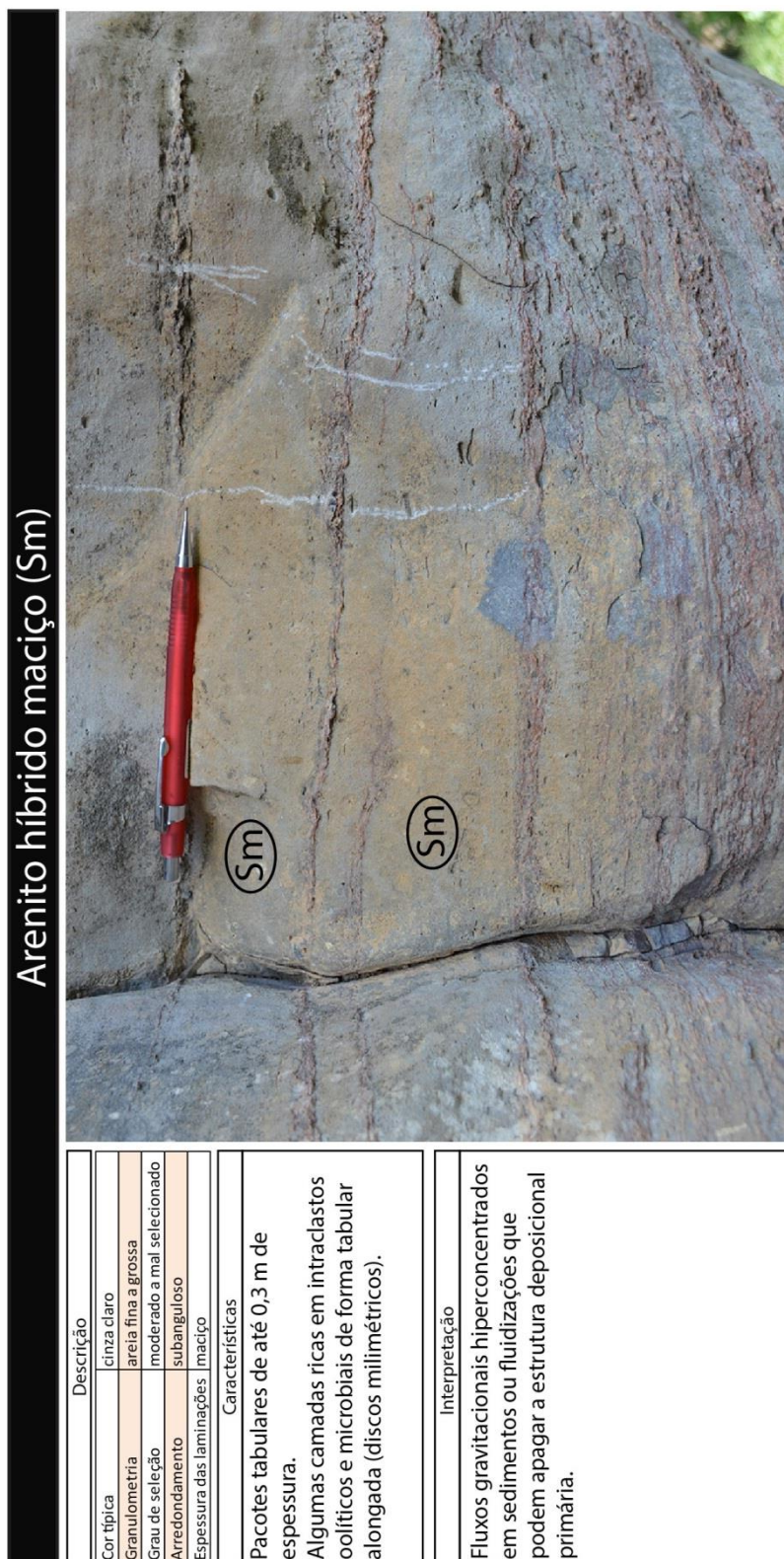


Figura 22: Descrição, características principais e interpretação da fácies Sm.

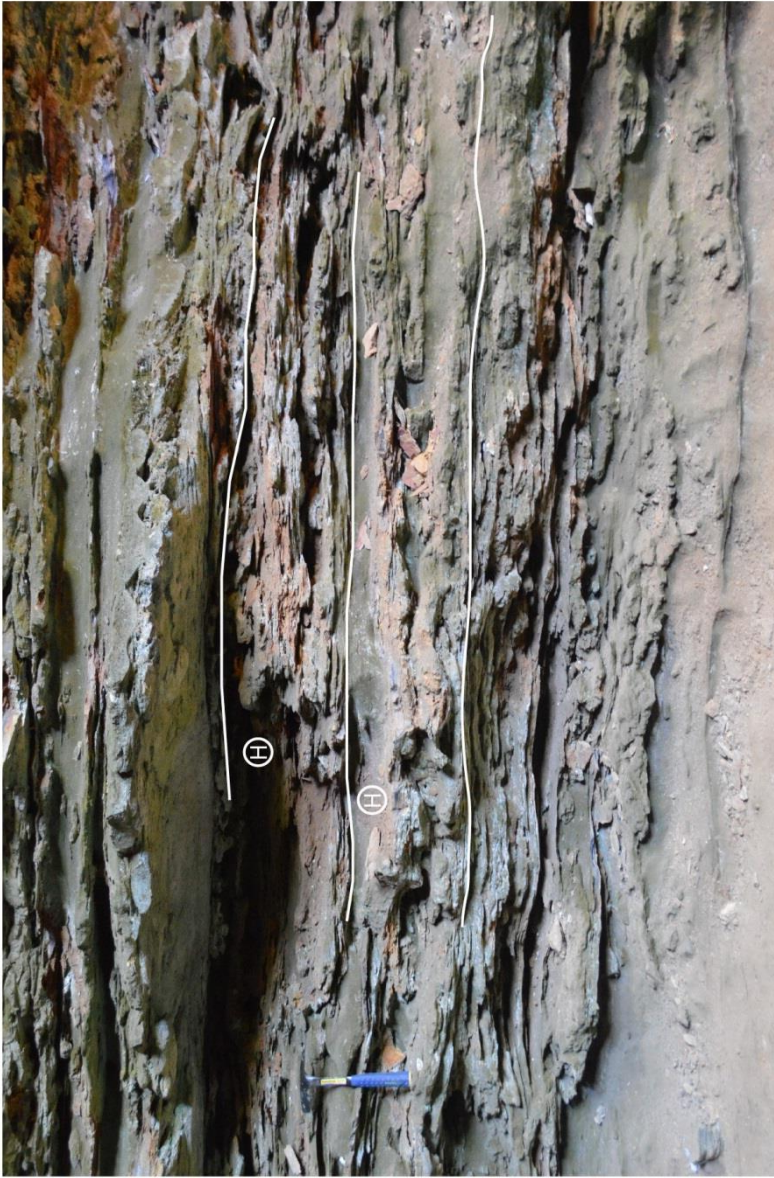


Figura 23: Descrição, características principais e interpretação da fácies Scs.



Figura 24: Descrição, características principais e interpretação da fácies Shcs.

Heterolito (H)



Descrição	
Cor típica	cinza escuro e cinza claro
Granulometria	argila a areia fina
Grau de seleção	moderado a mal selecionado
Arredondamento	subanguloso
Espessura das laminações	milimétrica a centimétrica

Características

Alternância vertical entre camadas tabulares de estromatólitos horizontais e arenitos finos híbridos. Espessura das camadas entre 10 e 20 cm. Camadas tabulares de estromatólitos marcadas por erosão diferencial no afloramento.

Interpretação

Alternância entre regimes energéticos; depósitos de transporte por correntes de fundo e depósitos de decantação de sedimentos em suspensão sobre leito microbial.

Figura 25: Descrição, características principais e interpretação da fácies H.

Estromatólito dômico (STd)

Descrição	
Cor típica	cinza claro a bege
Granulometria	argila a areia fina
Grau de seleção	moderado a mal selecionado
Arredondamento	siliciclástico anguloso
Espessura das laminações	milimétrica
Características	
Construções microbiais dômicas com estrutura interna colunar (1) ou laminada plano paralela (2).	
Interpretação	
Depósitos organosedimentares gerados por captura e cimentação de partículas carbonáticas e/ou siliciclásticas em matriz orgânica microbiana. A forma colunar dos estromatólitos está associada a deposição em ambiente de energia relativamente alta.	



Figura 26: Descrição, características principais e interpretação da fácies STd.

Estromatólito horizontal (STh)

Descrição	
Cor típica	cinza escuro (superficialmente claro)
Granulometria	argila a areia fina
Grau de seleção	mal selecionado
Arredondamento	siliciclástico anguloso
Espessura das laminações	0,5 a 1 mm
Características	
Camadas tabulares de 0,1 a 2 m de espessura com laminação de superfície crenulada, lateralmente contínua ; (1) Laminações podem formar pequenos dómos (< 5cm).	
Interpretação	
Depósitos organossedimentares gerados por captura e cimentação de partículas carbonáticas e/ou siliciclásticas em matriz orgânica microbial, acrescidos em ambiente de energia relativamente baixa.	

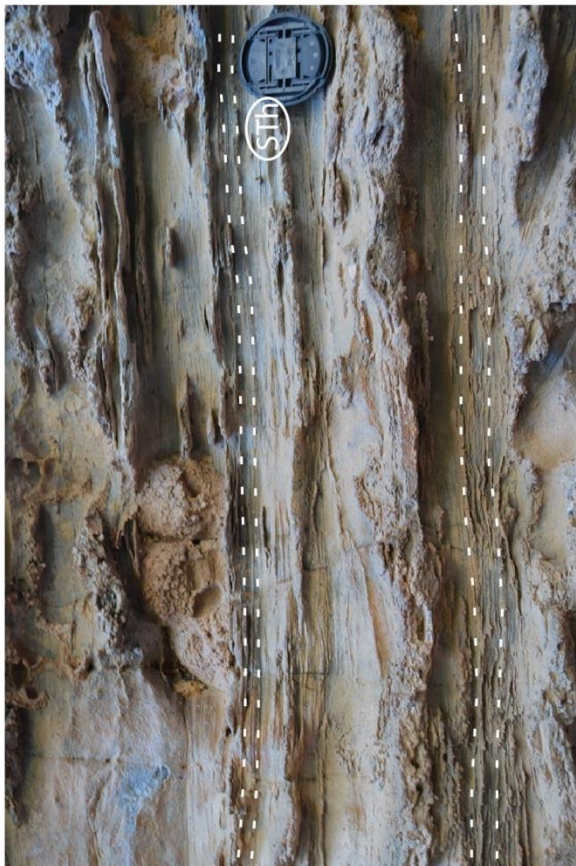


Figura 27: Descrição, características principais e interpretação da fácies STh.

5.2. Associações de fácies

As 10 fácies descritas ao longo da seção foram agrupadas em três associações de fácies de um sistema de rampa: rampa intermediária distal (AF1), rampa intermediária proximal (AF2) e rampa interna (AF3). Essas associações de fácies foram definidas a partir do modelo deposicional de rampas carbonáticas proposto por Burchette e Wright (1992).

