



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA
TERRA**

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

LABORATÓRIO DE GEOLOGIA MARINHA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

LAURA SILVEIRA VIEIRA SALLES

**PLATAFORMA DE ABROLHOS: DESENVOLVIMENTO RECIFAL
DURANTE O QUATERNÁRIO SUPERIOR**

NITERÓI

2020

LAURA SILVEIRA VIEIRA SALLES

**PLATAFORMA DE ABROLHOS: DESENVOLVIMENTO RECIFAL
DURANTE O QUATERNÁRIO SUPERIOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito para obtenção do título de Doutora em Dinâmica dos Oceanos e da Terra.

Orientador: Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alex C. Bastos

NITERÓI

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

V657p Vieira, Laura Silveira
Plataforma de Abrolhos: Desenvolvimento recifal durante o quaternário superior / Laura Silveira Vieira ; Cleverton Guizan Silva, orientador ; Alex Cardoso Bastos, coorientador. Niterói, 2020.
98 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2020.d.08931413645>

1. Evolução (Biologia); aspecto histórico. 2. Produção intelectual. I. Silva, Cleverton Guizan, orientador. II. Bastos, Alex Cardoso, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

LAURA SILVEIRA VIEIRA SALLES

PLATAFORMA DE ABROLHOS: DESENVOLVIMENTO RECIFAL DURANTE O QUATERNÁRIO SUPERIOR

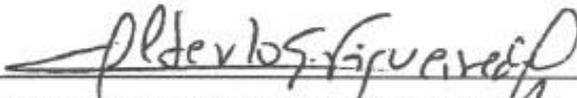
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora.

BANCA EXAMINADORA



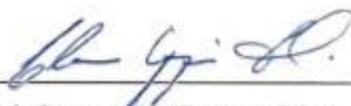
Prof. Alex Cardoso Bastos, Dr.

Departamento de Geologia / LAGEMAR-UFF



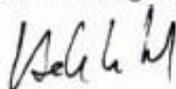
Prof. Alberto Garcia de Figueiredo Junior, Dr.

Departamento de Geologia / LAGEMAR-UFF



Prof. Cleverson Guizan Silva, Dr.

Departamento de Geologia / LAGEMAR-UFF



Prof. Helenice Vital, Dr.ª.

Departamento de Geologia / UFRN



Prof. Luigi Jovane, Dr.

Instituto Oceanográfico - USP

Aos meus pais,
meus eternos anjos da guarda.

AGRADECIMENTOS

O ato de agradecer abrange demonstrar o quão importante é a rede de apoio que proporciona condições para que o aluno consiga desenvolver uma tese a partir dos conhecimentos adquiridos e aprimorados ao longo dos anos de qualificação. Assim, hoje, agradeço primeiramente ao meu coorientador, Professor Dr. Alex Cardoso Bastos, que foi muito mais que orientador ou chefe, se transformou em amigo e maior exemplo de caráter, idoneidade, sensatez e profissionalismo no caminho deste longo processo. Alex, sem você, definitivamente, esse trabalho não aconteceria. Obrigada do fundo do meu coração!

Agradeço ao IODP/Capes por bolsa de estudos e por ter me proporcionado a oportunidade de aprimorar meus conhecimentos mais uma vez com o Dr. Jody M. Webster e seu grupo de pesquisa (Geocoastal Research Group) na University of Sydney - Austrália em doutorado sanduíche por quatro meses. A todo o Geocoastal Reseach Group, especialmente ao Dr. Jody M. Webster, Dra. Belinda Dechnik, Dra. Kelsey Saborn e Msc. Madhavi Patterson por todo o suporte, acolhimento e ensinamentos na Austrália. Foi uma experiência incrível de aprendizado e amadurecimento profissional e pessoal.

Agradeço a todos os colaboradores, especialistas e pesquisadores que, de alguma forma, contribuíram para a amostragem e análise dos resultados desta tese, como os colaboradores do Instituto de Pesquisa do Jardim Botânico que participaram do campo, o Professor Juan Carlos Braga (Universidad de Granada) que fez a análise taxonômica das algas calcárias, os Professores Dr. Luigi Jovane (IO-USP) e Dr. Leonardo Tavares (IPJB) que analisaram amostras de mineralogia, o Professor Dr. Caio Turbay (UFESB) que interpretou os resultados de mineralogia e o Dr. André Rodrigues (UFES) que analisou e interpretou os resultados de foraminíferos.

Em especial eu gostaria de agradecer à Família Labogeo, pois o laboratório não é apenas um local de trabalho, mas um ambiente de confiança, respeito, parceria, troca, e muito aprendizado. Obrigada Dra. Valéria Quaresma e Dr. Alex Bastos por edificarem e compartilharem este respeito mútuo com os alunos e colaboradores. Sentimento que nos faz ter prazer em fazer parte desta equipe. Aos amigos e companheiros de trabalho Dra. Tarcila Franco, Dra. Danielle Peron D'Agostini, Msc. Pedro Menandro, Msc. Geandré Boni, Msc. Fernanda Vedoato e Lara Magioni por me socorrerem nos momentos de finalização da tese com figuras, mapas, discussões, ou mesmo por apenas me tranquilizarem em momentos mais tensos.

À minha família e amigos por acreditarem e se orgulharem em ter uma futura doutora na família e no ciclo de amizades. Infelizmente meu pai partiu antes de me ver doutora, mas tenho certeza que se orgulharia muito deste título, sendo ele um professor universitário que sempre lutou pelo livre acesso à educação como melhor caminho para o crescimento e aprimoramento da sociedade.

Ao meu marido, Diego Salles, que sempre me apoiou, incentivou e amparou para que meu doutorado fosse desenvolvido da melhor forma para meu crescimento profissional e pessoal. Obrigada por seu incansável apoio... E por muitas vezes ter passado por cima mesmo de suas prioridades para que este doutorado fosse finalizado com sucesso.

Por fim, ao meu marido (mais uma vez) e ao meu irmão Pedro Silveira, por entenderem minhas aflições, medos e preocupações na reta final da escrita da tese. Momento crítico no mundo com a pandemia da COVID-19 e nós três juntos em isolamento social por mais de 120 dias enquanto eu terminava esta tese. Momento delicado!

RESUMO

O Período Quaternário é marcado por mudanças climáticas globais, resultando em trocas de massa entre camadas de gelo e oceano que impulsionam grandes variações eustáticas do nível do mar e, conseqüentemente, alterações significativas no padrão ecológico e sedimentar das margens continentais. Dentro deste contexto, a Plataforma de Abrolhos apresenta atualmente uma complexa heterogeneidade morfológica e sedimentar que reflete sua evolução ao longo do tempo geológico. O objetivo desta tese contempla analisar a evolução paleoambiental da Plataforma interna de Abrolhos durante o Pleistoceno e o Holoceno, investigar e interpretar as variações temporais nas fácies sedimentares/recifais, além de propor um modelo de evolução para os recifes costeiros de Abrolhos. Seu desenvolvimento tem como base a perfuração de testemunhos longos em dois recifes rasos da plataforma, Recife de Pedra Grande/Paredes (PG) e Recife de Coroa Vermelha (CV). A análise e interpretação dos dados foram realizadas com base em análises petrográficas, taxonômicas, cronológicas, sedimentológicas, texturais, mineralógicas e paleontológicas, contribuindo de forma integrada para uma melhor interpretação da evolução do sistema. Os resultados mostraram que PG é composto basicamente de estrutura recifal desde o topo até sua base (20m), o que não foi observado nos testemunhos coletados em CV, onde apenas o topo (0 a ~25m) é composto de estruturas recifais holocênicas e pleistocênicas. PG se desenvolveu todo no Holoceno, com topo recifal vivo até os dias atuais, porém não foi possível alcançar a profundidade de seu início recifal, mas sua idade mais antiga foi identificada como 6785 ± 200 cal AP a 18m de profundidade, com taxa de acreção vertical de 3.2 m/1000 anos. Suas principais espécies construtoras foram *M. cavernosa*, *M. harttii*, *Porites sp.*, *S. stellata*, *Millepora sp.*, *H. munitum*, *Lithophyllum sp.*, *L. pustulatum*, *P. conicum*, *P. onkodes*, e *M. erubescens*. CV, por sua vez, começou seu desenvolvimento holocênico há 6406 ± 205 anos AP (a 10,5 m de profundidade) e parou seu crescimento por volta de 4442 ± 220 anos AP (taxa de acreção recifal de 5.3 m/1000 anos), possivelmente devido a um novo input fluvial do rio Caravelas na região costeira de Nova Viçosa. Suas principais espécies construtoras foram *F. grávida*, *M. cavernosa*, *M. harttii*, *Porites sp.*, *S. stellate*, *Millepora sp.*, *Amphiroa sp.*, *H. munitum*, *L. pustulatum*, *Paulsilvella sp.*, *P. onkodes*, *Spongites sp.*, *Halimeda sp.* e *M. erubescens*. Baseado em dados coletados por Bastos et al. (2015), foi possível relacionar os testemunhos com a morfologia atual do fundo marinho, criando uma nova teoria de distribuição dos recifes costeiros, onde PG se mostra pertencente a uma cadeia de recifes submersos na direção norte-sul entre os arcos recifais interno e externo na plataforma de Abrolhos. Estratigraficamente abaixo do recife holocênico foram identificadas 7 e 9 fácies estratigráficas silicicláticas/carbonáticas nos dois testemunhos amostrados em CV (CV1 e CV2). A interpretação dos testemunhos mostrou que a região do recife de Coroa Vermelha se manteve variando entre condições de plataforma interna mais exposta a mais restrita (exceto em dois momentos de exposição subaérea, durante os dois últimos máximos glaciais), com foraminíferos característicos de ambientes costeiros e alto teor de matéria orgânica, de plataforma interna de boa circulação de água e de ambientes recifais. Já o aporte sedimentar terrígeno se mostrou presente ao longo de todo o tempo geológico amostrado, em momentos de maior ou menor influência sobre a sedimentação. A análise mineralógica mostrou que o domínio climático foi de clima úmido, mas com possíveis pequenos momentos de climas mais secos. Os resultados obtidos, compilados a outros trabalhos já feitos na área de estudo deram subsídio para a construção de uma hipótese de modelo de evolução para a Plataforma Interna de Abrolhos durante o Quaternário superior (possivelmente últimos ~250.000 anos). A plataforma Interna de Abrolhos evoluiu em seis principais fases, alternando entre períodos de domínio de sedimentação carbonática, sedimentação terrígena, exposição subaérea, crescimento recifal pleistocênico e crescimento recifal holocênico, onde o registro recifal só foi encontrado a partir do Pleistoceno superior (MIS 5).

Palavras-chave: Plataforma de Abrolhos, Evolução Paleoambiental, Quaternário Superior.

ABSTRACT

The Quaternary Period is marked by global climate changes, that results in mass exchanges between ice and the ocean. This characteristic drive large eustatic variations in sea level and significant changes in the ecological and sedimentary pattern of continental margins. In this context, the Abrolhos Shelf presents a large morphological and sedimentary heterogeneity, that reflects its evolution over geological time. The aim here is to analyze the Abrolhos Inner Shelf's paleoenvironmental evolution during the Pleistocene and the Holocene. Also, to investigate the sedimentary / reef deposits's temporal variations. Last, to proposing an evolution model for the Abrolhos Inner Shelf. The methods are based on long cores on two shallow reefs, Pedra Grande Reef/ Paredes (PG) and Coroa Vermelha Reef (CV). Data analysis were performed based on petrography, taxonomy, chronology, sedimentology, core logging, mineralogy and paleontology. All results together give an integrated way to a better interpretation of the system's evolution. The results showed that PG is basically composed by reef build (20m). CV is composed by reefs only at the top (0 to ~ 25m), which are a holocene and pleistocene reef buildings. PG developed over the Holocene (reef top still a live), however it was not possible to reach the reef beginning. PG oldest age was 6785 ± 200 cal BP at 18m deep, with a reef accretion rate around 3.2 m / 1000 years. The PG main reef builders were *M. cavernosa*, *M. harttii*, *Porites sp.*, *S. stellata*, *Millepora sp.*, *H. munitum*, *Lithophyllum sp.*, *L. pustulatum*, *P. conicum*, *P. onkodes*, and *M. erubescens*. On the other hand, CV began in the holocene around 6406 +/- 205 years BP (at 10.5 m deep), but died around 4442 +/- 220 years AP (reef accretion rate of 5.3 m / 1000 years), possibly due a new Caravelas River input, close to Nova Viçosa city. CV main reef builders were *F. grávida*, *M. cavernosa*, *M. harttii*, *Porites sp.*, *S. stellata*, *Millepora sp.*, *Amphiroa sp.*, *H. munitum*, *L. pustulatum*, *Paulsilvella sp.*, *P. onkodes*, *Spongites sp.*, *Halimeda sp.* and *M. erubescens*. Using Bastos et al. (2015) data base, we created a new theory for the holocene inner arc reefs distribution, that PG reef is shown to belong a reefs submerged line in the north-south direction between the inner and outer reef arcs on the Abrolhos Shelf. Below the holocene reef, 7 and 9 siliciclastic / carbonatic stratigraphic facies were identified into the two cores sampled in CV (CV1 and CV2). The results showed that the environmental conditions around Coroa Vermelha reef kept between more exposed inner shelf and more restrict inner shelf, except during the last two glacial maximums. The foraminifera analysis showed environmental patterns from coastal settings (with high content of organic material) to inner shelf with good circulation and reef environments. The coastal input was observed over all time, into a greater or lesser sedimentation influence. Mineralogical analysis showed that the humid climate was the prevailing one, but was observed small moments of possible drier climates. The results here were compiled with other studies at the same area. Together, they provided the base to make an Abrolhos Internal Shelf evolution model's hypothesis during the late Quaternary (possibly last ~ 250,000 years). The Abrolhos Inner Shelf evolved in five main phases. These phases varied between dominance periods of carbonate sedimentation, clastic sedimentation, pleistocene reef growth, subaerial shelf exposure and holocene reef growth. The reef records, in turn, was only found from the late Pleistocene (MIS 5).

Keywords: Abrolhos Shelf, Paleoenvironmental Evolution, Late Quaternary.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição da subamostragem dos testemunhos, incluindo o número de amostras coletadas para cada método e local onde foram analisadas/interpretadas.	43
Tabela 2: Quantitativo de foraminíferos identificados nas amostras ao longo dos testemunhos CV1 e CV2. São representados o total de foraminíferos identificados, a riqueza de espécies e quantitativo de foraminíferos por grama de cada amostra, assim como o quantitativo dos principais grupos encontrados.....	47
Tabela 3: Distribuição das assembleias I, II e III de foraminíferos ao longo dos testemunhos CV1 e CV2.....	49
Tabela 4: Quantificação (porcentagem) dos minerais identificados para os testemunhos CV1 e CV2, em cada uma das amostras analisadas.....	50
Tabela 5: Classificação mineralógica dos conjuntos difratométricos.....	52

TABLES LIST

Table 1: Main Reef framework builders taxonomy of CV and PG cores.....	29
Table 2: Radiocarbon dates, composition of the dated material, accretion rates and XRD results of PG and CV cores.....	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Parte da Plataforma Continental Leste Brasileira evidenciando seu alargamento, que caracteriza a Plataforma Continental de Abrolhos (PCA). Na porção centro-norte da PCA são representados os recifes emerso ou quase emerso da plataforma em preto, chamados de arco interno e arco externo, respectivamente. Em cinza é identificado o continente representado pela costa dos Estados da Bahia e Espírito Santo, e em escala de cores a batimetria do leito marinho. 15
- Figura 2: Porção centro-norte da Plataforma Continental de Abrolhos na região do seu complexo recifal. (A) Em preto são representados os recifes emerso ou quase emerso da plataforma, recifes Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) e Parcel das Paredes compondo o arco interno, e o Parcel dos Abrolhos (PAB) compondo o arco externo. Em cinza é identificado o continente representado pela costa do Estado da Bahia e em escala de cores a batimetria do leito marinho. (B) representação da morfologia dos pináculos e bancos recifais presentes nos arcos interno e externo. (Modificado de Leão et al., 2003). 17
- Figura 3: Imagem de satélite de alta resolução (Quick Bird) evidenciando a Ilha de Coroa Vermelha acima do Recife de Coroa Vermelha. Fonte: Cedida pela Conservation International Brasil / CI. 18
- Figura 4: Imagem representando a logística de reboque e funcionamento da perfuratriz MAQ 850 nos pontos de amostragem. (A) representa como foi feita a logística de reboque da perfuratriz até os recifes situados a aproximadamente 10 km da costa, (B) momento da perfuração do testemunho PG no recife Pedra Grande em 25 de fevereiro de 2016, (C) momento da perfuração do testemunho CV2 no recife de Coroa Vermelha em 05 de março de 2016 e (D) momento da perfuração do testemunho CV1 no recife de Coroa Vermelha em 28 de fevereiro de 2016. 19
- Figura 5: Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de amostragem dos testemunhos na Plataforma de Abrolhos. Descrição: Recifes emerso ou quase-emersos da Plataforma são representados como Paredes, SG – Sebastião Gomes, CV – Coroa Vermelha, NV – Nova Viçosa e PAB – Parcel dos Abrolhos; A- zoom do Recife de Coroa Vermelha evidenciando os pontos de coleta dos testemunhos CV1- amostrado a sotavento da Ilha de Coroa Vermelha e CV2- amostrado a boreste da Ilha de Coroa Vermelha. 42
- Figura 6: Classificação de rochas carbonáticas de Dunham (1962) e modificada por Embry and Klovan (1972). (Fonte: Modificada de Embry and Klovan (1972). 43
- Figura 7: Distribuição da riqueza de espécies de foraminíferos (em azul) e quantitativo de foraminíferos por grama de sedimento analisado (em verde) nas amostras ao longo dos testemunhos CV1 e CV2. 48
- Figura 8: Distribuição estratigráfica do testemunho CV1, evidenciando sua classificação textural; teor de carbonato do cálcio; presença de algas e quartzo nas lâminas petrográficas; assembleia de foraminíferos; mineralogia e porcentagem de recuperação de cada fácies estratigráfica. 53
- Figura 9: Exemplo de lâminas petrográficas da Unit 8 de CV1. São representados os grãos de quartzo em meio a sedimentação carbonática e siliciclástica. 54
- Figura 10: Exemplificação das fácies estratigráficas Unit 7, Unit 6 e Unit 5 de CV1, evidenciando um contato possivelmente erosivo entre as unidades. São representados também exemplos de lâminas petrográficas com presença de grãos de quartzo, foraminíferos, algas calcárias (CCA) (*Halimeda* sp.) e sedimentação carbonática/siliciclástica em cada uma das fácies sedimentares. 55
- Figura 11: Exemplificação das lâminas petrográficas das Units 4, 3 e 2 de CV1. São representados grãos de quartzo em meio a sedimentação fina siliciclástica nas fácies estratigráficas Unit 4 e Unit 3, além de nódulo algal (CCA) e foraminífero na Unit 3. Já na Unit 2 são representados construtores recifais como o coral escleractíneo *Siderastrea stellata*, briozoário e alga (representada com presença de estruturas reprodutivas (conceptáculos)), além de foraminíferos. 57
- Figura 12: Interpretação estratigráfica do testemunho CV2, evidenciando sua classificação textural; teor de carbonato do cálcio; presença de algas e quartzo nas lâminas petrográficas; assembleia de foraminíferos; mineralogia e porcentagem de recuperação de cada fácies estratigráfica. 59
- Figura 13: Exemplos de organismos e sedimentação encontrados nas lâminas petrográficas nas fácies estratigráficas Unit 9, Unit 8 e Unit 7. São evidenciados organismos como foraminíferos e algas