5.2.1. Rampa intermediária distal (AF1)

Descrição: essa associação de fácies é caracterizada pela predominância da fácies estromatólito horizontal (STh), subordinadamente ocorrem arenitos híbridos com estratificação cruzada hummocky (Shcs) e conglomerados híbridos maciços (Gm). A fácies STh ocorre como pacotes tabulares decimétricos a métricos intercalados com lentes subordinadas de Shcs de até 0,4 m de espessura. Lentes de Gm de 0,2 a 0,3 m espessura ocorrem ocasionalmente sobre a fácies STh. Essa associação de fácies forma pacotes tabulares de até 5 m de espessura, sendo dominante na porção inferior do afloramento (Figura 28).

Interpretação: a espessura dos pacotes de estromatólitos horizontais, bem como sua estrutura interna e granulometria fina das partículas presas em seu substrato, são critérios indicadores de que estes depósitos organossedimentares desenvolviam-se abaixo do nível de base de tempo bom, em uma profundidade relativa à rampa intermediária de Burchette e Wright (1992) ou *offshore transition* de Reading e Collinson (1996). Em condições de tempo bom, esteiras microbiais dominam o leito marinho e formam pacotes espessos e tabulares. Essa porção da rampa é ocasionalmente afetada por ondas de tempestade, as quais geram retrabalhamento e transporte de sedimentos, formando pacotes lenticulares de arenitos e/ou conglomerados intraformacionais e estruturas como estratificação cruzada *hummocky*. A variação entre períodos de tempo bom e eventos de tempestade confere ao registro sedimentar dessa porção da rampa a ocorrência de camadas laminadas de baixa energia sobrepostas e intercaladas com sedimentos

retrabalhados e transportados por tempestade e pacotes do tipo *hummoky*. A ausência de feições de exposição subaérea nos estromatólitos horizontais, como gretas de ressecamento ou *teepees*, corrobora para seu posicionamento em zona permanentemente submersa.

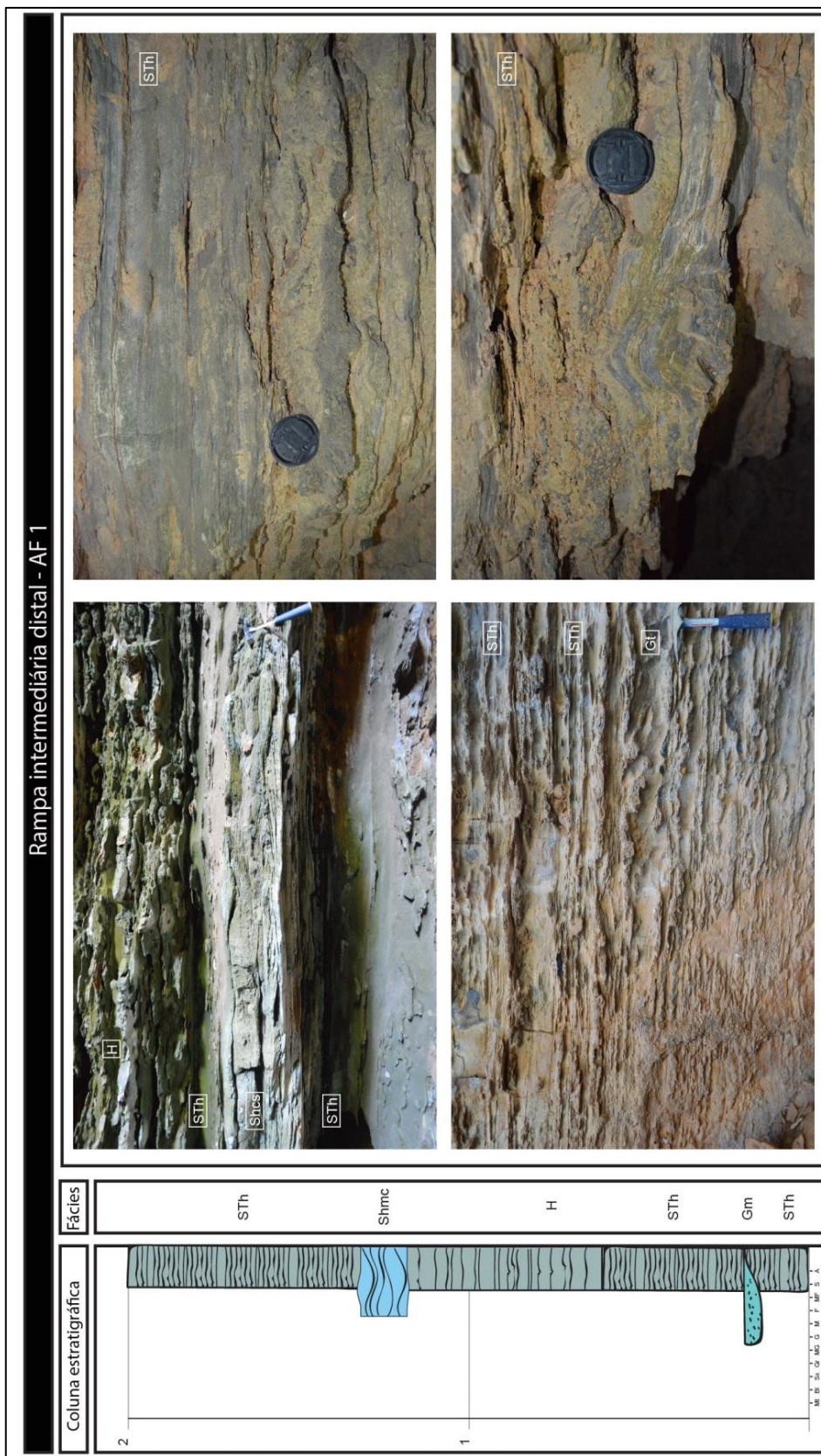


Figura 28: Associação de fácies de rampa intermediária distal (AF1).

5.2.2. Rampa intermediária proximal (AF2)

Descrição: essa associação de fácies tem de 2 a 3 metros de espessura, com pacotes lateralmente descontínuos (Figura 29). Composta pelas fácies estromatólito dômico (STd), arenito híbrido com estratificação cruzada tangencial (St), conglomerado híbrido maciço (Gm), estromatólito horizontal (STh) e heterolito (H). A fácies STd ocorre como bioermas dômicos de 0,10 até 1,30 metros de espessura e estrutura interna colunar ou laminada. As fácies Gm ou St são ricas em intraclastos, sendo dispostas em camadas de 10 a 20 cm de espessura que ocorrem intercaladas com as fácies de estromatólitos dômicos. Lateralmente, os estromatólitos colunares interdigitam-se com camadas tabulares de STh plano-paralelos e pseudocolunares. A fácies H ocorre associada às camadas de STh, formando pacotes tabulares centimétricos.

Interpretação: estromatólitos colunares comumente se desenvolvem sob condições de alta agitação do leito marinho. Os modelos de rampa de [Flugel \(2010\)](#) e [Burchette e Wright \(1992\)](#) posicionam tais bioconstruções na rampa interna, logo acima do nível de base de tempo bom. Os bioermas presentes na seção encontram-se intercalados verticalmente, e por vezes lateralmente, com pacotes de arenitos e conglomerados intraformacionais. Entretanto, comumente, ocorrem como corpos isolados entre pacotes espessos de estromatólitos horizontais, indicando que o ambiente deposicional dessa associação de fácies pode estar abaixo do nível de base de tempo bom. Esse conjunto de fácies, de alta e baixa energia, associado com estromatólitos dômicos, indica que a deposição encontra-se na porção superior de uma rampa intermediária frequentemente afetada por eventos de tempestade. Essa porção da rampa permite que estromatólitos horizontais cresçam sobre as calhas dos estromatólitos dômicos em períodos de atenuação do regime energético, permanecendo mais protegidos de retrabalhamento por ondas e correntes de fundo. Em períodos de alta energia, o leito marinho sofre maior agitação e registra forte retrabalhamento e deposição de arenitos híbridos e conglomerados inraformacionais. As fácies heterolito e conglomerado híbrido podem representar uma variação de frequência e intensidade dos eventos de tempestade. A fácies heterolito, que apresenta laminações intercaladas de arenitos híbridos com estromatólitos horizontais, registra eventos de menor intensidade e maior frequência,

enquanto que a fácies conglomerado híbrido registram episódios de maior energia e um maior intervalo entre tempestades. Essas fácies também podem representar condições de raseamento da coluna de água, indicando variações do nível do mar em diferentes escalas de frequência.

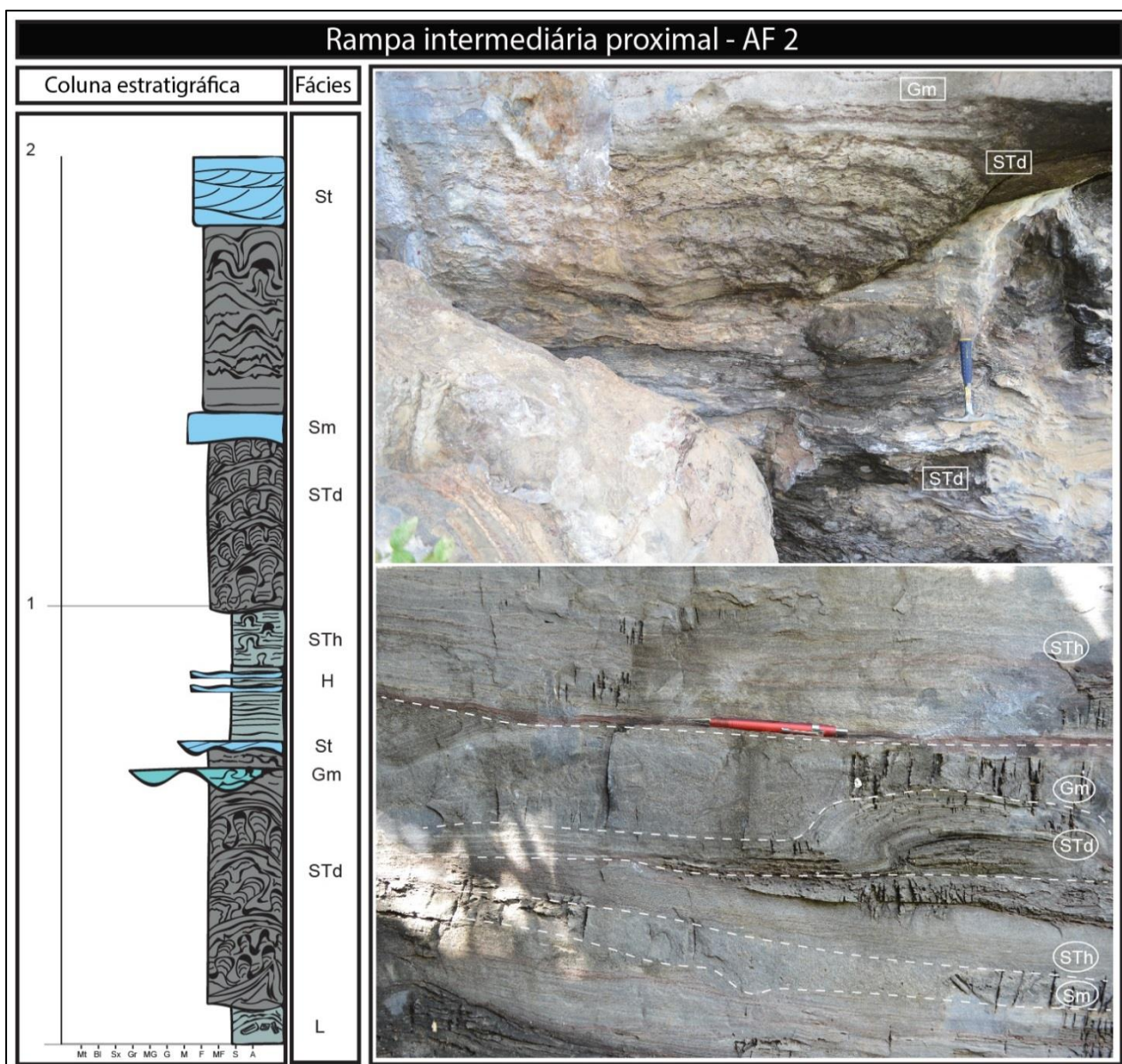


Figura 29: Associação de fácies de rampa intermediária proximal (AF2).

5.2.3. Rampa interna (AF3)

Descrição: essa associação de fácies forma pacotes tabulares de até 2 m de espessura que são compostos pela intercalação de: (i) camadas tabulares de 20 a 30 cm das fácies conglomerado intraformacional, maciços (Gm) ou com estratificações cruzadas tangenciais (St), (ii) camadas tabulares de 20 cm de espessura de arenitos híbridos com estratificações cruzadas tangenciais (St), estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl) ou maciços (Sm); e (iii) camadas de até 1,5 m de espessura de arenitos híbridos com estratificações swaley (Scs) (Figura 30).

Interpretação: a dominância de depósitos arenosos com estruturas de fluxo oscilatório ou combinado e a ausência da fácies estromatólito horizontal indica que o ambiente deposicional dessa associação de fácies está acima do nível de base de tempo bom. De acordo com o modelo de Burchette e Wright (1992), essa associação de fácies compreende a porção de rampa interna. Nessa porção, o leito marinho é constantemente retrabalhado pela ação de ondas. Fluxos unidirecionais, como correntes de retorno ou geostróficas são componentes atuantes e influenciam tanto no transporte de sedimentos, como na anisotropia dos depósitos. De acordo com Leckie e Walker (1982) e com Dumas e Arnott (2006), a presença de estratificações cruzadas swaley indicam a ação de ondas de tempestade em uma profundidade rasa, onde não há a presença de sedimentos finos.

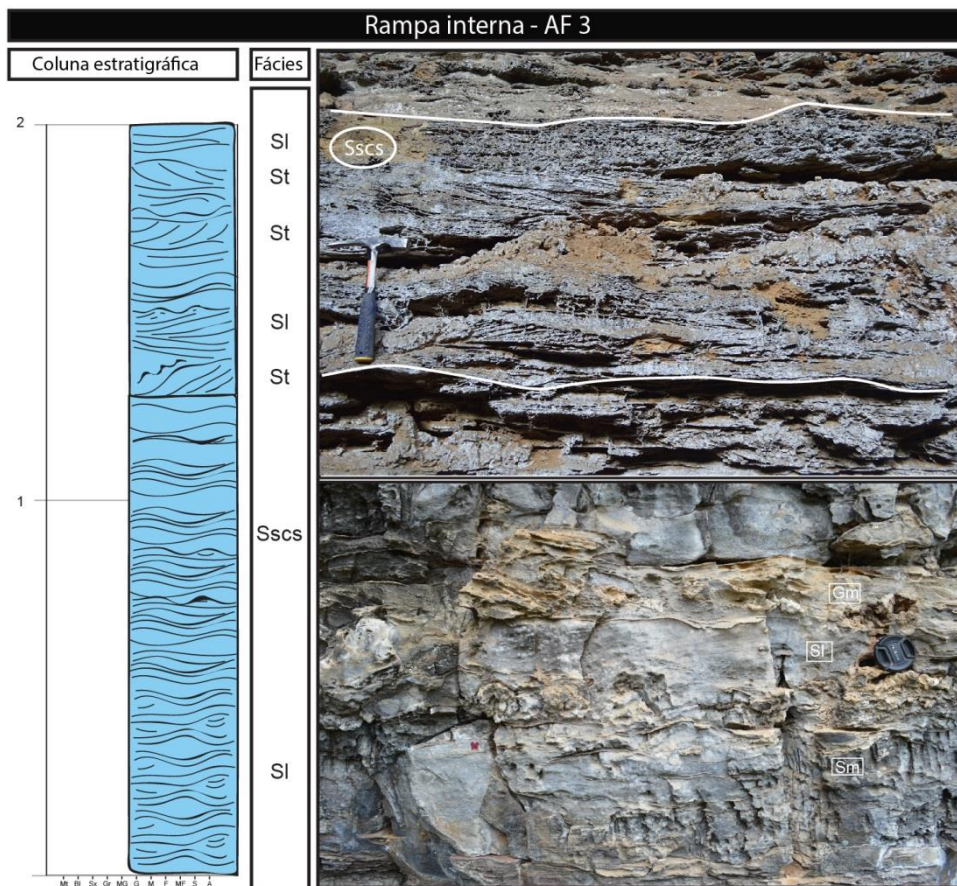


Figura 30: Associação de fácies de rampa intermediária distal (AF3).

5.3. Gamaespectrometria

De um modo geral, pode-se observar uma tendência de diminuição dos valores radiométricos ao longo da sucessão estratigráfica (Figura 31), de um valor médio de contagem total de 50 ppm na base para 25 ppm no topo, com uma inflexão e um pico positivo de até 100 ppm, nas porções ricas em estromatólitos dômicos entre 25 e 27 m. Todavia, os valores radiométricos coletados ao longo do perfil não apresentaram uma correlação compatível com a análise de fácies. A dificuldade de correlação pode estar ligada a heterogeneidade composicional da rocha, bem como pela ação diagenética presente, observada na petrografia. Os dados brutos estão disponíveis em anexo.

Embora ao longo da sucessão a contagem de dados gama não seja aplicável para a correlação direta de litofácies ou para a identificação de ciclos estratigráficos, observa-se picos de contagem total, K, Th, e U em algumas porções ricas em estromatólitos dômicos colunares, diferenciando esses pacotes das outras litofácies. A diminuição dos valores gamaespectrométricos da base para o topo pode estar relacionada ao ciclo T-R de baixa frequência identificado na evolução estratigráfica, embora seja de difícil correlação entre os ciclos de alta frequência.

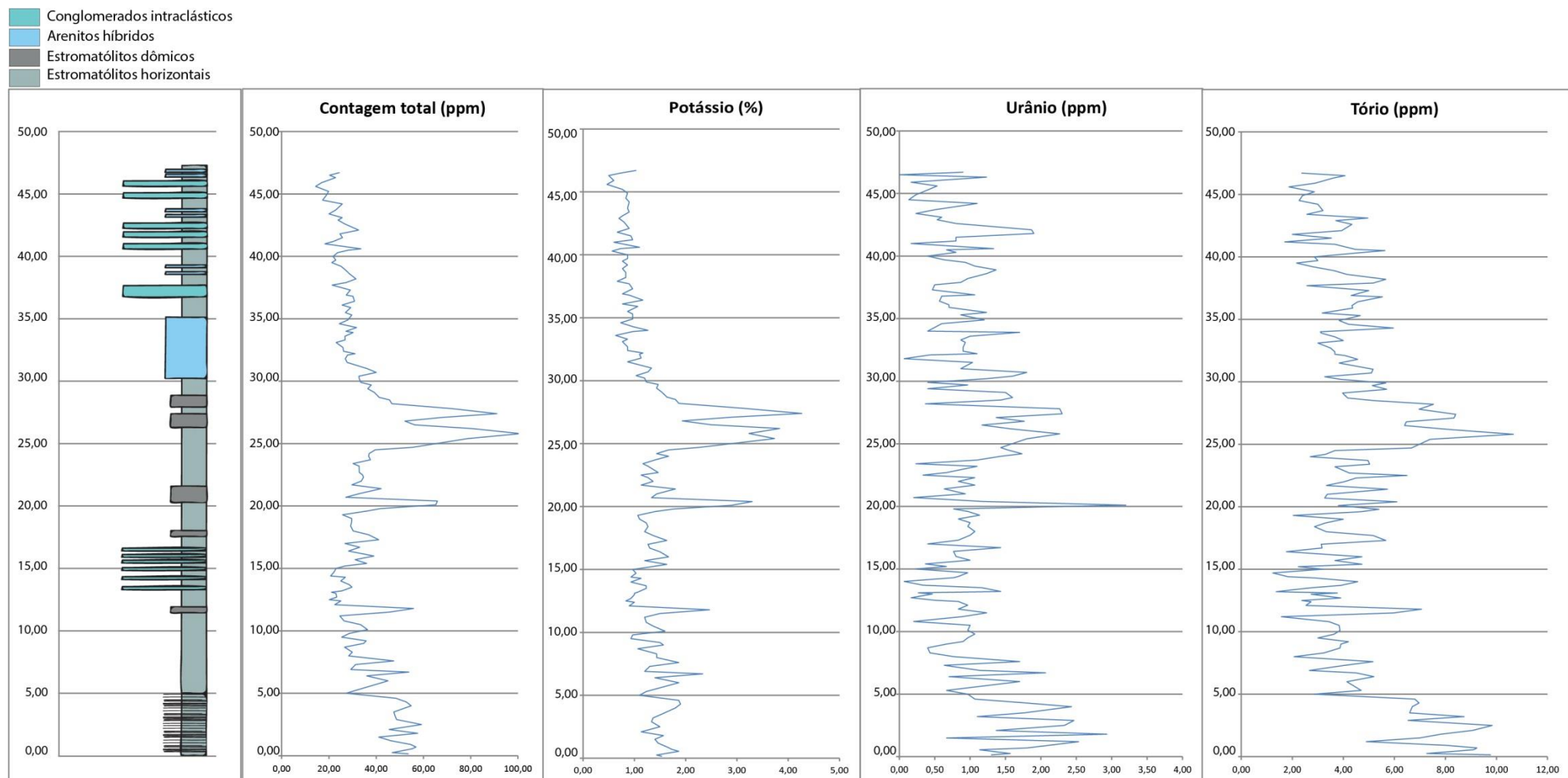


Figura 31: Curvas de tendência dos valores gamaespectrométricos.