calcárias (CCA), além de variações de sedimentação carbonática e siliciclástica, com presença de quartzo nas três fácies.	61
Figura 14: Exemplos de lâminas petrográficas das fácies sedimentares Unit 6, Unit 5 e Unit 4. São apresentados grãos de quartzo em todas as fácies e ausência de sedimentação carbonática apenas na Unit 5. São também mostrados foraminífero e alga calcária (CCA) na Unit 4.	63
Figura 15: Exemplo das lâminas petrográficas das fácies estratigráficas Unit 3 e Unit 2. É apresentada a dominância da sedimentação siliciclástica na Unit 3 e a presença de organismos construtores recifais na Unit 2, como briozoários e algas calcárias (CCA) com estruturas de reprodução (conceptáculos).	64
Figura 16: Interpretação paleoambiental do testemunho CV1.	70
Figura 17: Interpretação paleoambiental do testemunho CV2.	71
Figura 18: Linha sísmica ao sul do Recife de Coroa Vermelha interpretada por D'Agostini et al. (2015). S1, SB e AS são as superfícies erosivas identificadas pelos autores. A seta vermelha indica posição do Recife Coroa Vermelha ao longo da extensão da linha sísmica e as setas azuis indicam a possível relação do topo das fácies estratigráficas interpretadas aqui com a linha sísmica. Já a barra alaranjada indica a possível extensão relativa à estrutura recifal de Coroa Vermelha no Pleistoceno. Fonte: Modificado de D'Agostini et al. (2015).	74
Figura 19: Modelo de evolução da contemplando as seis fases evolutivas, também inseridas na curva de variação do nível do mar proposta por Spratt e Lisiecki, 2016. NM: Nível do mar.	79

FIGURES LIST

Figure 1: Study area at Abrolhos Shelf. The emergent and quasi-emergent reefs are highlighted in black. Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) and Paredes compose the inner arc (Leão and Ginsburg, 1997). The location of both reef cores (CV and PG) is indicated by the red dots. A) Close up of the Paredes reef flat, showing the drilled location of Pedra Grande reef core (PG); B) Close up of the Coroa Vermelha reef flat, showing the drilled location of Coroa Vermelha reef core (CV).	23
Figure 2: PG reef core composition and associated radiocarbon dates.	25
Figure 3: Representative images showing the composition of the PG reef core. I) Reef hand specimen mapped including crustose coralline algae (CCA), bryozoan (B), coral (C) and sediment (S); II) <i>Montastraea cavernosa</i> hand specimen; and petrographic thin sections images of III) <i>Porites</i> sp., IV) <i>Siderastrea stellata</i> , V) crustose coralline algae (CCA) and VI) encrusted layers of crustose coralline algae (CCA) and bryozoan (B).	26
Figure 4: CV reef core composition and associated radiocarbon dates.	27
Figure 5: Reef composition examples of CV reef core. I) Reef hand specimens of <i>Millepora</i> sp. rubbles (M); II) Reef hand specimens of <i>Siderastrea stellata</i> ; and petrographic thin sections images of III) <i>Siderastrea stellata</i> , IV) <i>Porites</i> sp., V) Bryozoan (B), VI) Crustose Coralline Algae (CCA) and VII) mix of sediment (S), mollusc shell (Sh) and forams (F).	28
Figure 6: Holocene accretion rates of CV reef core (red), PG reef core (dark blue) and Leão et al. (2003) reef core (green). On the top we consider the Martin, 2003 and Angulo et al., 2006 sea level curves for the Holocene. In the bottom there are the Holocene reef stages described by Leão et al. (2003) to Abrolhos Shelf.	32
Figure 7: Bathymetric map of the inner and outer arcs showing acoustic images of submerged reefs and their distribution between the coastal reefs and the Abrolhos Parcel Reefs (acoustic data from Bastos et al. (2015), Moura et al. (2013) and Ferreira et al. (2020) data base). Submerged and emergent reefs between the reef arcs described by Leão and Ginsburg (1997) is highlighted. The yellow dots show the location of both reef cores (CV and PG) and in purple our interpretation of submerged reefs presence at side scan sonar route.	37
Figure 8: Cross shelf bathymetric transects of Abrolhos Inner/Medium Shelf. Transect A-A' crosses the Paredes/PG reef showing the continuity of a reef irregular bathymetry ending at the outer arc; and	

transects B-B' and C-C' on smoother seabed bathymetry near the coast and an irregular one in the end. In yellow is pointed the location of both reef cores (CV and PG). The dark bars show the emerged reefs (depth= 0m). (Modified from Bastos et al., 2015).....38

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	12
1 Plataforma Continental de Abrolhos.....	14
2 Processo de amostragem e abordagem dos resultados.....	18
3 Estrutura da tese	19
CAPÍTULO 1: NEW INSIGHTS ON THE LATE QUATERNARY EVOLUTION OF ABROLHOS REEFS.....	21
1 Introduction.....	21
2 Methods	22
2.1 Study Area	22
2.2 Sampling	23
2.3 Laboratory Analyses.....	24
3 Results	24
3.1 Reef Composition	24
3.2 C14 Dating, calcite percentage and Accretion Rates	29
4 Discussion.....	32
4.1 Holocene and Pleistocene Reef Units: Framework	33
4.2 The Holocene reef evolution and their changing accretion rates	35
4.3 The shelf morphology as a driver of reef evolution in Abrolhos	36
5 Conclusions	39
CAPÍTULO 2: O REGISTRO PLEISTOCÊNICO NA PLATAFORMA INTERNA DE ABROLHOS...40	
1 Introdução	40
2 Metodologia.....	41
3 Resultados	45
3.1 Foraminíferos nos testemunhos CV1 e CV2.....	45
3.2 Mineralogia nos testemunhos CV1 e CV2	49
3.3 Testemunho CV1.....	52
3.4 Testemunho CV2.....	58
4 Discussão.....	65
4.1 Interpretação Paleoambiental da Plataforma Interna de Abrolhos	65
4.2 O Contexto do Recife Coroa Vermelha	72
4.3 Modelo conceitual de Evolução da Plataforma Interna de Abrolhos	76
5 Conclusão	80
CAPÍTULO 3: CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
Referências	85
Apêndice 1.....	93
Apêndice 2.....	97

APRESENTAÇÃO

O Período Quaternário é marcado por mudanças climáticas globais identificadas mundialmente, resultando em trocas de massa entre camadas de gelo e oceano que, por sua vez, impulsionam grandes variações eustáticas do nível do mar (VNM) (Lambeck & Chappell, 2001). Em consequência a estas variações, dentre outras, podemos citar as progradações e retrogradações periódicas da linha de costa, que balizam diretamente as alterações no padrão ecológico e sedimentar das margens continentais (Lambeck & Chappell, 2001).

Baseado em registros isotópicos, no Pleistoceno tardio (períodos glaciais MIS 8 - 300 mil anos AP e MIS 6 -137 mil anos AP) o nível do mar global alcançou a profundidade de -120/-130 m e respectivas subidas rápidas do nível do mar (Spratt e Lisiecki (2016)). Assim como no último máximo glacial, há cerca de 20.000 anos AP, onde o nível do mar alcançou a cota de -120m e foi seguido, também, por rápida subida do nível do mar no Holoceno (Lambeck & Chappell, 2001). Os processos transgressivos ocorridos após estes períodos glaciais resultaram na subida do nível do mar da ordem de 120m em torno de 12 mil anos (Spratt e Lisiecki (2016)), resultando alterações nos padrões sedimentares nas plataformas continentais.

As plataformas continentais se comportam como ambientes deposicionais recebendo principalmente material sedimentar provenientes de fontes terrígenas (principalmente siliciclásticos), decorrentes da erosão e dissolução de rochas continentais, e de fontes marinhas (principalmente carbonáticos), derivados da precipitação inorgânica do carbonato e induzido ou controlado biologicamente (Coe, 2003; Schlager, 2005).

Análises detalhadas da interação espacial e temporal entre sedimentos siliciclásticos e carbonáticos podem ajudar a estimar o papel dos principais fatores controladores dos sistemas deposicionais, o que vem trazendo subsídio para as teorias e modelos de sedimentação mista em plataformas continentais conhecidos mundialmente. Wilson (1967) foi o primeiro autor a explicar e discutir o conceito de sedimentação mista levando em consideração a sedimentação cíclica e recíproca ao longo do tempo, onde a deposição de siliciclásticos se dá durante o rebaixamento relativo do nível do mar, e dos carbonatos durante a subida do nível do mar, para explicar a origem da sedimentação mista na margem continental.

Trabalhos dedicados à ocorrência de sedimentos mistos em depósitos modernos e antigos mostram que o sedimento misto não é simplesmente uma exceção à regra, mas na verdade, algo bastante comum. Desde o modelo apresentado por Wilson (1967), muitas pesquisas sobre sedimentação mista em margens continentais foram desenvolvidas no intuito de explicar os diferentes padrões de sedimentação mista ao longo do mundo. Francis et al. (2007), de forma inovadora, apresentam um novo conceito sobre a coexistência da sedimentação carbonática e siliciclástica em um ambiente de plataforma continental, a chamada sedimentação coeva, o que difere dos modelos anteriormente apresentados considerando a deposição dos diferentes tipos de sedimento em momentos diferentes.

Neste contexto, a Plataforma Continental de Abrolhos (PCA) é um importante exemplo da coexistência de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos na costa brasileira atual, caracterizada, de forma simplificada, por uma relação entre a sedimentação siliciclástica na plataforma interna, o desenvolvimento recifal em sua porção centro-norte na plataforma interna a média e extenso banco de rodolitos na plataforma externa (Leão, 1982, Leão & Ginsburg, 1997; Leão et al., 2003; Amado-filho et al., 2012; Moura et al., 2013; Bastos et al., 2018; Dechnik et al., 2019 e Ferreira et al., 2020). Vieira et al. (2019) apresenta uma ampla discussão sobre a sedimentação mista moderna ao longo das plataformas do Espírito Santo e Bahia, incluindo a PCA. Os autores mostram que a largura da plataforma é uma das componentes que controlam a transição de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, onde plataformas continentais estreitas tendem a apresentar uma variação lateral/along-

shelf do padrão de sedimentação, enquanto plataformas continentais mais largas, como a PCA, mostram um padrão transversal/cross-shelf de transição, ou seja, o aumento da sedimentação carbonática com o aumento da profundidade.

Na região do Complexo Recifal de Abrolhos (CRA), tanto Leão e Ginsburg (1997) quanto D'Agostini et al. (2015) evidenciam a transição do padrão de sedimentação transversalmente à costa. Isso significa que a plataforma interna (até cerca de 15m de profundidade) do CRA é marcada por um alto teor de sedimento terrígeno, que denota o aporte de sedimento da costa e marca a característica de alta turbidez nos recifes costeiros de Abrolhos (Ribeiro et al., 2018; Francini Filho et al., 2013; Segal et al., 2008). O alinhamento de desenvolvimento do arco interno de recifes de Abrolhos (Recifes Nova Viçosa, Coroa Vermelha, Sebastião Gomes e Paredes) delimita o início do amplo domínio de sedimentação carbonática no restante da plataforma.

A evolução dos recifes de Abrolhos é descrita primeiramente por Leão (1982) e discutida em um conjunto de trabalhos posteriores, como Leão e Ginsburg (1997), Leão et al. (2003) e Leão e Kikuchi (2005). A evolução dos recifes costeiros, no Holoceno, é descrita por Leão et al. (2003) em 4 estágios – O primeiro estágio, caracterizado pelo início do recifal, correu entre 7 e 5 mil anos AP, durante a última fase de inundação na plataforma, segundo curvas de variação do nível do mar para a costa leste brasileira produzidas por Martin (2003), Angulo e Lessa (1997) e Angulo et al. (2006); O segundo estágio (entre 5 e 4 mil anos AP) foi caracterizado por um rápido crescimento vertical (até 7 mm / ano) da estrutura do recife durante o pico do nível de mar alto holocênico, quando o nível do mar atingiu cerca de 2 a 5 m acima do atual nível do mar atual; O terceiro (entre 4 e 2 mil anos AP) e o quarto (entre 2 mil anos AP e os dias atuais) estágios foram caracterizados pelo crescimento lateral e degradação recifal, respectivamente. Ambos ocorreram durante a fase regressiva do final do holoceno, quando o crescimento vertical dos recifes ficou limitado pelo espaço de acomodação e os recifes começaram a se desenvolver lateralmente e onde foi, também, observado o desligamento de topos recifais. Leão e Kikuchi (2005) ainda apontam que há uma mudança do principal coral construtor recifal em torno de 4 mil anos AP. Estudando os recifes mais externos, no Parque Nacional Marinho de Abrolhos, Bastos et al. (2018) mostram que nos últimos 2 mil anos, os briozoários tiveram um papel muito significativo como construtores da principal forma de edificação recifal da região, os pináculos.

Dechnick et al. (2019) apresenta um estudo mais detalhado sobre o processo evolutivo dos recifes da plataforma interna no máximo transgressivo holocênico na costa brasileira, ocorrido nos últimos 5 mil anos. Os autores discutem e apontam que o processo evolutivo dos recifes costeiros de Abrolhos pode ter sido diferente entre si, ou mesmo que os recifes não tenham evoluído de forma concomitante.

Agora, em um contexto espaço-temporal mais amplo, D'Agostini et al. (2015) apresentam um modelo de sedimentação para a região do CRA, fazendo uso de análises sísmo-estratigráficas. Os autores identificam diferentes unidades sísmicas representando fácies regressivas pleistocênicas e holocênicas, bem como uma superfície de exposição que foi descrita como superfície cárstica. Parte da interpretação dos autores aponta para uma composição sedimentar mista carbonática-siliciclástica ao longo do quaternário tardio, com domínio carbonático após o Último Máximo Glacial, além de processos distintos atuando em diferentes áreas da plataforma durante o Quaternário superior. Ainda nesse trabalho, os autores mostram a relação direta, no registro sísmico, de fácies regressiva siliciclástica/mista com refletores inclinados, evidenciando o aporte continental, e também o crescimento recifal sobre superfícies discordantes.

Neste contexto, é importante ressaltar que o CRA é o maior e mais importante complexo recifal do Atlântico Sul, sendo a PCA uma plataforma carbonática/mista com modelo de sedimentação bem distinto dos modelos mais bem estudados ao redor do mundo, como as plataformas em rampa, as plataformas isoladas ou as plataformas com recifes de borda.

Essa tese de doutorado tem como base científica revisitar, investigar, discutir e propor um modelo de evolução para os recifes costeiros de Abrolhos. Além de usar o conhecimento já existente para a área, a tese está baseada no estudo de 3 testemunhos longos obtidos em dois recifes costeiros de Abrolhos: Coroa Vermelha (mesmo local de estudo de Leão (1982)) e Paredes, uma vez que ainda existem perguntas sobre a evolução dos recifes costeiros, como:

- Todos começaram a crescer no mesmo momento durante o Holoceno?
- Todos alcançaram o nível do mar no mesmo momento?
- Como foi a evolução destes recifes ao longo do Pleistoceno Superior?
- Houve mudança na composição dos organismos construtores ao longo do tempo?
- Existe o registro de que os recifes costeiros de Abrolhos sempre estiveram associados a condições de elevada turbidez?