6. DISCUSSÕES

6.1. Modelo Depositional

O estudo integrado dos conjuntos de fácies e associações de fácies converge para um modelo deposicional costeiro dominado por ondas em uma rampa (figura 32) com mistura de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos. De acordo com o modelo proposto por Burchette e Wright (1992), as associações de fácies AF1 e AF2 encontram-se na porção de rampa intermediária distal e proximal, respectivamente. Essa porção da rampa compreende o espaço deposicional entre as profundidades relativas do nível de base de tempo bom e do nível de base de tempestade. A rampa intermediária é marcada por uma visível variação deposicional, onde nos níveis mais rasos, próximos ao nível de ação de ondas de tempo bom, tende a aumentar em frequência e espessura os de depósitos de tempestade (Flügel, 2010), bem como nessa zona se posicionam estromatólitos na forma de bioermas. Os depósitos de tempestade posicionados nas porções distais ocorrem na forma de camadas lateralmente descontínuas de arenitos híbridos com estratificação cruzada hummocky ou como depósitos lenticulares de conglomerados intraformacionais intercalados com as camadas espessas de estromatólito horizontal. Nas porções mais rasas, ocorrem as fácies arenito híbrido swaley, bem como o aumento da granulometria e espessura dos pacotes arenosos.

A rampa intermediária também é marcada por diferentes formas de mistura de sedimentos. A porção distal é caracterizada pela predominância da fácies estromatólito horizontal, que é caracterizada pela presença de sedimento de granulometria fina e heterogeneidade composicional, carbonática e siliciclástica. Características sedimentológicas e faciológicas sugerem que essa heterogeneidade é resultado de processos hidrodinâmicos e biogênicos ocorrendo em um contexto de mistura *in situ* de sedimentos, gerada pelo processo de captura e cimentação dos grãos siliciclásticos sobre a esteira microbial. Na porção proximal, a variação composicional está associada à mistura pontual *sensu* Zuffa (1980), sendo resultado de processos vinculados a eventos de tempestade. Nessa porção, são mais

frequentes as estruturas geradas por ondas e as fácies apresentam feições de retrabalhamento como intraclastos microbiais, oolíticos e sedimentos híbridos.

A AF3, por sua vez, encontra-se na porção de rampa interna, onde predominam os processos de alta energia da zona de costa. A trama das fácies dessa porção também apresenta heterogeneidade composicional. Os componentes carbonáticos encontram-se na forma de ooides e como intraclastos microbiais e oolíticos, indicando regime de alta energia dominante, e os componentes siliciclásticos apresentam-se como grãos de areia fina a muito fina de quartzo e feldspato, bem selecionados e angulosos. Essa relação entre angulosidade e grau de seleção dos componentes terrígenos sugere que esse sedimento foi transportado por suspensão em plumas, o que geraria pouco impacto entre grãos, bem como estando distante da área fonte. A essa trama de sedimentos híbridos, pode-se atribuir à gênese das misturas o processo do tipo pontual *sensu* Zuffa (1980), gerada por processos de tempestade. Desse modo, os eventos de tempestade são responsáveis pelo retrabalhamento dos sedimentos autóctones, e também pela remobilização de siliciclásticos distais ou lateralmente dispostos no sistema.

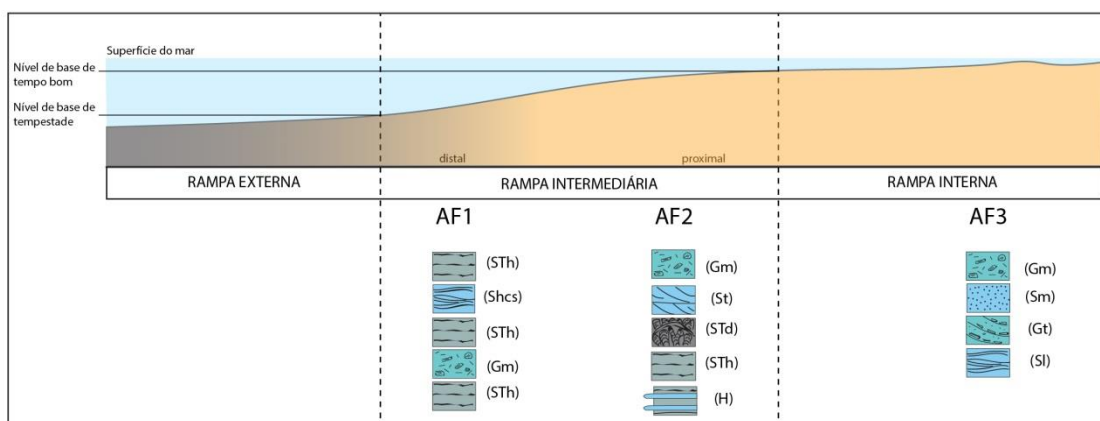


Figura 32: Modelo deposicional de acordo com as associações de fácies da Gruta dos Cristais.

Um modelo análogo atual para os depósitos basais da Formação Caboclo, tanto em aspectos de morfologia de rampa, quanto para processos deposicionais e mistura de sedimentos, é o Golfo Pérsico. O Golfo (Figura 33) é um mar epicontinental localizado no sudoeste asiático, limitado pela península da Arábia (WSW) e o Irã (NE). Apresenta um sistema de rampa homoclinal NW-SE zonada

composicionalmente, sendo carbonática na porção sul e mista carbonática-siliciclástica na porção norte, e desenvolve-se em resposta a três sistemas deposicionais: carbonático marinho do Golfo, fluvio-deltáico da Mesopotâmia e eólico continental da Arábia (RIEGL et al., 2010). O Golfo apresenta um importante sistema de tempestades sazonais (EL-SABH; MURTY, 1989) e um histórico de mudanças climáticas ao longo do Holoceno (AQRAWI, 2001), responsáveis pelo aporte terrígeno e flutuações do nível do mar. O modelo atual de rampa mista homoclinal do Golfo Pérsico diverge, entretanto, como análogo à base da formação Caboclo na Gruta dos Cristais pelos processos deposicionais responsáveis pela mistura de sedimentos. Grande parte do aporte siliciclástico no Golfo vem por meio eólico, o que difere da análise sedimentológica no intervalo estudado da Gruta dos Cristais, onde os grãos angulosos não indicam o aporte eólico.



Figura 33: Exemplo atual de rampa mista carbonático/siliciclástica. Fonte: Google Earth.

6.2. Evolução estratigráfica

A sucessão sedimentar da Formação Caboclo na Gruta dos Cristais permitiu a identificação de padrões de empilhamento ao longo da sucessão estratigráfica (Figura 34). Os padrões de empilhamento resultam da relação entre a taxa de sedimentação e a criação de espaço de acomodação (CATUNEANU; ZECCHIN, 2013). Foram reconhecidas sucessões de fácies que definem sucessões progradacionais e, mais raramente, retrogradacionais, ambos de escala métrica (< 10 metros).

Os intervalos progradacionais são caracterizados por sucessões de fácies graduais ou abruptas que marcam um raseamento para o topo. As sucessões graduais são caracterizadas pela sobreposição vertical de associações de fácies que são lateralmente adjacentes (AF1-AF2-AF3, AF1-AF2, AF2-AF3). As sucessões abruptas são caracterizadas pela sobreposição de associação de fácies que não encontra-se lateralmente adjacentes, passando de um contexto mais distal, para um mais proximal, sem associações de fácies intermediárias (AF1-AF3). A regressão normal, que gera os ciclos progradacionais graduais, ocorre no período de subida ou estabilização do nível relativo do mar, em que a taxa de aporte sedimentar supera a taxa de criação de espaço de acomodação, gerando a regressão da linha de costa. A regressão forçada, responsável pelos ciclos progradacionais incompletos e abruptos, ocorre no período em que o movimento da linha de costa regride em resposta a uma queda do nível relativo do mar, gerando uma perda do espaço de acomodação.

Os intervalos retrogradacionais são caracterizados por sucessões de fácies que marcam um aprofundamento da lâmina de água para o topo, indicando um contexto transgressivo. A transgressão ocorre no período em que a taxa de subida do nível relativo do mar supera a taxa de aporte sedimentar, aumentando o espaço de acomodação disponível.

A sobreposição de várias sucessões de fácies progradacionais, e retrogradacionais definem tendências transgressivas e regressivas da linha de costa, definindo ciclos de alta frequência do nível relativo do mar. Na porção basal e média do intervalo estudado ocorre a sobreposição de sucessões de fácies

progradacionais, onde o intervalo transgressivo dos ciclos não ficou preservada (Ciclos R). O topo do afloramento estudado é caracterizado pela alternância intervalos retrogradacionais e progradacionais, definindo dois ciclos T-R. A preservação da porção transgressiva dos ciclos pode estar relacionada a diferentes fatores, destacando-se a velocidade da transgressão, o gradiente de inclinação da rampa e proximidade da linha de costa. A ocorrência de ciclos de alta frequência do tipo R na metade inferior do afloramento, que dão lugar a ciclos T-R no topo do intervalo estudado, sugere que ocorreram variações de gradiente topográfico na rampa e/ou variações na velocidade das transgressões. O acúmulo de espessos pacotes transgressivos sugere um substrato com elevados gradientes topográficos (HELLAND-HANSEN; MARTINSEN, 1996).

Na escala do afloramento, a porção basal apresenta um domínio das associações de fácies AF2 e AF3, dominada pelos depósitos arenosos e conglomeráticos intraformacionais, sucedidos na porção intermediária pelas associações de fácies AF1 com pacotes distais de estromatólitos horizontais, intercalados com sedimentos mobilizados por tempestades ou estromatólitos dômicos. O topo da sucessão apresenta predominância de pacotes arenosos e conglomeráticos, com as associações de fácies AF2 e AF3. Essas variações de dominância das associações de fácies definem um grande ciclo transgressivo e regressivo para o intervalo estudado.

PERFIL CRISTAIS

Fácies

- Amostra com lâmina delgada
- Arenito maciço - Sm
- Arenito híbrido hummocky - Shcs
- Arenito híbrido swaley - Sscs
- Arenito híbrido com estratificação cruzada tangencial - St
- Arenito híbrido com estratificação cruzada de baixo ângulo - Sl
- Conglomerado híbrido maciço - Gm
- Conglomerado híbrido com estratificação cruzada tangencial - Gt

Ciclo R

- Estromatólito domíco - S1d
- Estromatólito horizontal - S1h

Associações de fácies

- AF1 - Associação de fácies 1
- AF2 - Associação de fácies 2
- AF3 - Associação de fácies 3

Ciclo TR

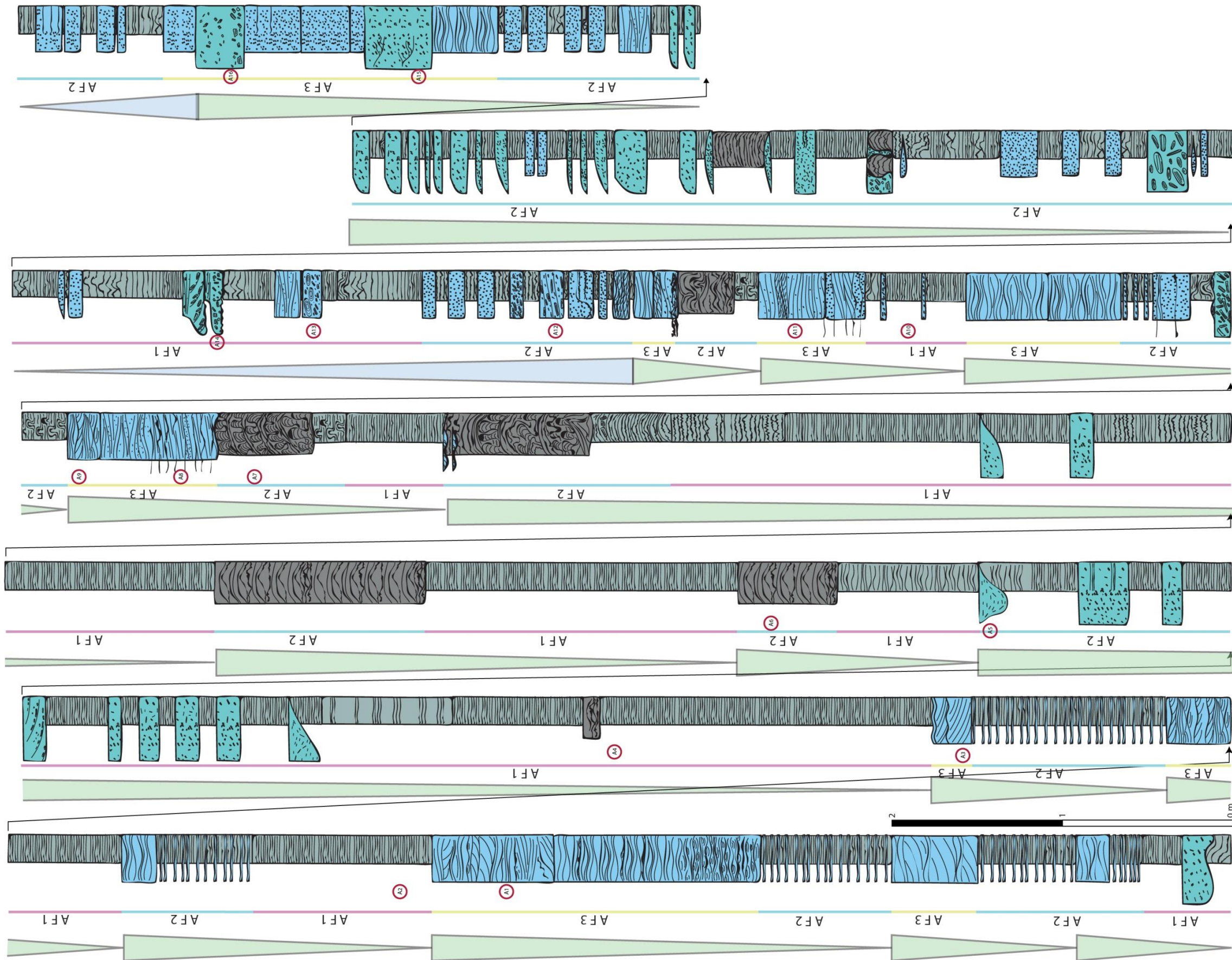


Figura 35: Perfil colunar da gruta dos cristais com as interpretações de associações de fácies e ciclos estratigráficos de alta frequência.

7. CONCLUSÕES

- A Gruta dos Cristais é constituída por dez litofácies distintas, estruturadas em três associações de fácies: rampa intermediária distal (AF1), rampa intermediária proximal (AF2) e rampa interna (AF3);
- A rampa intermediária é dividida em duas porções, distal e proximal. Depósitos de rampa intermediária distal apresentam predominantemente sedimentos finos de composição mista bio-induzida. Subordinadamente ocorrem depósitos gerados por tempestade. Heterolitos e bioermas dominam a porção proximal da rampa intermediária, onde ocorre com mais frequência arenitos e conglomerados depositados por eventos de tempestades;
- A rampa interna é caracterizada pela ocorrência de arenitos híbridos e conglomerados intraformacionais com estruturas de fluxo oscilatório ou combinado. A sedimentação fina é ausente nesta associação de fácies, indicando ambiente de alta energia dominado por ondas normais e de tempestades.
- A mistura de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos na Gruta dos Cristais ocorre devido a dois processos distintos: captura e cimentação bio-induzida por estromatólitos, e por mistura de sedimentos terrígenos e aloquímicos por eventos de tempestade;
- São identificados ciclos estratigráficos em escala de alta frequência (métrica) que definem sucessões predominantemente regressivas e subordinadamente transgressivos-regressivos;
- Em escala de afloramento, observa-se na sucessão um intervalo T na porção basal-intermediária, passando para R no topo, formando um grande ciclo T-R. Essa inversão de padrão de empilhamento sugere mudanças nas condições paleobatimétricas, velocidade dos eventos transgressivos e gradiente topográfico, podendo estar relacionada à distância da linha de costa;

- A análise de raios gama para rochas desse intervalo da Formação Caboclo, com intensa diagênese, não configurou um método efetivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGER, Derek Victor; AGER, D. V. The nature of the stratigraphical record. [s. l.], 1973.

AHR, Wayne M. The carbonate ramp: an alternative to the shelf model. [s. l.], 1973.

AIGNER, Thomas. Storm depositional systems: dynamic stratigraphy in modern and ancient shallow-marine sequences. **Lecture Notes in Earth Sciences, Berlin Springer Verlag**, [s. l.], v. 3, 1985.

ALKMIM, Fernando Flecha; MARTINS-NETO, Marcelo A. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. **Bacia do Sao Francisco: geologia e recursos naturais. SBG/MG, Belo Horizonte**, [s. l.], p. 9–30, 2001.

ALLEN, J. R. L. Some general physical implications of storms and their relevance to problems of storm sedimentation. In: BRITISH SEDIMENTOLOGICAL RESEARCH GROUP MEETING: STORM SEDIMENTATION. CARDIFF, ABSTRACT 1984, **Anais...** [s.l: s.n.]

ALLEN, John. **Sedimentary structures, their character and physical basis**. [s.l.] : Elsevier, 1982. v. 2

ALMEIDA, F. F. M. De. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 1969, **Anais...** [s.l: s.n.]

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. O Craton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 7, p. 349–364, 1977.

AQRAWI, Adnan A. M. Stratigraphic signatures of climatic change during the Holocene evolution of the Tigris--Euphrates delta, lower Mesopotamia. **Global and Planetary Change**, [s. l.], v. 28, n. 1–4, p. 267–283, 2001.

BABINSKI, Marly et al. Idade isocrônica'PB'/PB'em rochas carbonáticas da formação caboclo em Morro do Chapéu, BA. **Anais**, [s. l.], 1993.

BABINSKI, Marly et al. Contribuição à geocronologia da Chapada Diamantina. **Anais**, [s. l.], 1999.

BEUKES, Nicolas J. Facies relations, depositional environments and diagenesis in a

major early Proterozoic stromatolitic carbonate platform to basinal sequence, Campbellrand Subgroup, Transvaal Supergroup, Southern Africa. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 54, n. 1–2, p. 1–46, 1987.

BHATTACHARYA, H. N.; BHATTACHARYA, Biplab. Storm event beds in a paleoproterozoic rift basin, Aravalli Supergroup, Rajasthan, India. **Gondwana Research**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 231–239, 2005.

BRAMKAMP, R. A. t; POWERS, R. W. Classification of Arabian carbonate rocks. **Geological Society of America Bulletin**, [s. l.], v. 69, n. 10, p. 1305–1318, 1958.

BRANNER, John C. ART. XXXVII.--The Tombador Escarpment in the State of Bahia, Brazil. **American Journal of Science (1880-1910)**, [s. l.], v. 30, n. 179, p. 335, 1910.

BRITO NEVES, Benjamin B. De; CAMPOS NETO, M. da C.; FUCK, Reinhardt A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 155–166, 1999.

BURCHETTE, T. P.; WRIGHT, V. P. Carbonate ramp depositional systems. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 79, n. 1–4, p. 3–57, 1992.

CHEEL, Richard J.; LECKIE, Dale A.; OTHERS. Hummocky cross-stratification. In: **Sedimentology review 1**. [s.l.] : Blackwell Scientific Publications Oxford, 1993. v. 1p. 103–122.

CHIARELLA, Domenico; LONGHITANO, Sergio G.; TROPEANO, Marcello. Types of mixing and heterogeneities in siliciclastic-carbonate sediments. **Marine and Petroleum Geology**, [s. l.], v. 88, p. 617–627, 2017.

CLIFTON, H. E. A reexamination of facies models for clastic shorelines. **Facies models revisited**, [s. l.], p. 293–337, 2007.

COLLINSON, J. D.; READING, H. G. Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy. **Alluvial Sediments. Blackwell Scientific Publications, Oxford**, [s. l.], p. 37–82, 1996.

CORDANI, Umberto G.; NEVES, BENJAMIM BLEY D. E. BRITO. The geologic evolution of South America during the Archaean and Early Proterozoic. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 12, n. 1–3, p. 78–88, 2018.

CRUZ, Simone C. P.; ALKMIM, Fernando F. The tectonic interaction between the

Paramirim Aulacogen and the Araçuaia belt, São Francisco craton region, Eastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 151–173, 2006.

DA COSTA, L. A. Moutinho; INDA, H. A. V. O aulacógeno do Espinhaço. **Ciências da Terra**, [s. l.], v. 2, p. 13–18, 1982.

DIBENEDETTO, S.; GROTZINGER, J. Geomorphic evolution of a storm-dominated carbonate ramp (c. 549 Ma), Nama Group, Namibia. **Geological Magazine**, [s. l.], v. 142, n. 5, p. 583–604, 2005.

DICKINSON, William R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: **Provenance of arenites**. [s.l.] : Springer, 1985. p. 333–361.

DUMAS, Simone; ARNOTT, R. W. C. Origin of hummocky and swaley cross-stratification—The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. **Geology**, [s. l.], v. 34, n. 12, p. 1073–1076, 2006.

DUNHAM, Robert J. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. [s. l.], 1962.

EL-SABH, M. I.; MURTY, T. S. Storm surges in the Arabian Gulf. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 371–385, 1989.

EMBRY III, Ashton F.; KLOVAN, J. Edward. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. **Bulletin of Canadian petroleum geology**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 730–781, 1971.

FLÜGEL, Erik. **Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application**. [s.l.] : Springer Science & Business Media, 2010.

FOLK, Robert L. **Petrology of sedimentary rocks**. [s.l.] : Hemphill Publishing Company, 1968.

GRABAU, Amadeus William. **On the Classification of Sedimentary Rocks...** [s.l.: s.n.].

GUADAGNIN, Felipe et al. Age constraints on crystal-tuff from the Espinhaço Supergroup—Insight into the Paleoproterozoic to Mesoproterozoic intracratonic basin cycles of the Congo--São Francisco Craton. **Gondwana Research**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 363–376, 2015.

HAINES, Peter W. Storm-dominated mixed carbonate/siliciclastic shelf sequence

displaying cycles of hummocky cross-stratification, late Proterozoic Wonoka Formation, South Australia. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 58, n. 2–4, p. 237–254, 1988.

HELLAND-HANSEN, William; MARTINSEN, Ole J. Shoreline trajectories and sequences; description of variable depositional-dip scenarios. **Journal of Sedimentary Research**, [s. l.], v. 66, n. 4, p. 670–688, 1996.