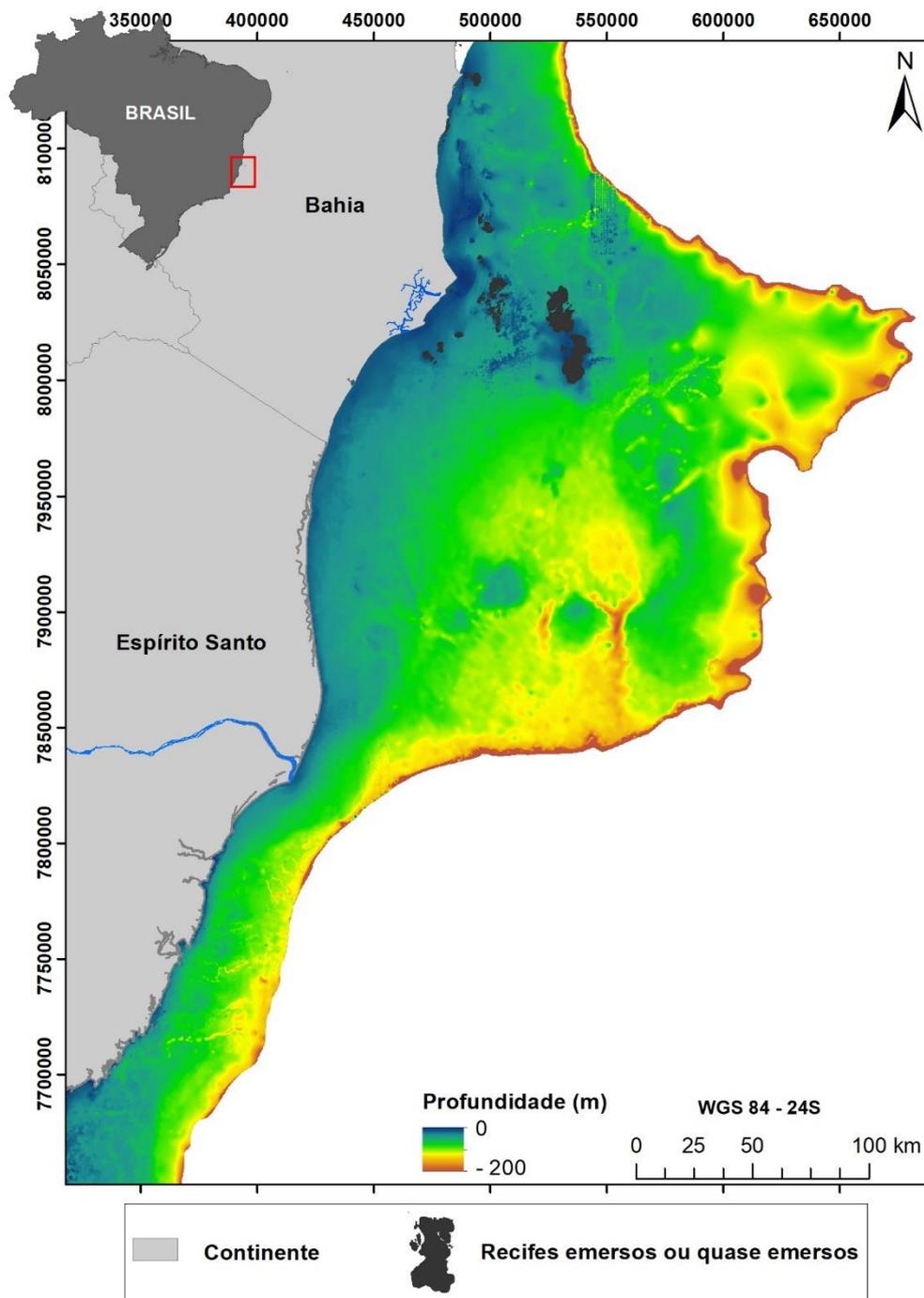
Inúmeras perguntas ainda podem ser feitas no contexto acima, mas essa tese, considerando o conhecimento atual, tem como objetivo avaliar a evolução paleoambiental da Plataforma interna de Abrolhos frente às flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário, visando investigar as variações temporais nas fácies sedimentares pleistocênicas e no ambiente recifal holocênico/pleistocênico. As principais metas para este trabalho são:

- i) Definir os padrões de variação temporal nas assembleias recifais holocênicas e pleistocênicas discutindo suas implicações;
- ii) Estabelecer a interface Holoceno-Pleistoceno dentro da estratigrafia recifal;
- iii) Inferir condições paleoambientais tendo como proxies organismos fósseis e composição mineralógica presentes;
- iv) Identificar e interpretar estratigraficamente as diferentes fácies sedimentares pleistocênicas no contexto da plataforma.

1 Plataforma Continental de Abrolhos

A Plataforma Continental de Abrolhos está inserida na Plataforma Continental Leste Brasileira (PCLB) entre as latitudes 17° 20'S e 18° 10'S, tendo como limite norte a Reserva Extrativista Marinha do Corumbau no município de Porto Seguro-Bahia e a Foz do Rio Doce, no município de Linhares – Espírito Santo, como limite sul. A PCA é caracterizada como sendo uma anomalia morfológica da PCLB, uma vez que apresenta fisiografia particular evidenciada por um alargamento da plataforma continental de até 220 km de extensão (Melo et al., 1975), com profundidade geralmente menor que 60 metros e quebra em torno de 70 metros de profundidade, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1: Parte da Plataforma Continental Leste Brasileira evidenciando seu alargamento, que caracteriza a Plataforma Continental de Abrolhos (PCA). Na porção centro-norte da PCA são representados os recifes emerso ou quase emerso da plataforma em preto, chamados de arco interno e arco externo, respectivamente. Em cinza é identificado o continente representado pela costa dos Estados da Bahia e Espírito Santo, e em escala de cores a batimetria do leito marinho.



A PCA, juntamente com o Banco Royal Charlotte, ao norte desta, foram formados em consequência de atividades tectônicas e vulcânicas (Lopes e Castro, 2013), ocorridas no início do Paleoceno e principalmente durante o Eoceno, que permitiram a entrada de fluxos de basalto e intrusões de diabásio nos sedimentos da bacia sedimentar, formando expressivos altos vulcânicos chamados, em conjunto, de Complexo Vulcânico de Abrolhos (Sobreira e França, 2005; Lopes e Castro, 2013; Ferreira et al.,

2014). A presença do complexo, ao longo do tempo, certamente alterou os gradientes batimétricos na plataforma, o que possibilitou alterações na dinâmica sedimentar da região (França et al., 2007).

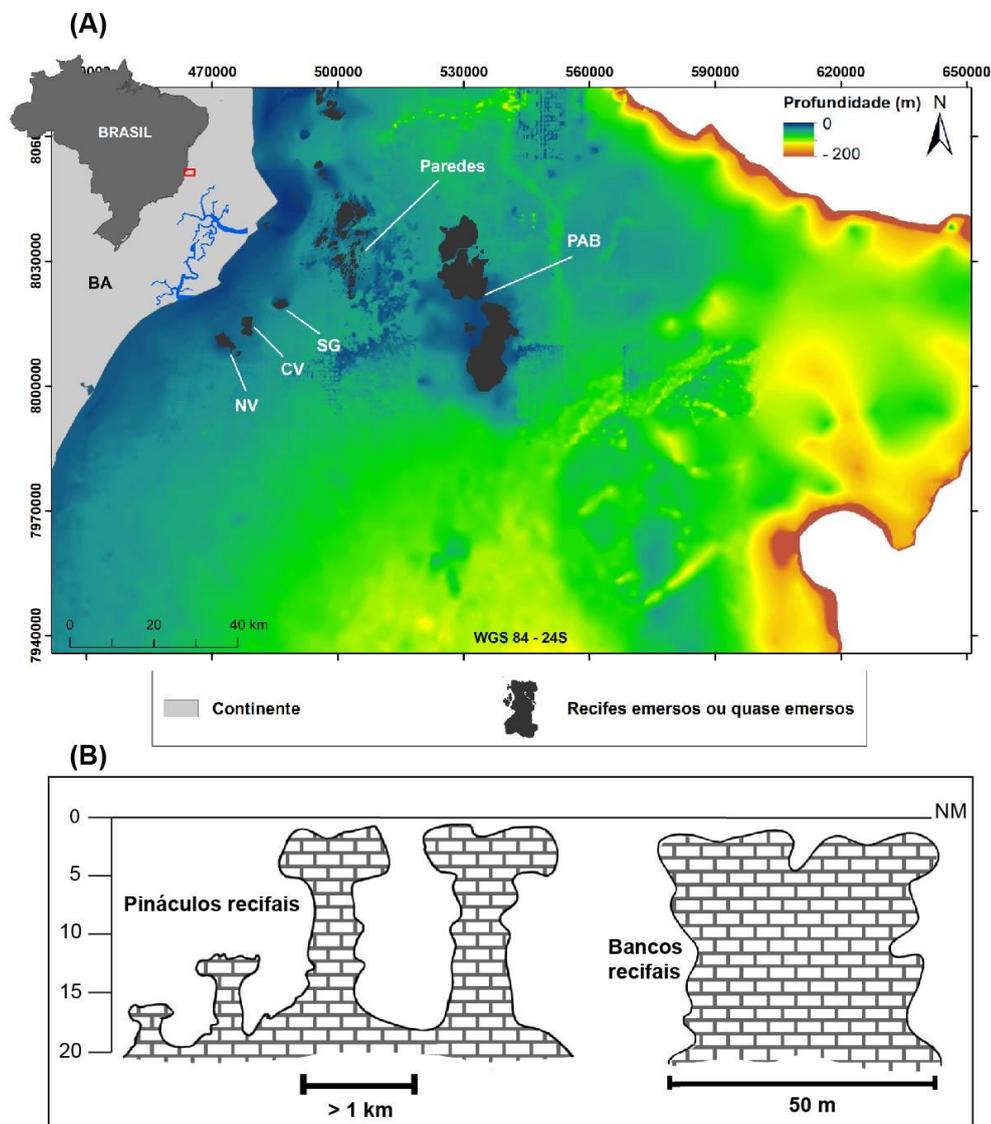
Porém, poucos trabalhos sobre a evolução sedimentar da plataforma são disponíveis para períodos anteriores ao contemplado pela sedimentação moderna holocênica. D'Agostini et al. (2015) apresentam um modelo de sedimentação para a região norte da plataforma, identificando uma composição sedimentar mista carbonática-siliciclástica ao longo do quaternário tardio, com domínio carbonático após o Último Máximo Glacial e processos distintos atuando em diferentes áreas da plataforma durante o Quaternário superior, onde as interpretações são baseadas nas flutuações do nível do mar.

A sedimentação siliciclástica presente hoje na PCA é decorrente do retrabalhamento de grãos oriundos de depósitos terciários do Grupo Barreiras que cobrem grande parte da região continental aflorando ao longo da costa, além do sedimento fluvial de rios da região (Leão e Ginsburg, 1997, Leão et al., 2003), como os rios Caravelas, Mucuri e Nova Viçosa. Já a sedimentação carbonática é decorrente da produção alóctone, decorrente do retrabalhamento de fragmentos de recifes biogênicos desenvolvidos na porção centro-norte da plataforma, complexo recifal chamado de Complexo Recifal de Abrolhos (CRA).

Considerando que a Plataforma Continental Brasileira possui alto grau de endemismo de corais (Spalding et al., 2007; Pinheiro Hudson et al., 2018) e abriga apenas dezoito espécies de corais escleractíneos (Leão et al., 2003), o CRA possui a maior diversidade de corais do Brasil (Leão, 2002) e ocupa área de aproximadamente de 8.800 km² (Moura et al., 2013), justificando assim, ser a maior e mais importante área recifal do Atlântico Sul. Este complexo se distribui entre recifes emersos-quase emersos paralelos à costa, pináculos e bancos recifais em zonas eufóticas e mesofóticas e recifes em franja, além do maior e mais extenso banco de rodólitos do mundo, com aproximadamente 21.000 km² descrito por Moura et al. (2013).

Leão e Ginsburg (1997) mostraram que os recifes emersos, ou quase emersos, da plataforma apresentam construção baseada em pináculos em formato cogumelar (já descrito anteriormente por Hartt (1870)) e são distribuídos em dois arcos recifais paralelos à costa, divididos nos recifes Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) e Parcel das Paredes compondo o arco da plataforma interna, distante de 10km da costa; e o Parcel dos Abrolhos (PAB) compondo o arco da plataforma média, distante aproximadamente 70 km da costa (Figura 2). Mais tarde, Moura et al. (2013), Bastos et al. (2015) e Ferreira et al. (2020) identificaram pináculos e bancos recifais submersos em regiões rasas entre os dois arcos e também em regiões mesofóticas externamente ao Parcel de Abrolhos.

Figura 2: Porção centro-norte da Plataforma Continental de Abrolhos na região do seu complexo recifal. (A) Em preto são representados os recifes emerso ou quase emerso da plataforma, recifes Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) e Parcel das Paredes compondo o arco interno, e o Parcel dos Abrolhos (PAB) compondo o arco externo. Em cinza é identificado o continente representado pela costa do Estado da Bahia e em escala de cores a batimetria do leito marinho. (B) representação da morfologia dos pináculos e bancos recifais presentes nos arcos interno e externo. (Modificado de Leão et al., 2003).

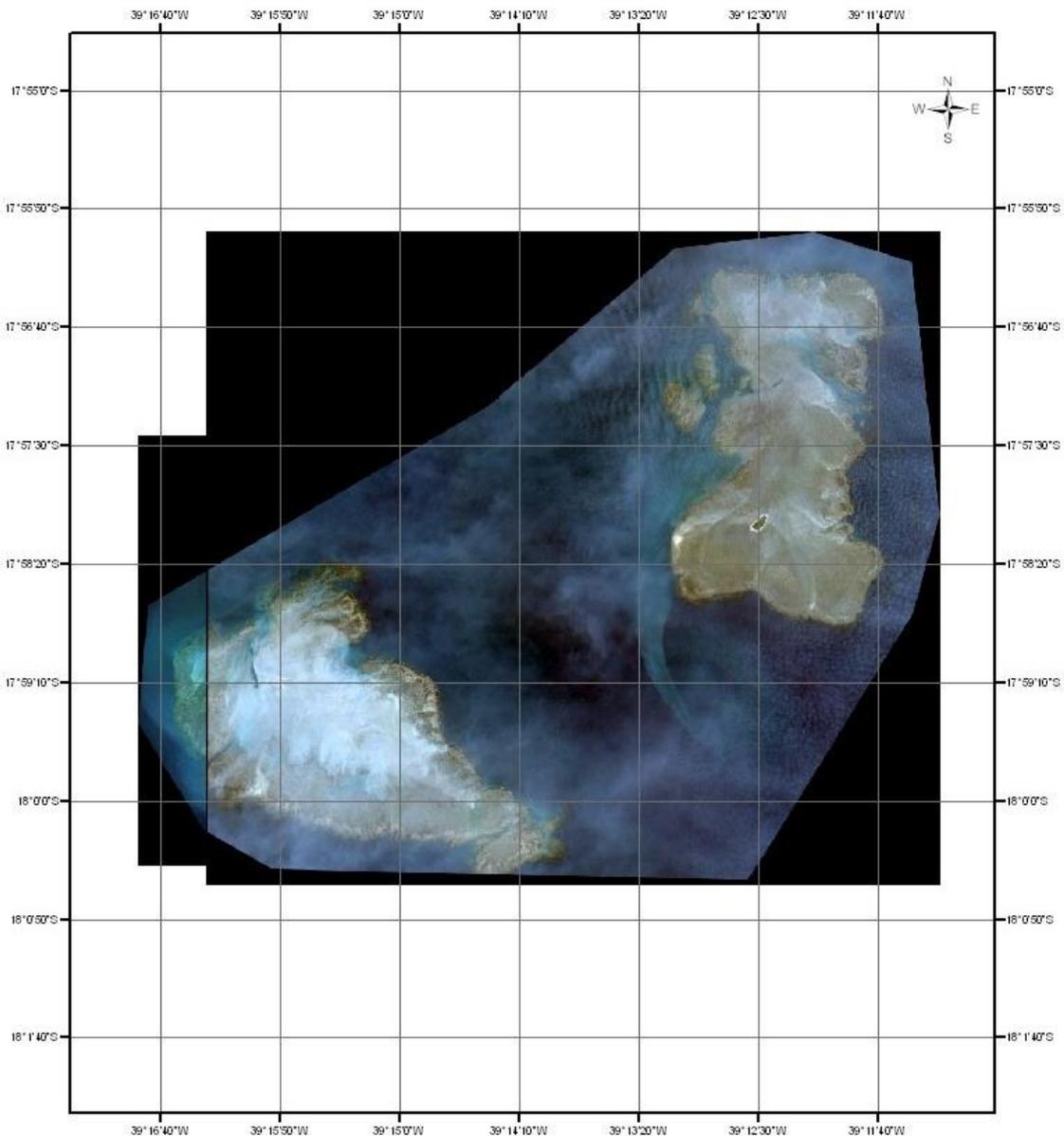


A distribuição e evolução dos recifes de corais holocênicos na PCA tem sido substancialmente descritas há décadas por Leão (1982), Leão & Ginsburg (1997), Leão et al. (2003), Moura et al. (2013), Bastos et al. (2018), Dechnik et al. (2019), e Ferreira et al. (2020), porém, seus achados e teorias ainda possuem lacunas no que se refere aos conhecimentos da evolução da plataforma, reforçando a importância de um estudo do início recifal holocênico, assim como do desenvolvimento recifal e sedimentar ocorrido anteriormente a este período.