HURST, Andrew. Natural gamma-ray spectrometry in hydrocarbon-bearing sandstones from the Norwegian Continental Shelf. **Geological Society, London, Special Publications**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 211–222, 1990.

KENDALL, Christopher G. St C.; SCHLAGER, Wolfgang. Carbonates and relative changes in sea level. **Marine geology**, [s. l.], v. 44, n. 1–2, p. 181–212, 1981.

KREISA, Ronald D. Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine facies with examples from the Middle and Upper Ordovician of southwestern Virginia. **Journal of Sedimentary Research**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 823–848, 1981.

LECKIE, Dale A.; WALKER, Roger G. Storm-and tide-dominated shorelines in Cretaceous Moosebar-Lower Gates interval--outcrop equivalents of Deep Basin gas trap in western Canada. **AAPG Bulletin**, [s. l.], v. 66, n. 2, p. 138–157, 1982.

LIGABUE, Hemeli Kleinübing. **Arcabouço deposicional e sequências elementares da porção superior da Unidade Nova América, Formação Salitre, Neoproterozoico, Bacia de Irecê - BA**. 2016. UFRGS, [s. l.], 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/151092>>

MACEDO, M. H. F.; BONHOMME, M. G. Contribuição a cronoestratigrafia das formações Caboclo, Babedouro e Salitre na Chapada Diamantina (BA) pelos métodos Rb--Sr e K--Ar. **Rev. Brasil. Geociên**, [s. l.], v. 14, p. 153–163, 1984.

MAIA, R. G. ..; PENA FILHO, J, I. Curso de Especialização em Terrenos Sedimentares; Relatório de Mapeamento Geológico, folhas parciais: SC.24- Y-C-V-3, Bonito, SC.24-Y-C -VI, Lagoa Nova. **Morro do Chapéu: CPRM-CIEG-MC. Relatório interno.**, [s. l.], 1989.

MIALL, A. D.; POSTMA, G. The Geology of Fluvial Deposits, Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 110, n. 1, p. 149, 1996.

MIDDLETON, Gerard V. Johannes Walther's law of the correlation of facies. **Geological Society of America Bulletin**, [s. l.], v. 84, n. 3, p. 979–988, 1973.

MOUNT, Jeffrey F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments. **Geology**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 432–435, 1984.

MYERS, Keith J.; WIGNALL, Paul B. Understanding Jurassic organic-rich mudrocks—new concepts using gamma-ray spectrometry and palaeoecology: examples from the Kimmeridge Clay of Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. In: **Marine clastic sedimentology**. [s.l.] : Springer, 1987. p. 172–189.

PLINT, A. G.; JAMES, N. P.; DALRYMPLE, R. W. Wave- and storm-dominated shoreline and shallow-marine systems. **Facies models**, [s. l.], v. 4, p. 167–200, 2010.

READ, J. Fred. Carbonate platform facies models. **AAPG bulletin**, [s. l.], v. 69, n. 1, p. 1–21, 1985.

RIEGL, Bernhard et al. The gulf: facies belts, physical, chemical, and biological parameters of sedimentation on a carbonate ramp. In: **Carbonate Depositional Systems: Assessing Dimensions and Controlling Parameters**. [s.l.] : Springer, 2010. p. 145–213.

ROBERTS, H. H.; MURRAY, S. P. Controls on reef development and the terrigenous-carbonate interface on a shallow shelf, Nicaragua (Central America). **Coral Reefs**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 71–80, 1983.

ROCHA, A. J. D. Geologia dos grupos Chapada Diamantina e Una. **CPRM/MME - Série Programa Levantamentos Geológicos Básicos**, [s. l.], 1998.

ROCHA, A. J. D.; PEREIRA, C. da P.; SRIVASTAVA, N. K. Sequências carbonáticas da Formação Caboclo na folha Morro do Chapéu (Bahia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 1990, **Anais...** [s.l: s.n.]

SAYLOR, Beverly Z. Sequence stratigraphy and carbonate-siliciclastic mixing in a terminal Proterozoic foreland basin, Urusis Formation, Nama Group, Namibia. **Journal of Sedimentary Research**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 264–279, 2003.

SCHOBENHAUS, Carlos. As tafrogêneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, estado da Bahia: Revisão e novas propostas. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 265–276, 1996.

SEPKOSKI, John J. Flat-pebble conglomerates, storm deposits, and the Cambrian bottom fauna. In: **Cyclic and event stratification**. [s.l.] : Springer, 1982. p. 371–385.

SERRA, Oberto et al. Theory, Interpretation, And Practical Applicatons Of Natural Gamma Ray Spectroscopy. In: SPWLA 21ST ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM 1980, **Anais...** [s.l: s.n.]

SRIVASTAVA, N. K.; ROCHA, A. J. D. Fazenda Cristal (Bahia) - Estromatólitos mesoproterozoicos. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, [s. l.], 1999.

SRIVASTAVA, N. K.; ROCHA, A. J. D. Fazenda Cristal, BA Estromatólitos mesoproterozóicos SIGEP 93. In: **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. [s.l: s.n.]. p. 87–93.

WALKER, Kenneth R.; SHANMUGAM, Ganapathy; RUPPEL, Stephen C. A model for carbonate to terrigenous clastic sequences. **Geological Society of America Bulletin**, [s. l.], v. 94, n. 6, p. 700–712, 1983.

WALKER, Roger G.; JAMES, Noel P. **Facies models: response to sea level change**. Newfoundland, Canada: Geological Association of Canada, 1992.

ANEXOS

Anexo 1: Tabela de dados gamaespectométricos.

Anexo 2: Perfil colunar digitalizado no programa Adobe Illustrator.

Anexo 1: Tabela de dados gamaespectométricos.

Tabela 1: Dados brutos gamaespectométricos.

(continua)

ASSAY	METRAGEM	CONTAGEM TOTAL DR	POTÁSSIO (K) %	URÂNIO (U) PPM	TÓRIO (Th) PPM	Código de fácies
3388	0,15	55,6	1,8	0,6	10,5	STh
3389	0,15	51,4	1,3	1,5	9,9	
-	0,15	53,8	1,5	1,8	8,9	
3390	0,25	47,1	1,2	2,2	7,4	G
3391	0,25	52,4	1,5	2,1	7,9	
3392	0,25	40,8	1,6	0,4	6,5	
3393	0,55	51,9	1,8	1,8	6,9	STh
3394	0,55	54,7	1,8	1,1	9,4	
3395	0,55	58,7	2	0,5	11	
3396	0,7	53,7	2	1,5	7,5	H
3397	0,7	55,7	1,6	1,4	10,4	
3398	0,7	61,1	1,6	2,5	9,8	
3399	0,9	63,4	1,9	1,1	11,9	S
3400	0,9	47	1,5	2,9	4,4	
3401	0,9	53,4	1,5	2,3	7,9	
3402	1,2	44,2	1,7	1,9	4,5	H
3403	1,2	50,7	1,4	2,9	6,3	
3404	1,2	43,5	1,3	2,8	3,9	
3405	1,5	40,8	1,4	1,4	5,5	H
3406	1,5	44	1,5	0,2	8,5	
3407	1,5	38,3	1,3	0,4	7	
3408	1,8	60,1	1,7	2,9	8,3	S
3409	1,8	58,9	1,4	3,8	7,3	
3410	1,8	53,7	1,6	2,1	7,9	

3411	2,1	49,6	1,3	0,6	10,9	H
3412	2,1	46,6	1,1	1,9	9,4	
3413	2,1	40,1	1	1,6	6,9	
3414	2,5	51	1,5	2,5	6,4	H
3415	2,5	58,8	1,4	1,8	11,3	
3416	2,5	67,7	1,6	2,7	11,8	
3417	2,9	47	1,4	2,3	5,9	S
3418	2,9	55,8	1,4	2,1	9,8	
3419	2,9	43	1,2	3	3,9	
3420	3,2	41,1	1,3	2,9	2,9	S
3421	3,2	52,1	1,4	0	12,4	
3422	3,2	50,6	1,4	0,4	10,9	
3423	3,5	45,5	1,3	1,3	7,9	S
3424	3,5	48,1	1,7	1,6	6,5	
3425	3,5	48,7	1,6	2,4	5,4	
3426	4	49,5	1,5	1,5	7,9	S
3427	4	55,3	2	1,5	7,9	
3428	4	59,6	1,9	4,3	4,3	
3429	4,3	52,1	1,9	2,6	4,9	S
3430	4,3	52,6	1,8	1,2	8,5	
3431	4,3	53,7	2	1,5	7,5	
3432	4,6	44,2	1,7	1,1	6	S
3433	4,6	52,1	1,8	1,2	8,4	
3434	4,6	48,7	2,1	0,9	6	
3435	5	27	1	1,3	2,5	STh
3436	5	30,4	1	1,3	4	
3437	5	24,4	1,3	0,3	2,1	
3438	5,3	29,9	1	1,1	4	STh
3439	5,3	33	1,4	0	5,6	

3440	5,3	34,3	1,3	0,9	4,5	
3441	5,6	45,4	2,1	1,5	3,5	H
3442	5,6	50,5	1,8	2,2	5,4	
3443	5,6	39,1	1,7	1,4	3,5	
3444	5,9	35,3	1,2	0,4	6,5	H
3445	5,9	32,4	1,5	0,2	4,6	
3446	5,9	40,2	1,5	1,5	4,5	
3447	6,1	53,9	2,5	2,7	2,5	S
3448	6,1	46,6	2,2	1	4,6	
3449	6,1	61	2,3	2,5	6,4	
3450	6,4	29,1	1,3	0,8	3	STh
3451	6,4	27,5	1	1,3	2,5	
3452	6,4	31	1,3	1,3	2,5	
3453	6,7	34,2	1,3	0,1	6	STh
3454	6,7	27,5	1,1	1,5	2	
3455	6,7	32,1	1,5	0,3	4,1	
3456	7	49,8	2,1	1,5	5,5	S
3457	7	45,5	1,8	1,6	5	
3458	7	47	1,7	2	5	
3459	7,3	26,3	1,4	0,6	1,6	H
3460	7,3	24,4	1,5	0,1	1,6	
3461	7,3	34,3	1,4	1,6	3	
3462	7,6	26,9	1,5	0,2	2,6	H
3463	7,6	35,6	1,5	0,6	4,5	
3464	7,6	27,1	1,3	0,5	2,6	
3465	7,9	26	1,3	0	3,1	H
3466	7,9	28,9	1	1,2	3,5	
3467	7,9	24,9	0,9	0	5	
3468	8,2	34,2	1,4	1,7	2,5	H

3469	8,2	35,8	1,8	0,1	4,1	
3470	8,2	34,1	1,5	0,2	5,1	
3471	8,5	31,3	1,6	0,1	3,6	S
*	8,5	37,5	1,5	1,1	4,5	
3472	8,5	38,4	1,4	1,5	4,5	
3485	8,9	25,5	0,9	1,3	2,5	STh
3486	8,9	28,8	1,1	1,2	3	
3487	8,9	21,7	0,8	0,4	3,5	
3488	9,3	22,8	0,9	0,7	2,5	STh
3489	9,3	30,6	0,9	0,6	5,5	
3490	9,3	32,5	1,1	1,9	2,9	
3473	9,7	34,4	1,9	0,6	2,6	STh
3474	9,7	36,6	1,3	1,7	4	
3475	9,7	37,9	1,6	0,6	5	
3476	10	35,1	1,5	1,4	3	STh
3477	10	29,7	1,2	0,7	4	
3478	10	35,3	1,4	0,9	4,5	
3479	10,3	24,3	1,1	0,1	3,6	STh
3480	10,3	30	1,3	0,3	4,1	
3481	10,3	24,9	1,3	0,2	2,6	
3482	10,6	28,9	1,4	0,5	2,6	STh
3483	10,6	19,7	1,1	0,2	2,1	
3484	10,6	25,2	1,1	2	0	
3491	10,9	39,2	1,6	0,7	5,5	STd
3492	10,9	53,4	1,8	1,8	7,4	
3493	10,9	44,3	1,1	1,2	5	
3494	11,2	52,3	2,6	1,2	4,6	STh
3495	11,2	59,1	2,4	1,1	8	
3496	11,2	56	2,4	0,2	8,6	

3497	11,5	16,8	1	0,2	1,1	STh
3498	11,5	24,8	1,1	0	3,6	
3499	11,5	25,6	0,6	2,7	2,9	
3500	11,8	24,1	0,7	2	1,5	STh
3501	11,8	29,4	1,3	0	4,6	
3502	11,8	21,6	1	0,5	2,1	
3503	12,1	19,5	0,8	0,8	1,5	STh
3504	12,1	19,4	0,9	0,1	2,6	
3505	12,1	21,4	0,8	0,6	3	
3506	12,4	27,8	1,1	0	5,1	STh
3507	12,4	14,3	0,5	0,5	2	
3508	12,4	27,8	1,2	0	4,6	
3509	12,7	17,8	0,9	0,4	1,6	STh
3510	12,7	27,2	1,2	0,6	3,1	
3511	12,7	23,9	0,9	0,4	3,5	
3512	13	24,8	1,2	0	7,1	STh
3513	13	19,4	0,8	0,2	3,1	
3514	13	19	1	0,6	1,1	
3515	13,2	22,9	1	1,3	1	G
3516	13,2	26	1,2	1	1,6	
3517	13,2	27,3	1	2	1,5	
*	13,5	30,5	1,4	1,3	2	STh
3518	13,5	30,8	1,2	1,2	3	
3519	13,5	27,9	1,1	1	3	
3520	13,7	28,9	1,2	0	4,6	G
3521	13,7	28	1,3	0	4,1	
3522	13,7	29,1	1,2	1	3	
3523	14	27,7	0,9	0,2	5,5	G
3524	14	20,6	0,9	0	3,1	

3525	14	26,7	1	0	5,1	
3526	14,4	25,9	1	0,8	3	G
3527	14,4	29,7	1,6	0	3,1	
3528	14,4	25,2	0,8	1,5	2,5	
3529	14,6	21,2	1	0,8	1,5	S
3530	14,6	18,9	0,8	1,1	1	
3531	14,6	21,9	1	0,6	3	
3532	15	20,9	1	1,1	0,6	STh
3533	15	21,4	1,2	0,1	2,1	
3534	15	24,1	0,9	1,7	1	
3535	15,3	22,1	0,8	0,6	3	G
3536	15,3	20,5	1,1	0	2,1	
3537	15,3	26,3	1	0,1	4,5	
3538	15,6	26,1	1,6	0,1	1,6	STh
3539	15,6	25,6	0,9	1,9	1,5	
3540	15,6	28,6	1,4	0	3,6	
3541	16	35,2	1,4	0,1	6	STh
3542	16	33	1,9	0	3,2	
3543	16	39,6	1,6	1	5	
3544	16,2	25,1	1	1,6	1	G
3545	16,2	29,3	1,2	0,4	4,5	
3546	16,2	38,8	1,4	1	5,5	
3547	16,5	37,9	1,8	1	3,1	STh
3548	16,5	37,7	1,6	0,3	5,6	
3549	16,5	41,6	1,6	1,1	5,5	
3550	16,8	24,1	1,1	1,5	0,5	G
3551	16,8	26,5	1,5	0,8	1,1	
3552	16,8	34,3	1,9	0	3,7	
3553	17,1	37,1	1,4	1,8	3,5	STh

3554	17,1	31,9	1,6	0,6	3,1	
3555	17,1	30	0,9	1,9	2,9	
3556	17,4	31,4	1,4	0,2	4,7	STh
3557	17,4	22,9	1	0	3,6	
3558	17,4	26	1,4	1	1,1	
3559	17,7	44,2	1,5	2	4,9	STh
3560	17,7	42,8	1,8	0,4	6,5	
3561	17,7	36,2	1,6	0,1	5,6	
3562	18	33,5	1,1	1	5,5	STd
3563	18	36,6	1,3	0,8	5,5	
3564	18	40,3	1,7	1,2	4,5	
3565	18,3	28,2	1,2	0,8	3	STh
3566	18,3	28,9	1,4	0,7	2,6	
3567	18,3	33,6	1	1,7	4,4	
3568	18,6	25,5	1,2	0,1	3,6	STh
3569	18,6	32,3	1,5	1,1	2,5	
3570	18,6	29,7	1,1	1,7	2,5	
3571	18,9	24,5	1,3	0,3	2,1	STh
3572	18,9	30,2	1,1	0,9	4	
3573	18,9	34	1,3	1,8	3,8	
3574	19,2	32,9	1,2	1,1	4	STh
3575	19,2	26,1	0,9	1,2	3	
3576	19,2	29,9	1,2	0,2	5	
3577	19,5	24,8	1,2	0,7	2,1	STh
3578	19,5	27,5	1,2	1,1	2	
3579	19,5	24,9	0,8	1,6	2	
3580	19,8	37	1,2	0,7	6,5	STh
3581	19,8	35	1,5	1,9	2	
3582	19,8	36,7	1,5	0,3	5,6	

3583	20,1	40,8	1,8	0,1	6,1	STh
3584	20,1	35,3	1,6	0,5	4,1	
3585	20,1	49,6	1,9	1,7	6	
3586	20,4	62,6	2,8	2,9	4	STd
3587	20,4	67,9	3	3,6	3,4	
3588	20,4	65	2,9	3,1	4	
3589	20,7	65,8	3,1	1,9	5,5	STd
3590	20,7	66,7	3,1	1,6	6,5	
3591	20,7	65,3	3,7	0	6,3	
3592	21	23,9	1,2	0,5	2,1	STd
3593	21	26,6	1,2	0,1	4,1	
3594	21	30,8	1,6	0	3,6	
3595	21,3	35,9	1,5	1,2	3,5	STd
3596	21,3	31,8	1,4	1,3	2,5	
3597	21,3	31,1	1,4	0,3	4,1	
3598	21,6	44,1	2,1	0,6	5,1	STh
3599	21,6	37,2	1,5	0	6,6	
3600	21,6	45,1	1,8	1,3	5,5	
3601	21,9	32,3	1,2	0,9	4,5	STh
3602	21,9	29,4	0,8	2,3	2,4	
3603	21,9	27,3	1,4	0	3,1	
3604	22,2	32,3	1,2	0,7	4,5	STh
3605	22,2	32,9	1,4	0,4	4,6	
3606	22,2	35,9	1,5	1,4	3	
3607	22,5	33,2	1,4	0,2	5,1	STh
3608	22,5	31,5	1,1	1,1	4	
3609	22,5	39,1	1,3	1,9	4,4	
3610	22,8	33,7	1,2	0,3	6	STh
3611	22,8	35,1	1,2	0	7	

3612	22,8	33,9	1	0,7	6,5	
3613	23,1	32,3	1,7	0,2	3,1	STh
3614	23,1	36,6	1,2	0,9	6	
3615	23,1	29,6	1,5	0,9	3,6	
3616	23,4	30,4	1	1,3	4	STh
3617	23,4	33,8	1,3	0,7	4,5	
3618	23,4	34,1	1,5	1,3	2,5	
3619	23,7	28,8	1,1	0,7	4	G
3620	23,7	22,1	1,1	0	2,6	
3621	23,7	39,7	1,3	0	8,5	
3622	24	39,6	1,2	1,3	6,4	STh
3623	24	35,1	1,4	0,6	5	
3624	24	37,9	1,6	1,4	3,5	
3625	24,2	35,9	1,5	2,2	1,5	G
3626	24,2	35,7	1,9	0,8	2,6	
3627	24,2	38,7	1,6	1,3	4	
3628	24,5	34,5	1,6	1,5	2	STh
3629	24,5	41,7	1,5	1,6	5	
3630	24,5	34,7	1,2	2,1	2,9	
3631	24,8	40,2	1,7	1,3	4	STh
3632	24,8	43	1,9	2	3	
3633	24,8	35,7	1,4	1,3	4	
3634	25,1	60,8	2,5	0,5	9,5	STh
3635	25,1	56,9	2,4	1,7	6	
3636	25,1	48,2	1,9	2,1	4,5	
3637	25,4	83,3	4	2,1	7,1	STh
3638	25,4	74,3	3,2	1,5	9	
3639	25,4	78,3	4	1,8	6,1	
3640	25,7	101,4	1,1	1,6	9,6	STh

3641	25,7	93,5	4,1	2,5	9,5	
3642	25,7	108,3	4,5	2,7	12,9	
3643	26,2	82,9	4,1	0	10,7	Brc
3644	26,2	84	3,9	2,5	7	
3645	26,2	75,7	3,5	2,2	6,5	
3646	26,5	47,5	2,1	0,7	6	STd
3647	26,5	63,2	2,7	0	10,2	
3648	26,5	58,2	2,7	2,8	3	
3649	26,8	51	1,9	2,2	5,4	STd
3650	26,8	53	1,9	1,5	7,5	
3651	26,8	52,4	2	1,6	6,5	
3652	27,1	70,3	2,9	0,4	11,5	STd
3653	27,1	63,1	2,8	1,3	7	
3654	27,1	69,9	3	2,4	6,5	
3655	27,4	93,9	4,4	1,6	10,1	STh
3656	27,4	83	4	1,6	8,1	
3657	27,4	96,4	4,4	3,7	7	
3658	27,7	64,1	3,1	2,5	3,5	STh
3659	27,7	74,4	3,4	1,6	8	
3660	27,7	78,4	2,9	2,7	9,4	
3661	28,1	48,6	2	0,6	7	STd
3662	28,1	43,6	1,9	0,1	7,1	
3663	28,1	47,7	1,7	0,4	8,5	
3664	28,4	43,5	1,8	1,4	4,5	STd
3665	28,4	41,8	2,1	0,5	4,1	
3666	28,4	51,6	1,5	2,4	6,9	
3667	28,7	46,6	1,8	2,3	4	S
3668	28,7	41,2	1,7	0,7	5,5	
3669	28,7	36	1,4	1,8	3	