2 Processo de amostragem e abordagem dos resultados

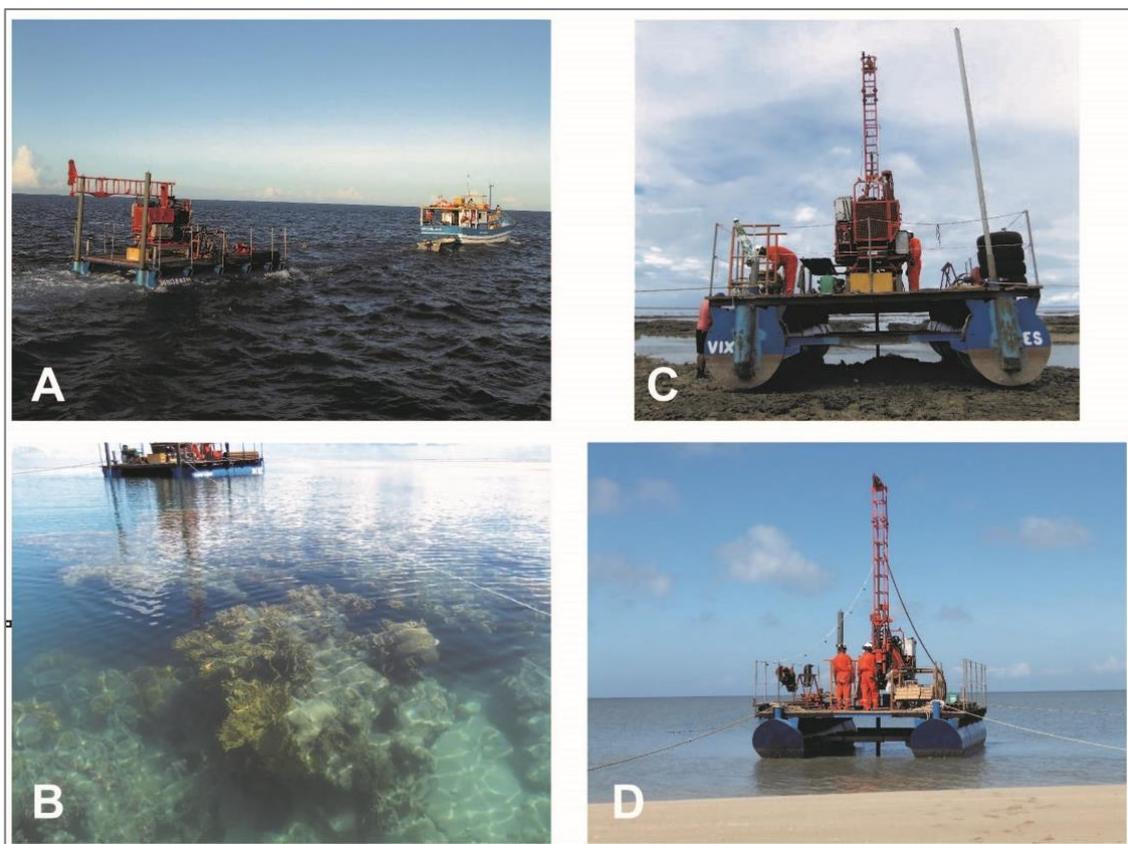
O desenvolvimento da tese foi baseado em perfuração de testemunhos longos a partir dos topos recifais dos recifes da plataforma interna da PCA, recife de Coroa Vermelha e Parcel das Paredes. Para isso, entre os meses de fevereiro e março de 2016 foi despendido trabalho de campo de 14 dias para perfuração de um testemunho recifal de 20 metros de comprimento no Parcel das Paredes, mais especificamente em área interna do Parcel conhecida como Recife de Pedra Grande (PG) (8035896N / 501434E, UTM- 24S); e dois testemunhos recifais/sedimentares no topo do recife de Coroa Vermelha, ambos com aproximadamente 50 metros de comprimento, CV1 a sotavento da pequena ilha de mesmo nome do recife (8013314N / 477853E, UTM- 24S) e CV2, a boreste da mesma (8013586N / 477824E, UTM, 24S). A Figura 3, feita a partir do satélite Quick Bird (cedida pela Conservation International Brasil / CI), ilustra a Ilha de Coroa Vermelha, porção centro sul do recife de mesmo nome.

Figura 3: Imagem de satélite de alta resolução (Quick Bird) evidenciando a Ilha de Coroa Vermelha acima do Recife de Coroa Vermelha. Fonte: Cedida pela Conservation International Brasil / CI.



As perfurações foram feitas a partir de uma adaptação para a Perfuratriz MAQ 850 (Empresa Sondatech - Vix), uma vez que o equipamento foi instalado em uma balsa flutuante e rebocado até os pontos de amostragem. As perfurações, por sua vez, eram feitas em momentos de marés baixas, para que houvesse estabilidade do equipamento para perfuração e resgate de amostras. A Figura 4 apresenta como foi feita a logística de reboque e funcionamento da perfuratriz a partir da adaptação feita para flutuação até o ponto de amostragem.

Figura 4: Imagem representando a logística de reboque e funcionamento da perfuratriz MAQ 850 nos pontos de amostragem. (A) representa como foi feita a logística de reboque da perfuratriz até os recifes situados a aproximadamente 10 km da costa, (B) momento da perfuração do testemunho PG no recife Pedra Grande em 25 de fevereiro de 2016, (C) momento da perfuração do testemunho CV2 no recife de Coroa Vermelha em 05 de março de 2016 e (D) momento da perfuração do testemunho CV1 no recife de Coroa Vermelha em 28 de fevereiro de 2016.



Os testemunhos PG e CV1 foram analisados e interpretados sob uma abordagem recifal e sedimentar, respectivamente, o que não aconteceu para o testemunho CV2, uma vez que o testemunho contemplou as duas abordagens dentro da tese, recifal em um dos capítulos e sedimentar em outro. Por este fato e considerando a preparação dos capítulos para publicação científica, o testemunho CV2 foi chamado de CV em um dos capítulos, como explicado a seguir.

3 Estrutura da tese

A estrutura da tese foi dividida em capítulos a fim de direcionar as duas diferentes abordagens sintetizadas a partir da análise e interpretação dos testemunhos, viabilizando a publicação de artigos científicos. Dentro deste contexto, cada capítulo introduz seu tema científico, expõe a metodologia

aplicada na análise dos resultados, e, por fim, apresenta e discute os principais resultados dentro do contexto do trabalho.

Assim, os capítulos foram desenvolvidos da seguinte forma:

- Capítulo 1: Este capítulo visou investigar a evolução dos recifes holocênico e pleistocênico de dois recifes da Plataforma interna de Abrolhos, Pedra Grande e Coroa Vermelha. Os testemunhos analisados foram PG e CV, onde as ferramentas utilizadas para análise dos resultados envolveram corelogging, taxonomia (corais e algas calcárias e foraminíferos), petrografia e datações de radiocarbono associadas a informações geomorfológicas da plataforma. O capítulo consiste em um manuscrito a ser submetido para revista científica e, por este fato, foi escrito em inglês visando dar celeridade ao processo de submissão. Ainda por se tratar de um manuscrito, algumas informações já levantadas aqui sobre a Plataforma Continental de Abrolhos estão também apresentadas nele.

- Capítulo 2: Este segundo capítulo, por sua vez, visa investigar a evolução paleoambiental da Plataforma interna de Abrolhos a partir da análise e interpretação de fácies sedimentares pleistocênicas. Os testemunhos analisados foram coletados no mesmo recife, testemunhos CV1 e CV2 (o mesmo testemunho chamado de CV no capítulo I), onde as ferramentas utilizadas para análise dos resultados envolveram corelogging, teor de carbonato, petrografia, taxonomia (corais e algas calcárias e foraminíferos) e mineralogia associadas a trabalhos já realizados no mesmo âmbito.

- Capítulo 3: Por fim, são consideradas as conclusões gerais da tese, assim como os avanços trazidos pelo trabalho e sua importância para o conhecimento do ambiente em foco, além das perspectivas de novos estudos a serem feitos para aprimorar as investigações levantadas neste trabalho.

CAPÍTULO 1: NEW INSIGHTS ON THE LATE QUATERNARY EVOLUTION OF ABROLHOS REEFS

1 Introduction

The Quaternary Period is marked by the periodic exchange of mass between ice sheets and oceans, leading to cycles of sea level fluctuations that played a major role in changing ecological and sedimentary patterns in continental margins worldwide (Rolhing et al 2009, Lambeck and Chappel, 2001, Sidall et al., 2006; Rabineau et al., 2006; Shackleton, 2000). Sea level changes among other factors, such as, sediment input and carbonate saturation, can directly influence shifts in sedimentation regimes along continental margins, from shelf to basins (Droxler and Jorry, 2013; Tcherepanov et al., 2010).

Reef growth and demise are directly related to sea level changes and climatic variability (Woodroffe and Webster, 2014; Camoin and Webster, 2015). A reef response to sea level fluctuations is dictated, in general, by the product between rates of reef growth and sea level rise. This follows the simple reef response model proposed by Neumann and Macintyre (1985). Reefs can respond by keeping up, catching up or giving up in relation to their relationship to sea level change. However, reef growth patterns can be more complex than a simple model of vertical filling of available accommodation space, and responses as backstepped and lateral growth or progradation are also present worldwide (Montaggioni, 2005; Woodroffe and Webster, 2014). Nonetheless, reef turn on and turn off could also be a consequence of other variables, such as climate variability (e.g. seawater temperature) and increase in turbidity (Dechnik et al., 2019).

Reef evolution, in relation to regression and transgression cycles, has been extensively studied throughout the Indo-Pacific and Caribbean, where extensive reef systems are located (Abbey et al., 2011; Blanchon et al., 2003; Flamand et al., 2008; Webster et al., 2004; Woodroffe et al., 2010). In this context, the South Atlantic is a poor province in terms of reef coverage when compared to the Indo-Pacific and Caribbean (Bastos et al., 2018). The Abrolhos shelf, located in the eastern Brazilian margin, encompasses the largest reef province in the South Atlantic.

Leão et al. (2003) summarize the reef evolution in the Brazilian shelf by describing four stages, including: reef initiation and establishment (7 - 5ky BP), rapid upward reef accretion (5 - 4 ky BP), lateral growth (4 - 2 ky BP) and reef degradation (2 ky - present). Using sea level curves for the Brazilian east coast (Martin, 2003; Angulo and Lessa, 1997; Angulo et al., 2006), Leão et al. (2003) argue that the first stage happened during last phase of shelf flooding (between 8 - 7 ky AP), until sea level reached the present level. Holocene reefs developed over Pleistocene reefs, and the oldest radiocarbon date (7,148 cal yrs BP) was obtained at approximately -10.5m below sea level. The second stage is characterized by a vigorous and rapid vertical growth (up to 7 mm/year) of the reef structure during the peak of the Holocene highstand, when sea level reached around up to 2 to 5 m above present sea level (PSL). The third and fourth stages occurred during the regressive phase, when upward reef growth was limited by accommodation space and reefs started to grow laterally and then a wide turn-off of coastal reefs were observed. The lateral growth would be also an explanation for the typical mushroom shape of the Abrolhos pinnacles (Leão and Ginsburg, 1997), that were described by Hartt (1870) as *chapeirões*. These stages are described based on stratigraphic studies and radiocarbon dating from coastal reefs. Dechnik et al. (2019), using short cores and 62 radiocarbon dates in the Abrolhos coastal reefs, found that Abrolhos reefs turned off during the Late Holocene. The authors identified a reef growth hiatus between ~3.7 and 2.5 ky, probably consequence of the sea level instabilities and / or climate variability during the Late Holocene (sea level fall from ~ 3.7 ky and a small rise between 2.5-2 ky).

Leão (1982) identified the endemic coral *Mussismilia braziliensis* as the main reef framework builder in the Abrolhos coastal reefs. More recently, Bastos et al. (2018) identified that Bryozoans play a major role as an important reef builder in the Late Holocene (~2000 yrs BP) in the outer arc pinnacles. These authors have also argued that the mushroom shape pinnacles could be related to a typical low disturbance regime of the South Atlantic, with very rare tropical storms and hurricanes. The lack of major high wave/wind energy events, compared to the Caribbean and Indo-Pacific, may preserve this odd shape in the South Atlantic.

Although it seems that a number of investigations has been carried out in the Abrolhos reefs in order to understand their post LGM evolution, most of the studies are based on one 15 m long borehole collected by Leão (1982). The conceptual Abrolhos reef evolution was proposed and discussed based on a single core. This is a paradigm that has to be revisited in the light of new data. Also, no major description or discussion has ever been carried out about the Pleistocene reef, which might be a Marine Isotopic Stage 5e (MIS 5e) record. Only more recently that new cores and drills started to be collected (Bastos et al., 2018; Dechnik et al., 2019). Thus, there are gaps in the knowledge about how the Abrolhos coastal reefs evolved during the post LGM (MIS 2) and MIS 6. Here, we present data from two new long boreholes (20 and 50m long) in order to investigate and provide new insights on the evolution of two shallow reefs on the Abrolhos Shelf - East Brazil, during the late Pleistocene and Holocene Epochs. Our specific objectives are to: 1) establish any spatial and temporal variation in Abrolhos Holocene reef turn on; 2) define and discuss any variations in reef stratigraphy, coralgal assemblages and accretion rates, and 3) identify any compositional differences between Holocene and Pleistocene MIS 5 units to determine to what extent reef communities were able to re-establish themselves.

2 Methods

2.1 Study Area

The Abrolhos Continental Shelf (ACS) is a part of the eastern Brazilian Shelf, located between latitudes 17° 20' – 18° 10'S and longitudes 38° 35' – 39° 20'W. The ACS marks an enlargement of the eastern Brazilian shelf due to the presence of an extensive magmatic province formed by a Paleocene-Eocene volcanic activity (Sobreira e França, 2006). The shelf is 200km wide and the inner shelf (<30m water depth) is around 75km wide. The largest reef system of the South Atlantic is located in this physical setting, which is unique along the Brazilian shelf.

The Abrolhos emergent and quasi-emergent reefs are distributed in two main arcs parallel to the coast, the inner or coastal arc and the outer arc (Leão and Ginsburg, 1997) (Figure 1). The inner arc is subjected to high turbidity levels from a local terrigenous sediment sources. These reefs are known as Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) and Paredes. Moura et al. (2013) and Ferreira et al., (2020) show the extensive distribution of submerged reefs across the entire shelf, forming distinct morphologies such as, pinnacles and reef banks, ranging from shallow to water depths (5m) to deeper than 50m. Figure 1 illustrates the different morphology of the submerged reefs mapped by Moura et al. (2013) and Ferreira et al. (2020).

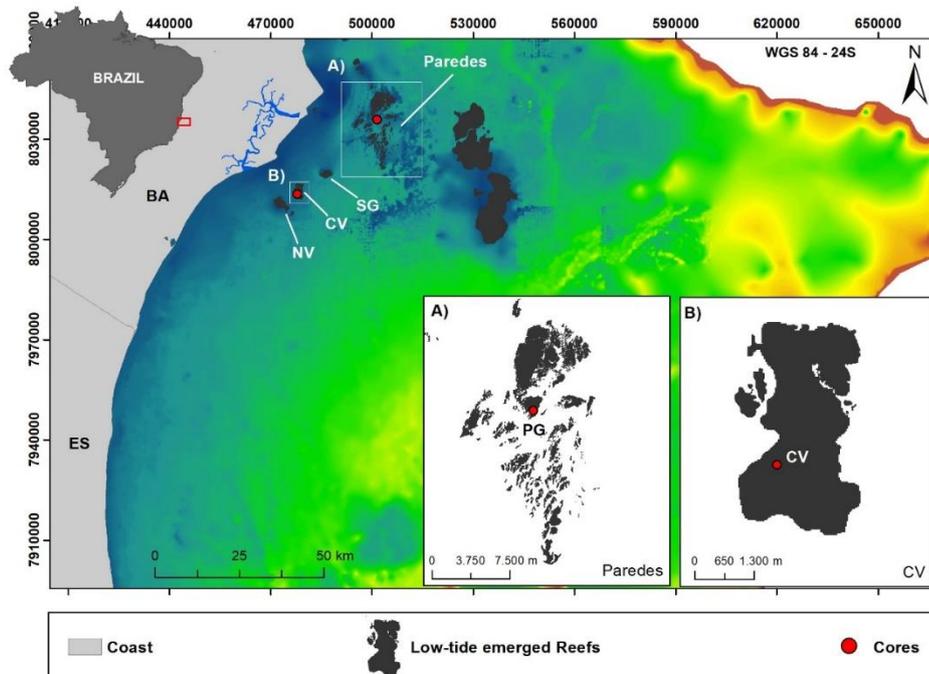
The total spatial coverage of Abrolhos reefs is estimated to be around 8,800 km² (Moura et al., 2013). It is also important to highlight that the Abrolhos shelf, mainly the outer shelf, is a carbonate province dominated by rhodolith beds (Amado Filho et al., 2012; Moura et al., 2013), encompassing an area of ~20,900 km². The Brazilian coral reefs present only 18 scleractinian coral species (Leão et al., 2003). Comparing to the Caribbean, this is a low coral diversity province. However, six of the main Brazilian coral reef builders are endemic: *Mussismilia braziliensis*, *Mussismilia hispida*, *Mussismilia harttii*, *Favia leptophylla*, *Siderastrea stellata* and *Favia gravida*. The reefs are dominated by massive and encrusting forms and there is a lack of branching forms, which are dominant in the Caribbean and Indo-Pacific (Laborel, 1969, Leão et al., 2003; Francini-Filho et al., 2013).

The oceanographic conditions are mild, including the predominant Northeast winds mainly during summer and strong South/South-East winds during winter storms. Sea surface temperature (SST) ranges between 24 and 28.5 °C (Ghisolfi et al., 2015), but during climate variability, such as an El Niño event, they can be higher than 29 °C, leading to mass coral bleaching, as reported by Teixeira et al. (2019). Tidal regime is semi-diurnal with a spring tidal range of 2.6 m. The Brazil Current is the dominant geostrophic current in the region, flowing southward at an average speed of ~0.7 knots (Ghisolfi, 2015). The main important rivers in the Abrolhos reef area are the Caravelas, Mucuri and Nova Viçosa rivers.

2.2 Sampling

Reef stratigraphy was obtained using a rotative drilling to core the reef flats. Core liner recovery was the taken at every 1.5m. Two reefs were drilled in the inner arc: the Pedra Grande Reef (PG) (8035896N / 501434E, UTM- 24S) which is a reef flat at the Paredes reef and the Coroa Vermelha Reef (CV) (8013586N / 477824E, UTM, 24S) (Figure 1). The PG reef has an active coral growth in its top and is composed of semi-coalesced reef tops, being completely submerged at low tide. The CV reef flat is composed by mud and no living corals, with a carbonate cay located in its center. Maximum drilling depth at PG reef was 20 m, while at CV, it reached 50 meters. In this study, only the Holocene and Late Pleistocene (MIS 5) reef portions are investigated, i.e., the entire 20m in PG and 25m in CV. Note that the below the Late Pleistocene reef (~25m), the core is composed by different units of siliciclastic and carbonate sediments. Core recovery was 15.5% at PG and 33% at CV. Low recovery of these boreholes is likely the result of the high sedimentation with cavity infilling, which has been reported in previous studies in the area (Leão, 1982 and Bastos et al., 2018).

Figure 1: Study area at Abrolhos Shelf. The emergent and quasi-emergent reefs are highlighted in black. Nova Viçosa (NV), Coroa Vermelha (CV), Sebastião Gomes (SG) and Paredes compose the inner arc (Leão and Ginsburg, 1997). The location of both reef cores (CV and PG) is indicated by the red dots. A) Close up of the Paredes reef flat, showing the drilled location of Pedra Grande reef core (PG); B) Close up of the Coroa Vermelha reef flat, showing the drilled location of Coroa Vermelha reef core (CV).



2.3 Laboratory Analyses

Reef cores were sectioned longitudinally for macro and microscopic compositional analyses by high resolution photography and petrographic analysis.

The lithologic description follows Webster et al. (2011), including the stratigraphic position (in situ or not) of the material. Major and minor components were identified, including corals, crustose coralline algae (CCA), bryozoans, molluscs, polychaetes, foraminifera, among others, and carbonate facies were described. Nineteen reef sections were sub-sampled for 27x46mm petrographic thin sections. Thin sections were produced at National Petrographic Services Inc. (USA) using blue epoxy resin impregnation. Biota taxonomy, diagenesis evidences (dissolution, crystallization of aragonite) and fossil preservation were described using the thin sections.

Nine samples from the Holocene interval were sent for radiocarbon dating (C14) at the Center for Applied Isotope Studies (CAIS), University of Georgia, using Accelerator Mass Spectrometry (AMS). Dates are reported as calendar years BP ("present"= 1950 CE) using the 2 sigma confidence interval. Calibration was carried out using Calib 7.1 available at <http://calib.qub.ac.uk/calib>. The Marine13 calibration curve was applied assuming a global marine reservoir effect of 400 years and a Delta R of 98 ± 80 (average value for the four closest localities) for regional correction. Only Holocene samples interpreted as *in situ* (i.e. original growth position) were chosen for dating purposes.

Six scleractinian coral samples from both cores were analyzed by X-Ray Diffraction (XRD) methods to identify the percentage of calcite. The gathering of C14 dating and XRD results were also used to define the Holocene-Pleistocene boundary.

From the C14 dates, reef accretion rates were calculated using mean ages and the stacked core sample depths. The computation considered the total Holocene length (reef fragments and hiatus) between the oldest age and the top of each core. To provide consistent methodologies, the considered present age has been the same as used in C14 dating. All the processed data, including core composition, C14 results and reef accretion rates were compiled in "Adobe Illustrator CC 2017" software.

The morphologic analyses of the continental shelf were made based on Bastos et al. (2015), also were included side scan sonar data by Moura et al. (2013) and Ferreira et al. (2020).

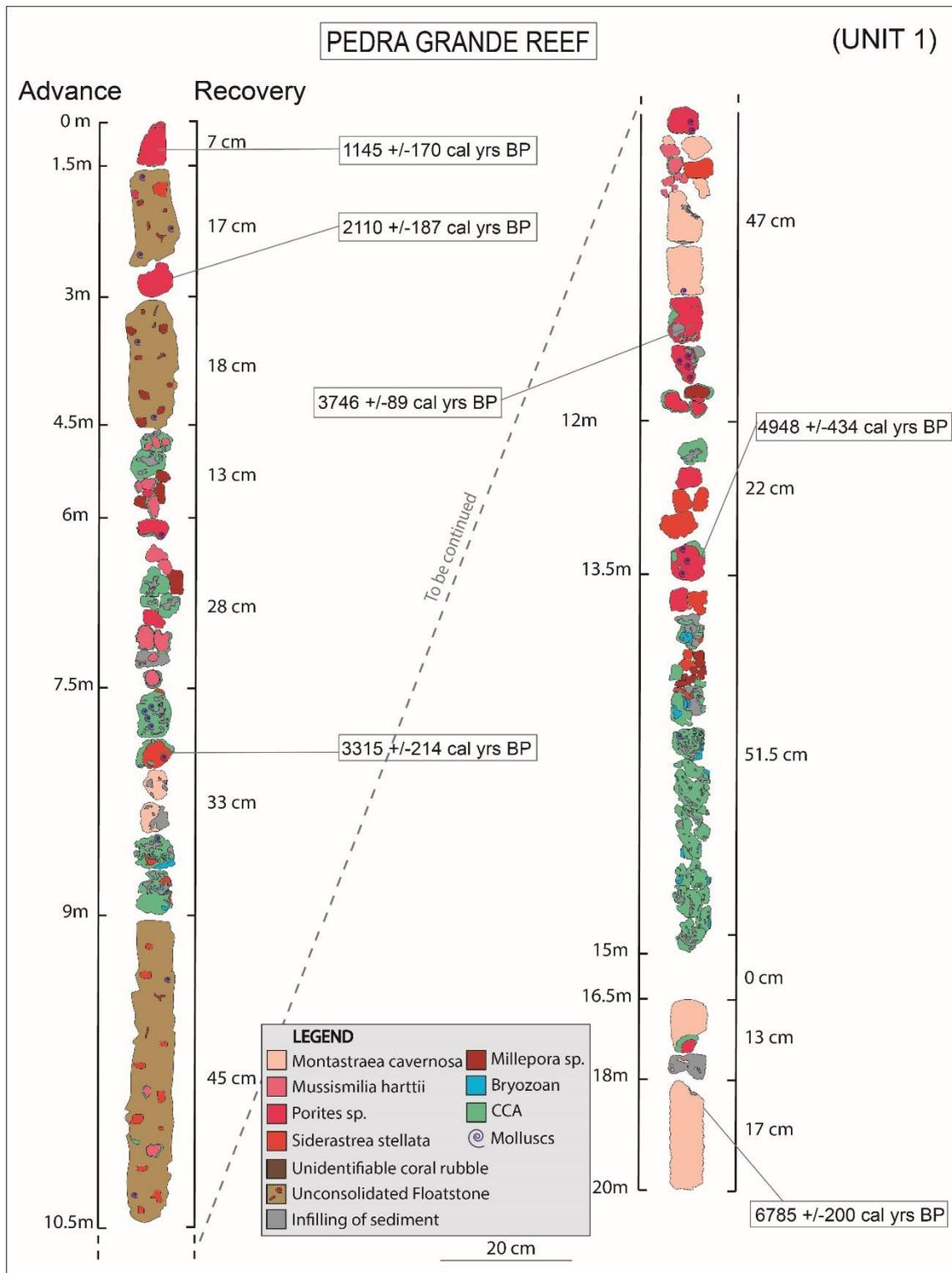
3 Results

Two different reef units were initially defined based on the difference of calcite/aragonite content. Unit 1 presents the calcite content ranging from 0.2 to 5.5%, and Unit 2 has calcite content reaching around 99.8% (Table 2). Pedra Grande core (PG) comprised only Unit 1, but Coroa Vermelha core (CV) presented both Units, where the boundary surface between Unit 1 and Unit 2 was identified at approximately 13.5 meters deep.

3.1 Reef Composition

PG and CV reef composition descriptions are shown in Figure 2, Figure 3, Figure 4 and Figure 5. A list of all the framework builders, genera or species, observed in PG and CV, is presented in Table 1.

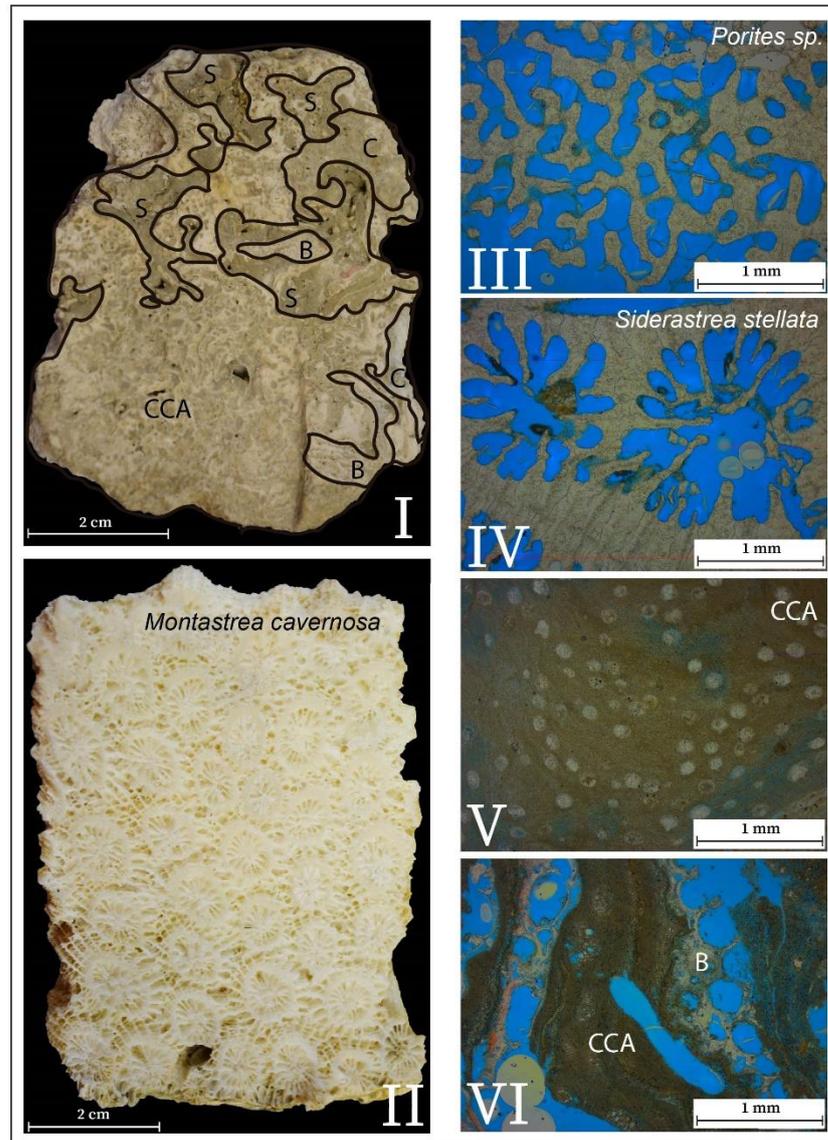
Figure 2: PG reef core composition and associated radiocarbon dates.



PG reef presented a typical modern coralgal framework, with small colonies of bryozoans, sponges/molluscs boring and carbonate sediment infilling (Figure 3). In terms of the main framework builders, four scleractinean coral species (*Montastraea cavernosa*, *Mussismilia harttii*, *Porites sp.* and *Siderastrea stellata*), one of hydrocoral (*Millepora sp.*) and 6 CCA species (*Harveyolithon munitum*, *Lithophyllum sp.*, *Lithophyllum pustulatum*, *Pneophyllum conicum*, *Porolithon onkodes*, and *Melyvonnea erubescens*) were recognized. In general, from the base to the top of the drilled sequence, the facies is

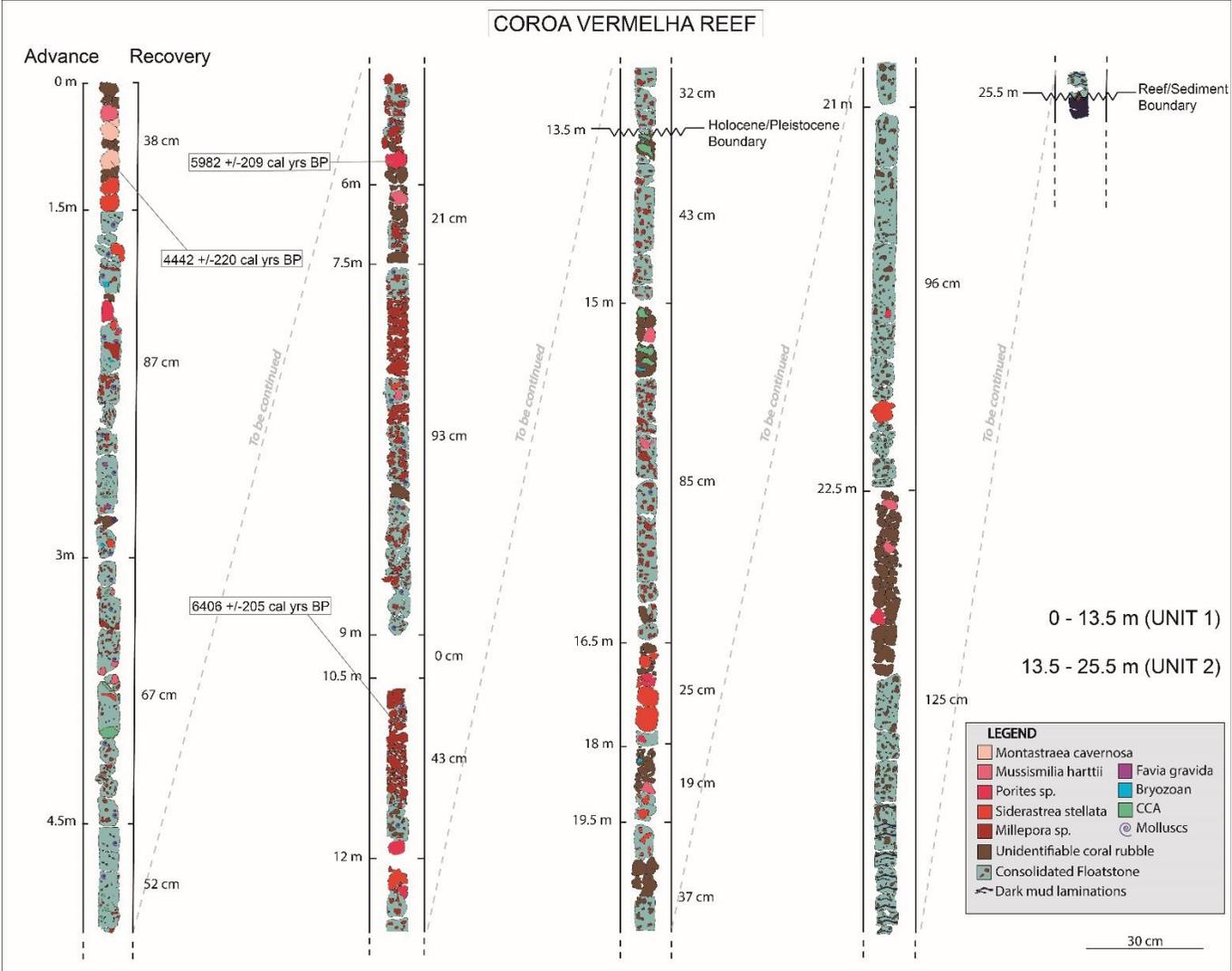
a typical boudstone, showing an intercalation of coral, CCA and coralgal framework. From 10.5m to the top of the core sequence, the presence of floatstone intercalated with boundstone, becomes more frequent.

Figure 3: Representative images showing the composition of the PG reef core. I) Reef hand specimen mapped including crustose coralline algae (CCA), bryozoan (B), coral (C) and sediment (S); II) *Montastrea cavernosa* hand specimen; and petrographic thin sections images of III) *Porites* sp., IV) *Siderastrea stellata*, V) crustose coralline algae (CCA) and VI) encrusted layers of crustose coralline algae (CCA) and bryozoan (B).



In contrast, CV reef is dominated by coral and reef rubble with infilling sediments. Floatstone is the dominant facies along the entire reef sequence, with the presence of intercalated coral and coralgal rudstones and infilling sediments (Figure 2 and Figure 5). In general, from the base to the top, Unit 2 begins with a floatstone facies showing a different pattern of sedimentation characterized by dark mud laminations at the base (25.5 – 22.5 meters deep). Towards the top, two rudstone facies are observed at (22.5 and 16.5). The base of Unit 1 is characterized (at 13.5m) by a floatstone followed by a rudstone (10.5m) and this pattern repeats towards the top of the unit (rudstones at 7.5 and 6 meters deep and reef top).

Figure 4: CV reef core composition and associated radiocarbon dates.



Although the composition of CV reef was defined based mainly on floatstone facies of coral rubbles, the taxonomy of the potential main reef framework builders was defined. Five scleractinean coral species (*Favia gravida*, *Montastraea cavernosa*, *Mussismilia harttii*, *Porites* sp. and *Siderastrea stellata*), one of hydrocoral (*Millepora* sp.) and eight of CCA were identified (*Amphiroa* sp., *Harveyolithon munitum*, *Lithophyllum pustulatum*, *Paulsilvella* sp., *Porolithon onkodes*, *Spongites* sp., *Halimeda* sp. and *Melyvonnea erubescens*) (Figure 4, Figure 5 and Table 1). *Millepora* sp. had the highest occurrence throughout the floatstone, except in the core top, where in situ colonies of scleractinian corals, as *Montastraea cavernosa*, *Mussismilia harttii* and *Siderastrea stellata* dominated. In addition, serpulids and molluscs were observed as the main bioerosion agents.

Figure 5: Reef composition examples of CV reef core. I) Reef hand specimens of *Millepora* sp. rubbles (M); II) Reef hand specimens of *Siderastrea stellata*; and petrographic thin sections images of III) *Siderastrea stellata*, IV) *Porites* sp., V) Bryozoan (B), VI) Crustose Coralline Algae (CCA) and VII) mix of sediment (S), mollusc shell (Sh) and forams (F).