3670	29	40,7	1,7	0,7	5,5	S
3671	29	39,2	1,2	1,8	4,9	
3672	29	37,7	1,7	2	1,5	
3673	29,3	39,6	1,3	1,1	6	S
3674	29,3	34,7	1,6	0	5,1	
3675	29,3	35	1,4	0,1	6	
3676	29,6	33,6	1,3	0,6	5	STh
3677	29,6	37,2	1,7	1,1	3,5	
3678	29,6	43	1,4	1,2	6,9	
3679	29,8	37,5	1,4	0,4	6,5	S
3680	29,8	32,2	1,1	0,3	6	
3681	29,8	30,8	1,2	0,5	4,5	
3682	30,1	34,2	1,3	1,9	2,5	S
3683	30,1	31,7	1,2	0	6,1	
3684	30,1	32,5	1,1	1,8	3	
3685	30,4	36,5	1,1	3	1,9	STh
3686	30,4	29,3	1,2	0,4	4,5	
3687	30,4	32,2	0,8	1,4	3,4	
3688	30,7	42,6	1,7	1,9	4	S
3689	30,7	43,5	1,3	1,9	5,9	
3690	30,7	34	0,8	1,6	5,4	
3691	31	41	1,4	1,4	5,5	S
3692	31	34	1,2	0,2	6,5	
3693	31	33,7	1,4	1	3,5	
3694	-	-	-	-	-	
3695	-	-	-	-	-	
3696	-	-	-	-	-	
3697	31,3	26,2	1,3	0,3	2,6	S
3698	31,3	33,6	0,9	2,7	2,9	

3699	31,3	33,4	1,3	0,3	5,5	
3700	31,6	26,1	0,9	0,3	4,5	STh
3701	31,6	30,5	0,9	1,1	4,5	
3702	31,6	26,5	0,8	1,7	2,5	
3703	31,9	28,9	1,4	0	4,1	STh
3704	31,9	27,7	1	0,1	5,5	
3705	31,9	24,1	1	0,1	4,1	
3706	32,2	29,4	1,1	1	3,5	STh
3707	32,2	23,2	1,1	0,3	2,6	
3708	32,2	31,1	1,1	0	6,1	
3709	32,5	26	0,7	1,5	3	S
3710	32,5	26,9	0,9	0,1	5,5	
3711	32,5	25,6	1	1,1	2,5	
3712	32,8	24	0,8	1,3	2,5	S
3713	32,8	28,1	1	1,4	3	
3714	32,8	25,6	0,8	0	5	
3715	33,1	19,8	1	0	2,6	STd
3716	33,1	23,2	0,5	1,9	2,4	
3717	33,1	26,2	0,8	0,9	4	
3718	33,4	31,1	0,8	1	5,5	S
3719	33,4	23,9	1	0,6	3	
3720	33,4	25,6	0,8	1	3,5	
3721	33,7	26,9	0	1,1	4	S
3722	33,7	26,7	1,1	1,3	2	
3723	33,7	26,6	0,8	0,6	5	
3724	34	27,4	1	0,8	3,5	G
3725	34	28,5	1	1,7	2,5	
3726	34	34,9	0,9	2,6	3,4	
3727	34,2	28	1,2	0,4	3,6	G

3728	34,2	27,4	1,1	0,8	3	
3729	34,2	26,1	1,5	0	2,7	
3730	34,4	30,5	0,7	1,2	5,4	S
3731	34,4	33,6	1,1	0	7	
3732	34,4	30,9	1,1	0,3	5,5	
3733	34,7	22	0,9	0	3,6	S
3734	34,7	27,4	0,7	1,1	4,5	
3735	34,7	23,7	0,6	0,7	4,5	
3736	35	29,7	1	1,9	2,5	STh
3737	35	28,5	1	0,7	4,5	
3738	35	25,7	0,9	1	4,5	
3739	35,3	25,9	1	1,6	1,5	STh
3740	35,3	31	0,9	0,2	7	
3741	35,3	32,1	1	0,8	5,5	
3742	35,6	30,8	1	0,9	4,5	G
3743	35,6	23,8	0,8	1,1	2,5	
3744	35,6	26,2	0,8	1,7	2,5	
3745	36,2	32,1	1,1	0,8	5	STh
3746	36,2	23,5	1	0,2	3,6	
3747	36,2	32	1,1	1,1	4,5	
3748	36,5	20,2	1	0,1	2,6	G
3749	36,5	23,8	0,6	0,4	5	
3750	36,5	32,7	0,7	1,6	5,4	
3751	36,8	35,2	1,1	1,5	4,5	STh
3752	36,8	32,7	1,3	0,1	5,6	
3753	36,8	24,5	1,1	0,1	3,6	
3754	37,1	26,5	1	0,5	4	STh
3755	37,1	28,4	0,8	1,3	4	
3756	37,1	35,5	0,9	0	8,6	

3757	37,3	28,2	0,5	1,4	5,4	S
3758	37,3	30,8	0,8	1,8	3,9	
3759	37,3	22,9	1	0	3,6	
3760	37,7	35,2	1,3	0	6,5	STh
3761	37,7	27,2	0,6	1,3	4,4	
3762	37,7	24,8	1	0,1	4,1	
3763	38	24,4	0,9	0,6	3,5	G
3764	38	22,6	1	0,5	2,6	
3765	38	17	0,8	0,4	1,6	
3766	38,3	30,9	0,9	0,7	6	STh
3767	38,3	26,5	0,6	1,1	4,5	
3768	38,3	24,5	0,5	0,8	5	
3769	38,6	36,5	1	0	8,6	STh
3770	38,6	29,9	0,7	1,5	4,9	
3771	38,6	27,9	0,8	1,4	3,5	
3772	39	27	0,8	1,5	3	S
3773	39	31,2	0,8	0,5	6,5	
3774	39	27,8	0,9	1,7	2,9	
3775	39,3	26,9	0,7	0,2	5	STh
3776	39,3	24,6	0,7	1,2	3,5	
3777	39,3	29,6	0,9	2,7	2,4	
3778	39,6	27,6	1	2	1,9	STh
3779	39,6	25,3	0,8	0,3	4	
3780	39,6	22,6	0,8	0,9	2,5	
3781	39,9	18,9	0,7	0,5	2,5	STd
3782	39,9	24,8	0,7	1,2	3,5	
3783	39,9	19,9	0,9	1,1	0,5	
3784	40,2	24,6	0,9	0,8	3	STd
3785	40,2	20,6	0,8	0,7	2,5	

3786	40,2	23,5	0,9	0,4	3,5	
3787	40,4	25,3	0,9	0,1	4,5	G
3788	40,4	17,3	0,7	0,6	1,5	
3789	40,4	22,6	1	0,5	2,6	
3790	40,7	21,4	0,3	0	6,5	STd
3791	40,7	19,1	0,6	0,9	2,5	
3792	40,7	30,6	0,8	1,5	4,4	
3793	40,9	29,7	0,9	0,3	6	G
3794	40,9	27,1	0,5	1,7	4,4	
3795	40,9	28	0,8	0	6,5	
3796	50	29,8	0,8	1,8	3,4	STh
3797	50	33,2	1,4	0,1	5,6	
3798	50	37,6	1,1	2,1	4,4	
3799	50,3	27,1	1	0,2	5	G
3800	50,3					
3801	50,3	27,7	0,8	0,3	6	
3802	50,5	24,1	1,2	0,3	2,6	S
3803	50,5	19,2	1,1	0	1,6	
3804	50,5	22,5	0,6	2,1	0,9	
3805	50,8	25,8	1,1	0	4,1	STh
3806	50,8	23,3	0,7	2	1,5	
3807	50,8	28,1	1	0,4	5	
3808	51,2	24,8	0,7	2,3	0,9	G
3809	51,2	24,4	0,5	3,4	0	
3810	51,2	24,7	0,8	0	5,1	
3811	51,5	33,1	1	1,7	3,9	STh
3812	51,5	37,8	0,8	2,5	4,9	
3813	51,5	26,8	0,9	1,4	3	
3814	51,9	26,2	0,8	0,9	4	STh

3815	51,9	25,5	0,8	0,7	4	
3816	51,9	28,3	0,8	0,8	5	
3817	52,2	23,8	0,7	0	5,5	G
3818	52,2	27,2	0,6	1,6	2	
3819	52,2	20,6	0,8	0	3,6	
3820	52,5	25,4	0,9	0,5	5	G
3821	52,5	30	0,8	1	5,4	
3822	52,5	21,5	0,6	0,3	4,5	
3823	52,8	18,3	1	0,2	1,6	STh
3824	52,8	23,3	1	0	3,6	
3825	52,8	18,4	0,7	0,5	2,5	
3826	53,1	24,6	0,9	0,8	3	S
3827	53,1	19,1	0,8	0,7	2	
3828	53,1	24,7	0,9	0	4,6	
3829	53,4	29,6	1	1,4	3,5	S
3830	53,4	26,8	0,9	1,4	3	
3831	53,4	20,6	0,8	0,5	2,5	
3832	53,7	14,3	0,7	0,2	1,6	S
3833	53,7	20,7	0,9	0,2	3,1	
3834	53,7	17	0,9	0	2,1	
3835	54	23,7	1	0	4,1	S
3836	54	15,6	0,6	0,5	2	
3837	54	17,5	1	0,2	1,1	
3838	54,3	22,1	0,9	0,5	2,5	S
3839	54,3	19,9	0,7	0,6	3	
3840	54,3	17,6	0,7	0	3,1	
3841	54,6	11,8	0,3	0,6	1,5	G
3842	54,6	17,7	0,5	1	2	
3843	54,6	13,5	0,6	0	2,1	

3844	54,9	19,2	0,7	0	3,6	S
3845	54,9	13,9	0,4	0	3,1	
3846	54,9	17,6	0,7	0,5	2	
3847	55,3	25,3	0,5	1,8	3,4	S
3848	55,3	22,8	0,4	1,6	3,4	
3849	55,3	20,3	0,6	0,3	4	
3850	55,6	19,7	0,5	0	5	STh
3851	55,6	17,3	0,7	0	3,1	
3852	55,6	23,8	1	0	4,1	
3853	55,9	18,5	0,9	0,8	1,1	STh
3854	55,9	31,4	1,2	1,2	3,5	
3855	55,9	23,3	1	0,7	2,5	

Anexo 2: Perfil colunar digitalizado no programa Adobe Illustrator.

PERFIL COLUNAR CRISTAIS

INTERPRETE(S): GABRIEL D. / CLAYTON / JOÃO PEDRO / CARREL DATA: 23/04/2019

SEÇÃO: GRUTA DOS CRISTAIS COORD. UTM: 0248554 mE / 8691799 mN DATUM: SAD-69 / 24S

Conglomerado híbrido maciço - Gm	Arenito híbrido swaley - Sscs	AF1 - Associação de fácies 1
Conglomerado híbrido com estratificação cruzada tangencial - Gt	Arenito híbrido hummocky - Shcs	AF2 - Associação de fácies 2
Arenito híbrido com estratificação cruzada tangencial - St	Heterolito - H	AF3 - Associação de fácies 3
Arenito híbrido com estratificação cruzada de baixo ângulo - Si	Estromatólito dômico - STd	Amostra com lâmina delgada
Arenito híbrido maciço - Sm	Estromatólito horizontal - STh	