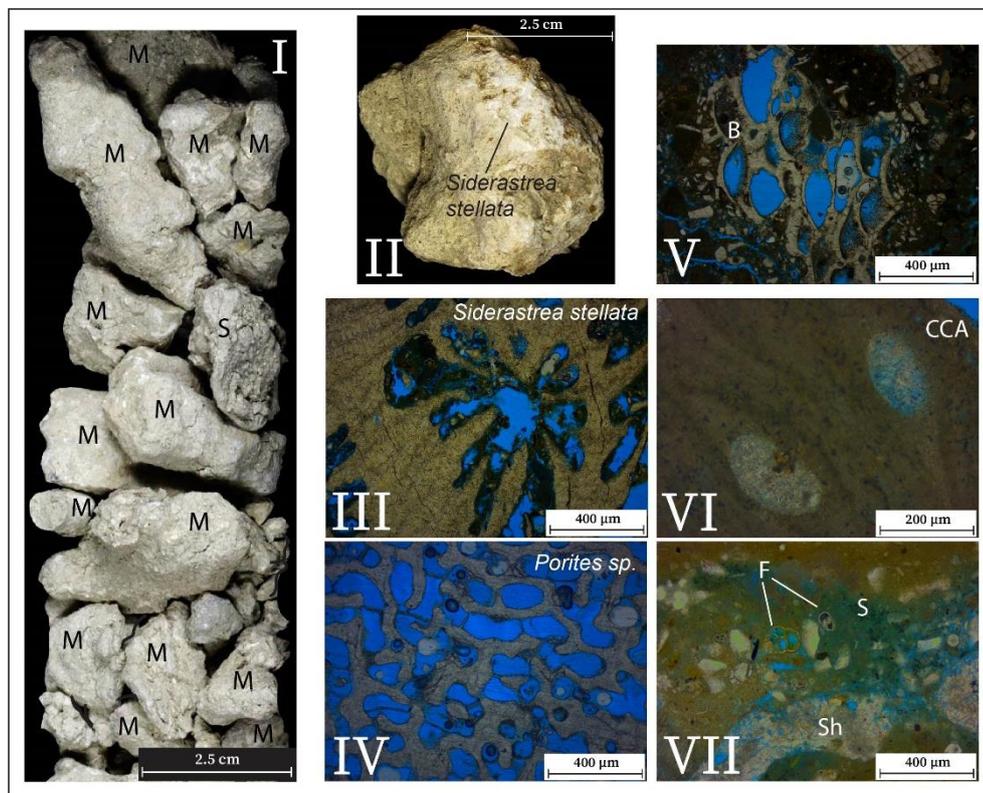


Table 1: Main Reef framework builders taxonomy of CV and PG cores.

Organism	CV		PG
	Unit 1	Unit 2	Unit 1
Rhodophyta			
Corallinaceae			
<i>Amphiroa sp.</i>		x	
<i>Harveylithon munitum</i>	x		x
<i>Lithophyllum sp.</i>			x
<i>Lithophyllum pustulatum</i>	x	x	x
<i>Paulsilvella sp.</i>	x		
<i>Pneophyllum conicum</i>			x
<i>Porolithon onkodes</i>	x	x	x
<i>Spongites sp.</i>		x	
Corallinoideae		x	
Halimedaceae			
<i>Halimeda sp.</i>	x	x	
Hapalidiaceae			
<i>Melyvonnea erubescens</i>	x		x
Cnidaria			
Milleporidae (Hydrozoa)			
<i>Millepora sp.</i>	x	x	x
Montastraeidae			
<i>Montastrea cavernosa</i>	x		x
Mussidae			
<i>Favia gravida</i>	x	x	
<i>Mussismilia hartii</i>	x		x
Poritidae			
<i>Porites sp.</i>	x		x
Siderastreidae			
<i>Siderastrea stellata</i>	x	x	x

Reef composition, mainly coral taxonomy, in Unit 2 was somehow compromised, mainly below 18 m, due to rubble size. These parts of the core were classified as unidentifiable coral rubble, and this might have influence the final coral genera and list species for Unit 2.

3.2 C14 Dating, calcite percentage and Accretion Rates

Radiocarbon dating results show that Unit 1, in both reefs, were developed during early-mid Holocene (Table 2), with ages ranging from 6785 ± 200 cal yrs BP to 1145 ± 170 cal yrs BP. The oldest dated reef sample was obtained in PG at 18m deep (6785 ± 200 cal yrs BP, with 99.7% of aragonite). In CV reef, the oldest Holocene dated reef sample (6406 ± 205 cal yrs BP, with 97.2% of aragonite) was obtained at 10.5 meters deep (Figure 6). C14 dates at the top of the cores were very distinct comparing PG and CV. In PG reef, the 0-1.5m deep interval presented a calendar age of 1145 ± 170 yrs BP, whilst CV presented a calendar age of 4442 ± 220 yrs BP, for the same interval. Table 2 shows all the C14 dates and the composition of the dated material.

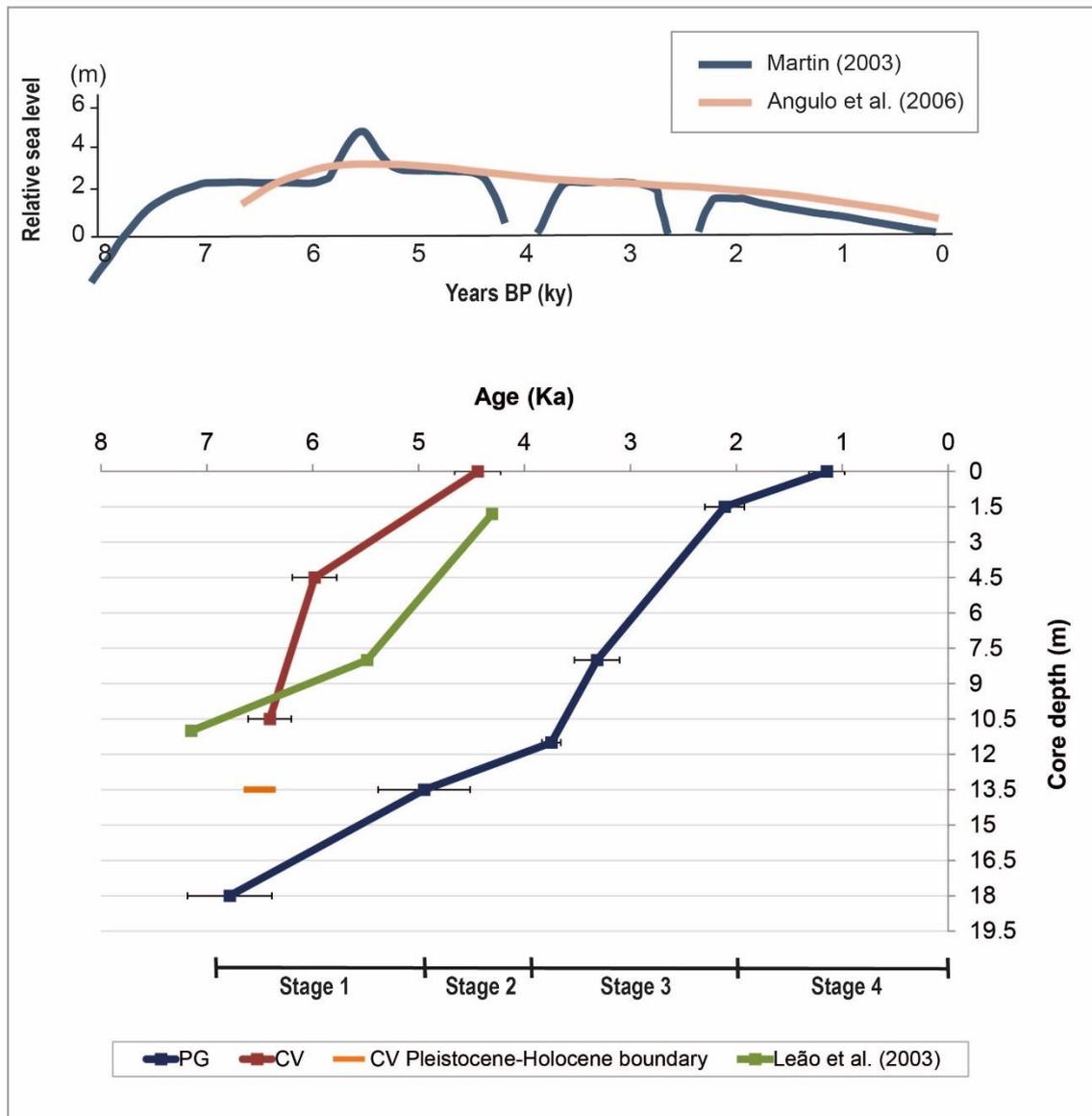
A shift in calcite content at 13.5 meters in CV reef, from <5 to 99.8%, determined the beginning of Unit 2. Because of the high calcite contents, it was not radiocarbon dated and interpreted as a Holocene/Pleistocene boundary surface.

Accretion rates for the Holocene reefs were determined using radiocarbon ages versus core depth. Rates were calculated as 5.3 m/ky for CV reef and 3.2 m/ky for PG reef. In PG two different intervals of growth were identified: i) from 6785 ± 200 to 3746 ± 90 yrs BP (between 18 m and 11.5m deep) accretion rate is 2.1 m/ky; and ii) from 3746 ± 90 to 1145 ± 170 yrs BP (between 11.5m deep and the reef top), accretion rate is 4.4 m/ky (Figure 6 and Table 2).

Table 2: Radiocarbon dates, composition of the dated material, accretion rates and XRD results of PG and CV cores.

Reef	Sample ID	Depth (m)	¹⁴ C Age (¹⁴ C years BP)	2σ Calibration (Cal BP)	ΔR	Coral Taxonomy	Context	Accretion rates (m/ky)	XRD	
									Aragonite (%)	Calcite (%)
Pedra Grande	PG 0-1.5m	0	1620+/-25	1145+/-170	98+/-80	<i>Porites sp.</i>	In situ (top of the Core)	4.4	-	-
	PG 1.5-3m	1.5	2520+/-25	2110+/-187		<i>Porites sp.</i>	In situ (near to the top of the Core)		-	-
	PG 6-7.5m	7.5	-	-		<i>Mussismilia harttii</i>	In situ (middle of the Core)	74.5	25.5	
	PG 7.5-9m	8	3530+/-25	3315+/-214		<i>Siderastrea stellata</i>	In situ (middle of the Core)	3.2	-	-
	PG 10.5-12m	11.5	3780+/-25	3746+/-89		<i>Porites sp.</i>	In situ (middle of the Core)		-	-
	PG 12-13.5m	13.5	4820+/-20	4948+/-434		<i>Porites sp.</i>	In situ (middle of the Core)	94.5	5.5	
	PG 16.5-18m	16.5	-	-		<i>Montastraea cavernosa</i>	In situ (near to the bottom of the Core)	2.1	99.8	0.2
PG 18-20m	18	6370+/-20	6785+/-200	<i>Montastraea cavernosa</i>	In situ (bottom of the Core)	-	-			
Coroa Vermelha	CV 0-1.5m	0	4420+/-25	4442+/-220	98+/-80	<i>Montastraea cavernosa</i>	In situ (top of the Core)	5.3	97.0	2.9
	CV 4.5-6m	4.5	5700+/-25	5982+/-209		<i>Porites sp.</i>	In situ (near to the top of the Core)		-	-
	CV 10.5-12m	10.5	6050+/-20	6406+/-205		<i>Millepora sp.</i>	In situ (10.5-12m interval)	-	-	
	CV 12-13.5m	12	-	-		<i>Siderastrea stellata</i>	In situ (12-13.5m interval)	97.2	2.8	
	CV 15-16.5m	15	-	-		<i>Mussismilia harttii</i>	In situ (15-16.5m interval)	0.2	99.8	

Figure 6: Holocene accretion rates of CV reef core (red), PG reef core (dark blue) and Leão et al. (2003) reef core (green). On the top we consider the Martin, 2003 and Angulo et al., 2006 sea level curves for the Holocene. In the bottom there are the Holocene reef stages described by Leão et al. (2003) to Abrolhos Shelf.



4 Discussion

Radiometric dating and calcite contents were used to place the reefs in a geological time scale. Unit 1, observed in both CV and PG reefs represent the Holocene Reef Unit, that initiated around 7000 years BP. In PG reef, the record shows coral growth in a water depth of 18m, while in CV reef it appears around 10.5m deep. The main reef sequence in CV turns off around 4500 years BP (reef top), while in PG the reef caught up the mean sea level around 1100 years BP, but reef top is still living. The reef Unit 2, only observed in CV, presents a high content of calcite and even the macroscopic analysis of the samples indicates recrystallization, placing this Unit as Pleistocene in age.

A synthesis of published dating and core log dataset and available seabed morphology data is combined with findings presented herein in order to revisit and discuss the evolution of the Abrolhos coastal reefs. There are at least three main topics to be discussed that can shed a new light on the evolution of

the largest reef complex of the South Atlantic including the : 1) framework of the Pleistocene reef Unit 2 in CV, compared to the Holocene units; 2) Holocene reef turn on and off in the Abrolhos coastal reefs and their changing growth rates; and 3) the shelf morphology as a reef evolution control.

4.1 Holocene and Pleistocene Reef Units: Framework

The Brazilian coral fauna displays low diversity, lacks branching acroporids common to most Caribbean and Indo-Pacific reefs, and the major reef framebuilders (in terms of corals) are endemic and evolved from an isolated coral fauna of the Tertiary (Leão, 1982; Leão and Ginsburg, 1997 and Leão et al., 2003). According to these authors, these characteristics are true for the Abrolhos Shelf, adding the fact that coral species in the Abrolhos coastal reefs are also well adapted to high levels of turbidity (Leão and Ginsburg, 1997).

No major difference was observed between the Holocene and Pleistocene coralline reef composition obtained from the cores analyzed herein. Also, no major difference was observed between PG and CV Unit 1 composition. The major difference that was observed along Units in the CV core and, in comparison with the PG core, is the different levels of sediment influence recorded by the presence of floatstone facies along the cores. First, a discussion regarding the benthic framework builders is carried out, while the facies analysis is followed afterwards.

In terms of the known reef framework builders for the Abrolhos coastal reefs, the main coral species were observed (Table 1), except for *M. brazillensis*, that was described by Leão (1982) and Leão and Ginsburg (1997) published core data in CV. However, we have described the occurrence of other coral species in the reef framework and recognized 11 species of coralline algae. The scleractinian corals *F. grävada* and *S. stellata*, together, are the most common coral species on the Brazilian coast, found even in tide and shallow pools on the top of reef flats (Leão et al., 1997). They are considered very resistant to temperature/salinity/turbidity variations (Leão et al., 2003). In a similar way, *M. hartii* and *Porites* sp. are adapted to moderate to high water turbidity (Leão et al., 1997), occupying the reef edge/top with large colonies (Correia, 2010; Leão et al., 1997). The hydrocoral *Millepora* sp., in turn, is known as producer of considerable colonies on shallow reefs worldwide, where they occupy a variety of substrata and produce morphologically complex skeletons (Edmunds, 1999). According to Leão et al. (1997) their occurrence is common in water depths shallower than 15 m, and they form the edge the reef tops in the mushroom-like pinnacles of Abrolhos. As a matter of comparison, this zone is normally occupied by *Acropora palmata* in the Caribbean Reefs (Oliveira et al., 2008; Leão, 1982; Leão et al., 1997; Leão et al., 2003; Hopley, 2011; Montaggioni and Braithwaite, 2009; Lighty et al., 1982; Toscano and Macintyre, 2003; Gischler et al., 2010).

Different from the other scleractinian and hydrocorals that were observed in the cores, *Montastraea cavernosa* occupies a distinct reef habitat. It is usually found in more shaded areas of the reef, and in Abrolhos, it is observed either as the dominant coral species in the pinnacles walls or in deeper reefs (>20m) (Francini et al., 2013; Moura et al., 2013). Here, it was found growing together with the other corals throughout the cores. Its presence can be explained by the different stages recorded during the reef evolution, or even by the high level of turbidity that gives less light intensity on the top of the reef. This could be an explanation for finding *M. cavernosa* close to the core top in CV, for example. At PG reef we identify two different patterns of *Montastraea cavernosa*: at 18 meters deep the corallites are on a horizontal direction, which means that the colony was developed at the reef wall, whilst at 10.5 meters deep, the colony was developed, probably, on the reef surface in a shadow zone, and not close to the sea level. Many studies about Abrolhos living reefs identify *M. cavernosa* as an important reef builder also on reef tops deeper than 5 m (Leão et al., 2003).

In terms of reef flora, CCA are classified as a very important framework builder group for the Atlantic shallow reefs, which mark them as the major reef competitors with corals (Amado Filho et al., 2018; Figueiredo et al., 2008). Amado Filho et al. (2018) points out that CCA, in average, accounts for 20% of

the benthic cover in Abrolhos reefs. Here, we recognized 11 coralline algae along the two cores (Table 1). According to Jesionek et al. (2016) and Amado-Filho et al. (2018), *Porolithon onkodes* and *Melyvonnea erubescens* live between 2 and 5 meters deep in the Abrolhos Shelf, whilst *Pneophyllum conicum* can be observed above 15 meters deep. *P. onkodes* is still characterized to live in a habitats directly exposed to sunlight and *P. conicum* on the pinnacle walls (Jesionek et al., 2016 and Amado-Filho et al., 2018). All of them were identified as a substantial incrusting species on the reef cores, and although some differences were observed in terms of species occurrence between the cores, all the species are common incrusting algae in the Brazilian coast shallow waters.

Thus, the PG and CV reef framework compositions indicate a dominant shallow water benthic community, dominated by a complex coralgal assemblage. CV reef shows high levels of sedimentation in some moments of its evolution, which was also observed and described by Leão (1982) and Leão and Ginsburg (1997). It is also important to point out that the Pleistocene (MIS 5) reef initiation in CV (base of Unit 2) had probably turned on in higher turbidity conditions than the Holocene reef (Figure 4). This is based on the occurrence of black mud layers observed at the base of the Unit, associated with thick floatstone facies. However, the Holocene PG reef, in comparison with the Holocene CV reef, presents lower levels of sedimentation, as interpreted by the presence of floatstone facies. This lower level of sedimentation in PG could be biased by the position of the core, which is located in the center of the reef and more distant from the coast.

The analysis of the Pleistocene and Holocene Units in the CV core shows that the main Abrolhos framework builders did not change considerably, when comparing the records for MIS 1 (Unit 1) and potential MIS 5 reef (Unit 2). Knowledge about long-term reef abundance and diversity is crucial, once changes in reef composition may represent changes in paleoenvironmental conditions (Woodroffe and Webster, 2014). Studies of Quaternary reefs in the Great Barrier Reef (Dechnik et al., 2017), Kenya (Crame, 1981), Belize (Gischler, 2007), Barbados (Mesolella, 1967, Mesolella et al., 1970) and New Guinea (Pandolfi, 1996) have also revealed striking similarities between framework builders, especially in the coral fauna, from Holocene and Pleistocene.

Furthermore, a typical shallowing upward reef assemblage sequence was not observed along both cores. This is interesting, as again, it shows that the Abrolhos reefs diverge from Indo-Pacific and Caribbean Holocene reefs (Hopley et al., 2007; Hopley, 2011; Montaggioni and Braithwaite, 2009; Woodroffe and Webster, 2014;). Typically, as reefs approach the inter tidal sea level, the coral assemblage shifts to a more robust high energy, shallow water species. A possible explanation of the Abrolhos reefs not showing a shallow up coral sequence could be the known low coral diversity in the Brazilian margin, which is typically dominated by shallow water species high turbidity and lack of hydrodynamic energy is possibly responsible for the lack of trends we see at these reefs, once they are not forced to change assemblage to keep living.

It is also important to note that these results shed a light on the Holocene evolution of the different reef arcs on the Abrolhos Shelf. Bastos et al., (2018) found that bryozoans dominate, alongside with coralgal assemblages, the Late Holocene reef framework along the Abrolhos outer arc, while here, it is clear that a coralgal assemblage dominates the Late Pleistocene/Holocene inner arc reef framework. The distinct reef composition in the two arcs can be explained by a set of habitat characteristics such as high nutrient/turbidity levels along the inner arc and a lower turbidity level and seasonal high productivity along the outer arc, including the distance from the coast (Bastos et al., 2018). In general, abundant bryozoans are absent in deposits with high siliciclastic input (Novak et al., 2013 and Santodomingo et al., 2015).

4.2 The Holocene reef evolution and their changing accretion rates

Reef radiocarbon dating and its accretion rate measurements are reported worldwide. Montaggioni (2005) compiled 684 reef accretion rates around the Indo-Pacific province to figure out the main evolution contrasts between the provinces. Montaggioni (2005) argued that reefs can respond differently to sea level rise, as accretion rates are dependent to the main framework builder. Thereby, relative sea level changes, water depth, hurricanes/cyclone frequency and water-energy conditions can be important reef drivers.

The Holocene Abrolhos coastal reefs started growing after 7000 years BP, when the inner shelf was completely drowned during the last glaciation and mean sea level was close to PSL (Leão and Ginsburg, 1997). This is now well established considering the data published by Leão and Ginsburg (1997) and the radiocarbon dates presented herein. The new information that brings complexity to an Abrolhos evolution model is that the two studied reefs show a distinct growth pattern and timing. Although they have their oldest coral ages very close to each other, their depths are different. It has a major implication for determining reef turn on paleo-depths. The Holocene/Pleistocene boundary at CV were observed at around 13m and the oldest coral age was obtained at around 10.5m (6406 ± 205). In PG, this boundary was not reached and the oldest coral age was obtained at 18m depth (6785 ± 200). So, there is a roughly 8 m difference between PG and CV, which means that CV was closer to PSL, while PG was completely submerged. This is also corroborated by the coral colony dated in PG (*M. cavernosa*), which occurs in more shaded or deeper areas in Abrolhos, in contrast with the *Millepora sp.* dated at the base of CV Unit 1.

Sea level curves for the eastern Brazilian coast show that sea level reached the PSL around 7000 years BP, and the Holocene Highstand stage occurred around 5100 years (Angulo et al., 2006), followed by a gentle fall of the curve, characterizing a regression phase. Leão et al. (2003) calculated an accretion rate average for Abrolhos reefs as 3.7 m/ky, but also identified maximum accretion rates around 6.7 m/ky at Coroa Vermelha Reef during the rapid accretion phase, between 5000 to 4000 years BP. The results presented here show an average accretion rate of 5.3 m/ky to CV and 3.2 m/ky to PG. However, CV reef grew for only around 2500 years, before it turned off around 4000 years BP, as observed here (4442 ± 220 cal years BP) and by Dechnik et al. (2019) (3730 cal yrs BP).

The turn off of CV reef could have been caused by a decrease in accommodation space due to a fall in relative sea level, as proposed by Dechnik et al. (2019) and also by an increase in sediment input after the highstand stage (~5500 yrs BP). Andrade et al. (2003), studying the evolution of the Caravelas coastal plain identified an increase in sediment input associated with the implementation of a second Caravelas river mouth nearby Nova Viçosa (the closer coastal portion to CV reef). This coastal progradation was also mapped by D'Agostini et al. (2015) using seismic data. These authors mapped seismic units showing inclined reflectors dipping towards the coastal reefs, south from the Caravelas river mouth. Both studies do not have an absolute date for the coastal progradation, but a relative dating shows that it occurs after 5500 yrs.

During the same period that CV reef turned on, grew and turned off, PG reef grew on a slower rate (2.1m/ky). When CV turned off, the closest reef record data at PG (3746 ± 90 years BP at 11.5), places the reef close to an average 11m depth. After reaching the depth of ~11-10.5 m, PG accretion rate increased to 4.4 m/ky (from 3746 ± 90 cal years BP to 1145 ± 170 cal years BP), until it reached mean sea level. It means that PG grew around 10.5m in 2300 years, showing a very similar behavior to CV. Moreover, the reef hiatus mentioned by Dechnik et al. (2019) does not seem to have limited the growth of PG reef. On the contrary, their hypotheses of a fall in sea level around 3700 yrs BP, or any climate oscillation, could have triggered the increase in reef accretion rates.

Also, the fact that PG reached the mean sea level around 1200 years ago, seems not to have totally shut down the reef, as happened to CV around 4000 years ago. This can explain the distinct morphology

between the two reef flats. PG is probably accreting laterally and their quasi-emergent pinnacles are still growing. These results have demonstrated that CV and PG reefs turned on at different depth/time and have grown independent of each other over the last ~ 6 ka, despite being located less than 35 km apart (Figure 1 and Figure 6). So, PG reef flat morphology represents a younger reef phase, compared to CV.

Reef composition and radiocarbon dates data also show that there are no subsidence evidences through the Holocene that have driven changes of the reef species distribution, once all the biota assemblage is common of shallow and reefal environments, as in the present day. In terms of the Pleistocene Unit, we did not have enough data to produce the same statement.

4.3 The shelf morphology as a driver of reef evolution in Arolhos

Since Hartt (1870) and Laborel (1969), the Arolhos reefs have been described as unique when compared the other main global reef provinces. The low coral diversity and high endemism, but also the mushroom-like pinnacle morphology represent clear differences. We could also argue that the Arolhos shelf is distinct from well-known carbonate platform models, as it does not fit to a classic ramp or a rimmed shelf models, being more like an open carbonate platform with inner shelf reefs and outer shelf rhodolith beds (Moura et al., 2013; Bastos et al., 2015). We can also point out the role played by Bryozoans as reef builders in the outer arc Arolhos reefs (Bastos et al., 2018). In any case, this work brings a new insight to the Holocene reef evolution in this carbonate-dominated shelf.

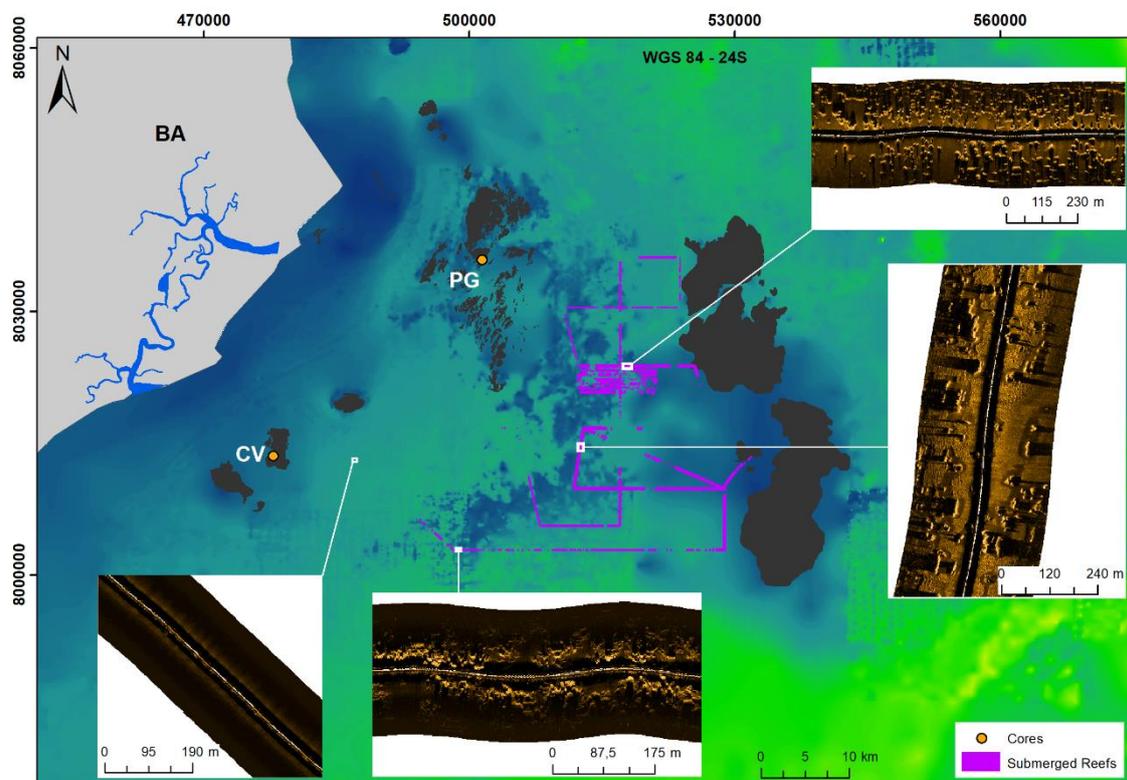
Basically, the data obtained in PG reef brought a new piece to the Arolhos reef growth puzzle. The two cores presented here show that the coastal reefs may have turned on at the same time, but their growth started from different water depths, which has not been described or even considered before. These findings bring a new insight to the fact that their occurrence or distribution are not necessarily all controlled by a topographic high, as suggested by Leão and Ginsburg (1997) and D'Agostini et al. (2015).

The possible missing point, so far, is a lack of a more detailed analysis on the Arolhos inner shelf morphology, following the study presented by Bastos et al (2015). Reef distribution in the Arolhos Shelf has always been presented and discussed as two reef arcs (Leão, 1982; Leão and Ginsburg, 1997; Leão et al., 2003; Moura et al., 2013; Bastos et al., 2018; Dechnik et al., 2019; Ferreira et al., 2020). The inner arc was always considered to be the patch bank reefs, forming reef flats during low tides (Figure 1). The outer arc is composed by, mainly, a high number of large pinnacles that are partially exposed during low tides. In between the two arcs, lies the so-called Arolhos Channel.

However, revisiting the high resolution morphology map around the Arolhos arcs (using Bastos et al., 2015 dataset) and combining with available and published side scan sonar images (Moura et al., 2013 and Ferreira et al., 2020) from the Arolhos Channel, we can suggest that shelf morphology has not only played an important role in reef evolution, but we can also argue that PG reef is morphologically distinct from the other 3 coastal reefs in the inner arc.

Figure 7 shows a detailed bathymetric map of the inner shelf depicting the Paredes/Pedra Grande reef and the submerged reefs mapped by Ferreira et al. (2020). In this map, we were able to identify that the Paredes/PG reef is adjoined by extensive submerged pinnacles and bank reefs (see side scan sonar images in Figure 7) set in an almost north-south direction (between the both known arcs). This reef set is composed by a huge complex of submerged and emergent reefs, that form an emergent Paredes/PG reef in its northern boundary.

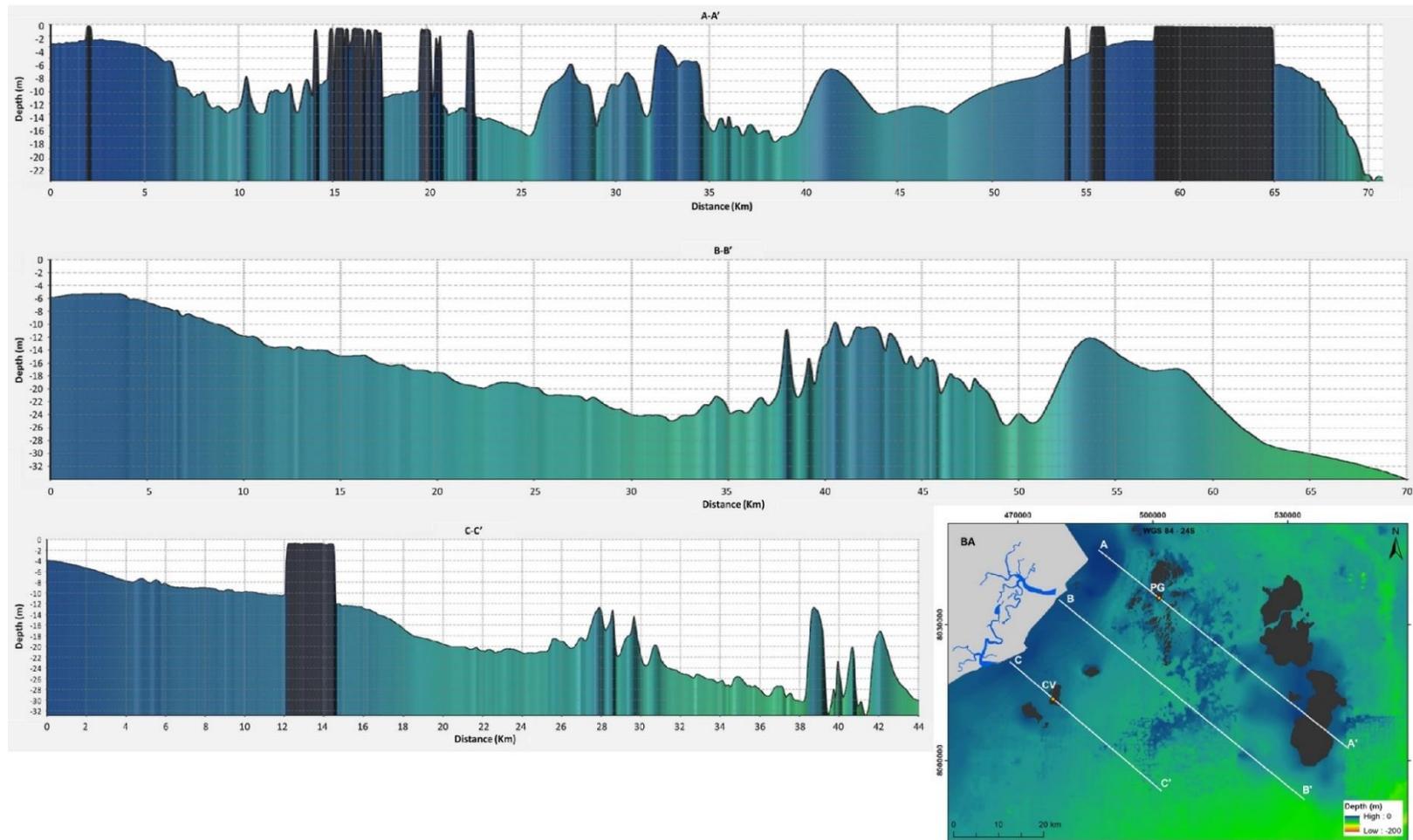
Figure 7: Bathymetric map of the inner and outer arcs showing acoustic images of submerged reefs and their distribution between the coastal reefs and the Abrolhos Parcel Reefs (acoustic data from Bastos et al. (2015), Moura et al. (2013) and Ferreira et al. (2020) data base). Submerged and emergent reefs between the reef arcs described by Leão and Ginsburg (1997) is highlighted. The yellow dots show the location of both reef cores (CV and PG) and in purple our interpretation of submerged reefs presence at side scan sonar route.



On the contrary, the three smaller coastal reefs (SG, CV and NV), to the south of the Caravelas river, seem to have developed on the top of a topographic high, forming these small and isolated patch reefs, with extensive reef flats during low tides. Leão and Ginsburg (1997) have suggested that this topographic high is a Pleistocene limestone, while D'Agostini et al. (2015) have mapped this boundary surface in the seismic data. These latter authors recognized an isolated topographic high in the seismic section crossing CV and SG and described it as a karst paleo topography. Their seismic data show an erosive surface, with infilled incised valleys, and this topographic high aligned with CV and SG. The results from the CV core show that the Holocene reef grew on top of a Pleistocene reef unit.

Furthermore, the bathymetric transects presented in Figure 8 show the morphological heterogeneity across the Abrolhos reef arcs. Transect A crosses the Paredes/PG reef showing the continuity of a reef topography characterized by submerged irregular peaks, ending at the outer arc, where bathymetric data does not exist as the pinnacles are emergent. The cross shelf bathymetric transects B and C (Figure 8) evidenced a distinct seabed morphology setting when compared to Paredes/PG. The seabed morphology surrounding SG, CV and NV are flat and resembles a coastal sediment wedge that was observed in the seismic stratigraphic units mapped by D'Agostini et al. (2015). Submerged reefs appear at the end of transects B and C (Figure 8), approximately 10-15 km offshore from CV and SG. These reefs represent the southern most end of this reef complex that emerges as the Paredes reef.

Figure 8: Cross shelf bathymetric transects of Abrolhos Inner/Medium Shelf. Transect A-A' crosses the Paredes/PG reef showing the continuity of a reef irregular bathymetry ending at the outer arc; and transects B-B' and C-C' on smoother seabed bathymetry near the coast and an irregular one in the end. In yellow is pointed the location of both reef cores (CV and PG). The dark bars show the emerged reefs (depth= 0m). (Modified from Bastos et al., 2015).



Thus, combining the radiocarbon dating and accretion rates with the seabed morphology discussed above, we can establish that the 3 Abrolhos smaller patch reefs (NV, CV and SG) were directly influenced by an antecedent topography. The Paredes reef is morphologically distinct from the other three and its evolution during the Holocene was not necessarily influenced by specific topographic high as observed in CV. PG started to grow in deeper water than CV, changing the accretion rates, much probably as a function of water depth.

Moreover, the morphology of the emergent Paredes reef is adjoined by a submerged or quasi-emergent reef complex formed by pinnacles and bank reefs. This is interpreted herein as one reef set that forms an intermediate arc that is partially submerged and partially emergent. The reason for that is not necessarily a specific topographic high, but the irregular shelf morphology and the associated reef accretion rates. Our data show a 6800 years old coral, in PG, at 18m depth, when the sea level was very close to the PSL. Looking at the bathymetric map and transects, it is clear that many pinnacles or bank reefs started their edifice around this depth or deeper. This shows that part of these reefs could not keep up with sea level rise rates and it is possible that the oscillation observed around 3.7 kyrs favored an increase in accretion rates for the reefs closer to the coast or that had already reached a minimum depth (~11m) that allowed them to keep up with a following sea level rise (2.5 – 2 kyrs, proposed by Dechnik et al., 2019).

5 Conclusions

Colonies of corals (endemic or not) and CCA assemblages were identified as a main framework builders of Abrolhos inner shelf reefs since the Pleistocene. No clear shallowing upward reef builder sequence was observed, which differs from other reef sequences all over the world. The typical low coral diversity in the Brazilian margin, high turbidity levels, lack of hydrodynamic energy and typical reef morphology and coral habitats (reef tops and walls) are possible explanations for the lack of shallowing up trends. These characteristics do not force a framework builder assemblage shift during sea level rise.

The Holocene reef history began when the shelf was drowned around 7 ky, which allowed the reef initiation. PG and CV reefs turned on, on different depth/time and with different coral assemblage sequences, giving a new insight on the Abrolhos reef evolution. PG started growing in the same time as CV, but in a water depth around 10m deeper. The reefs have grown independent from each other over the last ~ 6 ka, despite being located less than 35 km apart. In terms of coral growth, CV turned off around 4 ky, but PG kept growing until around 1 ky. Any climate variability during the Late Holocene did not, necessarily, affected PG growth. This indicates that PG initiation is not controlled by a local paleo-topographic high, as it might be the case for CV.

PG geographic distribution seems to be related to another scale of the inner shelf seabed morphology. The key for this interpretation is the distribution of submerged reefs. PG/Paredes is one reef set that forms an intermediate arc that is partially submerged and partially emergent. So, reef distribution in Abrolhos could be described as three reef arcs with different morphologies: the inner one is composed by patch reefs NV, CV and CG (around 10 km from the coast) forming extensive reef flats during low tides; an intermediate one, composed by a complex of submerged and emerged pinnacles/reef banks (Paredes/PG is a part of it, where it stay completely submerged in high tides); and the outer arc, characterized by a complex of isolated pinnacles, around 70 km from the coast.

Holocene and Pleistocene reefs are not very different in terms of reef composition and environmental setting. Both grew on high turbid waters, with a significant terrigenous sediment input.

CAPÍTULO 2: O REGISTRO PLEISTOCÊNICO NA PLATAFORMA INTERNA DE ABROLHOS

1 Introdução

As plataformas continentais se comportam como ambientes deposicionais recebendo majoritariamente material sedimentar provenientes de fontes terrígenas (principalmente siliciclásticos decorrentes da erosão e dissolução de rochas continentais) e de fontes marinhas (principalmente carbonáticos derivados da precipitação inorgânica do carbonato e induzido ou controlado biologicamente) (Coe, 2003; Schlager, 2005). Análises detalhadas da interação espacial e temporal entre sedimentos siliciclásticos e carbonáticos podem ajudar a estimar o papel dos principais fatores controladores dos sistemas deposicionais, o que vem trazendo subsídio para as teorias e modelos de sedimentação mista em plataformas continentais conhecidos mundialmente. Wilson (1967) foi o primeiro autor a explicar e discutir o conceito de sedimentação mista levando em consideração a sedimentação cíclica e recíproca ao longo do tempo, onde a deposição de siliciclásticos se dá durante o rebaixamento relativo do nível do mar, e dos carbonatos durante a subida do nível do mar, para explicar a origem da sedimentação mista na margem continental.

Trabalhos dedicados à ocorrência de sedimentos mistos em depósitos modernos e antigos mostram que o sedimento misto não é simplesmente uma exceção à regra, mas na verdade, algo bastante comum. Desde o modelo apresentado por Wilson (1967), muitas pesquisas sobre sedimentação mista em margens continentais foram desenvolvidas no intuito de explicar os diferentes padrões de sedimentação ao longo do mundo. Francis et al. (2007), de forma inovadora, apresentam um novo conceito sobre a coexistência da sedimentação carbonática e siliciclástica em um ambiente de plataforma continental, a chamada sedimentação coeva, o que difere dos modelos anteriormente apresentados considerando a deposição dos diferentes tipos de sedimento em momentos diferentes.

No contexto da Plataforma Continental Leste Brasileira, incluindo os estados do Espírito Santo e Bahia, a coexistência de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos é bem conhecida e vem sendo alvo de estudos como o de Vieira et al. (2019). Esses autores mostram que a largura da plataforma é uma das componentes que controlam a transição entre sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, onde plataformas continentais estreitas tendem a apresentar uma variação lateral/along-shelf do padrão de sedimentação, enquanto plataformas continentais mais largas, como a Plataforma Continental de Abrolhos (PCA), mostram um padrão transversal/cross-shelf de transição, ou seja, aumento da sedimentação carbonática com o aumento da profundidade.

De forma simplificada, a PCA apresenta um gradiente transversal no seu regime moderno de sedimentação, passando de um domínio de sedimentação siliciclástica na plataforma interna, desenvolvimento recifal na porção centro-norte da plataforma interna a média, e extenso banco de rodolitos na plataforma externa (Leão, 1982, Leão & Ginsburg, 1997; Leão et al., 2003; Amado-filho et al., 2012; Moura et al., 2013 e Ferreira et al., 2020). Essa coexistência entre sedimentação siliciclástica e carbonática ao longo da plataforma interna moderna aponta para ambientes recifais associados a uma alta turbidez, onde, então, crescimento recifal e aporte terrígeno podem coexistir. O Capítulo 1 mostra que as sequências recifais do Pleistoceno Superior e do Holoceno corroboram essa prerrogativa dos recifes marginais de Abrolhos, assim como é descrito amplamente para os recifes costeiros na Grande Barreira de Corais (GBR) na Austrália e no Caribe, por exemplo, Belize. Belize é um exemplo de uma plataforma de sedimentação mista na sua porção interna, como também pode ser considerada a porção mais interna da GBR (Droxler e Jorry, 2013 e Francis et al., 2007).

Considerando o crescimento recifal em um ambiente de alta turbidez (aporte terrígeno nesse caso), uma das perguntas que surge neste cenário é como se deu essa evolução recifal durante o Pleistoceno, considerando as flutuações do nível do mar e a variabilidade de aporte sedimentar. No âmbito da

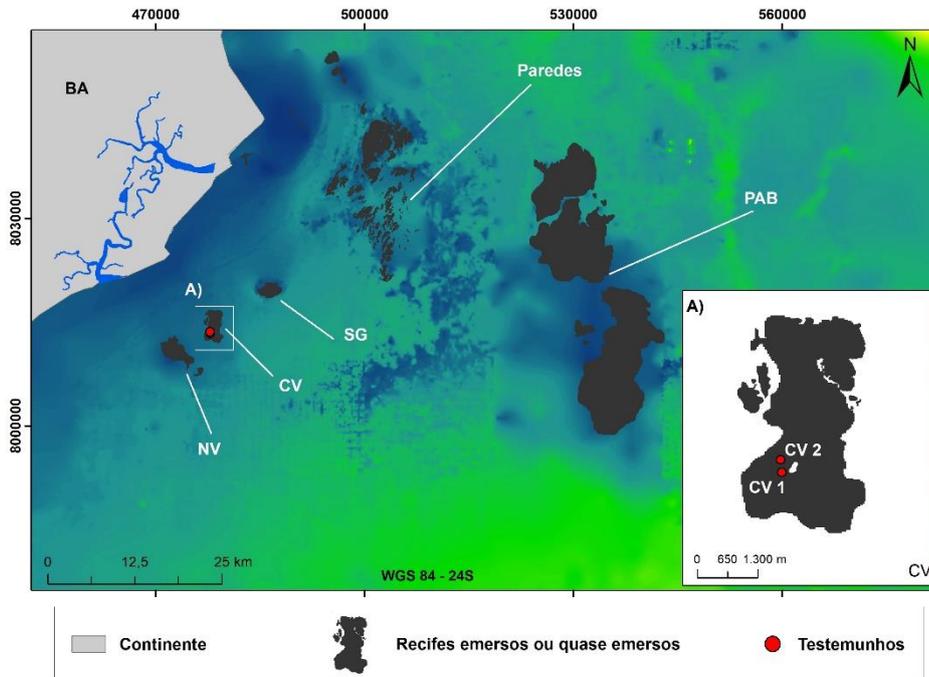
Plataforma Continental de Abrolhos, apenas três trabalhos voltados à análise da evolução ambiental pleistocênica já foram realizados até o momento, porém nenhum deles com amostragem de testemunhos na Plataforma. Bernat et al. (1983) e Martin et al. (1988) compartilharam dos mesmos resultados, sendo estes referentes à datação de colônias recifais em terraços aflorados na costa da Bahia, mostrando corais datados de 120.000 anos AP com desenvolvimento acima do nível atual do mar em torno de 3 a 6 metros. Recentemente D'Agostini et al. (2015), em levantamento sísmico na plataforma interna de Abrolhos, identificou sequências estratigráficas carbonáticas/siliciclásticas interpretadas como pleistocênicas e holocênicas, incluindo feições como canais incisos, recifes, clinofórmias prográdantes e até mesmo superfícies cársticas paleo topográficas desenvolvidas a partir da exposição subaérea durante o último máximo glacial.

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é analisar o registro sedimentar pleistocênico da Plataforma Continental Interna de Abrolhos considerando, especificamente, a evolução de áreas com a presença de recifes holocênicos. Esse estudo evolutivo visa investigar as variações temporais nas fácies sedimentares pleistocênicas, buscando definir ciclos de maior ou menor influência terrígena, associando, assim, aos eventos regressivos e transgressivos. Como objetivos específicos incluí-se: 1) inferir condições paleoambientais tendo como proxies análises mineralógicas e de foraminíferos; 2) identificar e interpretar estratigraficamente as diferentes fácies sedimentares pleistocênicas; 3) propor um modelo de sedimentação e evolução paleoambiental pré-holocênica.

2 Metodologia

A investigação da evolução paleoambiental foi realizada a partir de dois testemunhos perfurados no Recife de Coroa Vermelha. O recife de Coroa Vermelha está localizado na plataforma interna de Abrolhos, há aproximadamente 10 quilômetros da costa em frente à cidade de Nova Viçosa - BA. A Ilha de Coroa Vermelha está localizada na porção centro-sul do recife de mesmo nome e é composta basicamente por sedimento carbonático oriundo do mesmo. A Figura 5 mostra os pontos de amostragem assim como os recifes rasos da plataforma. A metodologia foi baseada na perfuração rotativa com perfuratriz MAQ 850 (Empresa Sondatech) no topo de recifes rasos do arco interno da Plataforma de Abrolhos. Dois testemunhos não contínuos foram amostrados no Recife de Coroa Vermelha, com aproximadamente 200 metros de distância entre eles, chamados aqui de CV1 (perfuração a sotavento da ilha de Coroa Vermelha) (8013314N / 477853E) e CV2 (perfuração a boreste da ilha de Coroa Vermelha) (8013586N / 477824E). Vale ressaltar que o testemunho CV2 é o mesmo discutido no capítulo anterior e chamado anteriormente de CV. Os testemunhos alcançaram em torno de 50 metros de perfuração, porém com recuperação total entre 19,73% a sotavento (CV1) e 23,64% a boreste (CV2) da ilha de Coroa Vermelha.

Figura 5: Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de amostragem dos testemunhos na Plataforma de Abrolhos. Descrição: Recifes emerso ou quase-emersos da Plataforma são representados como Paredes, SG – Sebastião Gomes, CV – Coroa Vermelha, NV – Nova Viçosa e PAB – Parcel dos Abrolhos; A- zoom do Recife de Coroa Vermelha evidenciando os pontos de coleta dos testemunhos CV1- amostrado a sotavento da Ilha de Coroa Vermelha e CV2- amostrado a boreste da Ilha de Coroa Vermelha.



O método de amostragem por perfuração não permite a coleta de um testemunho contínuo e sim de intervalos de amostragem a cada um metro e meio de avanço vertical a partir do topo recifal. Assim, os testemunhos foram recuperados a cada avanço de um metro e meio do equipamento totalizando aproximadamente cinquenta metros de comprimento em cada testemunho.

Com o auxílio de técnicas de datação de radiocarbono e difratometria de raio-X foi possível identificar a superfície estratigráfica que marca a fronteira Holoceno-Pleistoceno na estrutura recifal dos testemunhos. Assim, a fácies recifal holocênica, já descrita no capítulo anterior para o testemunho CV2, foi simplesmente tratada como unidade recifal holocênica neste capítulo (sem nenhuma referência específica ou descrição às suas variações ou idades) e apenas as fácies estratigraficamente abaixo desta foram consideradas para descrição e discussão neste capítulo.

Em laboratório, os testemunhos foram fotografados e seccionados longitudinalmente, e a litologia interna analisada macro e microscopicamente.

A descrição litológica das amostras sedimentares segue o padrão adotado por Webster e Davies (2003) de forma adaptada, onde a descrição estratigráfica das fácies sedimentares é feita com base nas principais alterações litológicas e faunísticas, definindo as principais seções estratigráficas em cada testemunho

A classificação litológica/textural das porções carbonáticas segue os critérios e definições para sedimentos carbonáticos de acordo com a classificação de Dunham (1962) e modificada por Embry and Klovan (1972) (Figura 6). Apesar dos testemunhos não possuírem composição carbonática em sua totalidade, a classificação foi adotada visando seguir o mesmo padrão de classificação para toda extensão dos testemunhos, uma vez que o topo dos mesmos é recifal e classificado como boundstone e/ou rudstone. Além disso, os testemunhos apresentaram cascalhos carbonáticos em meio a matriz

carbonática, siliciclástica, e até mesmo mista, classificando muitas fácies como floatstones e rudstones, que corroboraram para a escolha da classificação.

Figura 6: Classificação de rochas carbonáticas de Dunham (1962) e modificada por Embry and Klovan (1972). (Fonte: Modificada de Embry and Klovan (1972)).

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

A partir da classificação visual macroscópica (core logging) dos testemunhos, foram feitas subamostragens para análise petrográfica e mineralógica nas diferentes fácies estratigráficas identificadas, assim como análise quantitativa de teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) e análise de foraminíferos, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição da subamostragem dos testemunhos, incluindo o número de amostras coletadas para cada método e local onde foram analisadas/interpretadas.

Metodologia	Número de amostras	Onde foi produzida/analizada
Petrografia	38	Lâminas petrográficas produzidas pelo National Petrographic Service, Inc. (US) e analisadas no Laboratório de Geociências Marinhas (LaboGeo/UFES) e em parceria com Geocoastal Research Group (University of Sydney) com o Professor Jody M. Webster.
Mineralogia	24	Análise usando Difractometria de raio-X (DRX) no Laboratório de Oceanografia Geológica (IO-USP) em parceria com o Professor Luigi Jovane; e interpretação em parceria com o professor Caio Gabrig Turbay (UFESB).
Quantificação de CaCO ₃	37	Processo realizado no Laboratório de Geociências Marinhas (LaboGeo/UFES).
Análise de foraminíferos	23	Triagem e interpretação em parceria com o Pós-doutorando André Rosch Rodrigues (LaboGeo/UFES).

As lâminas petrográficas foram fabricadas nas dimensões 25x50mm e analisadas usando microscópio petrográfico, onde os componentes sedimentares siliciclásticos e carbonáticos, assim como suas respectivas mudanças nos padrões de sedimentação foram identificados, mapeados e fotografados.

Mineralogia e Composição

A análise mineralógica foi baseada no método da Difractometria de raios-X (DRX), utilizando-se a metodologia convencional, com radiação Cu-K alfa (comprimento médio $\lambda = 0,15419$ nm) e geometria Theta/2Theta Bragg-Bretano. A amplitude angular utilizada varia de 3.00° a 90.00°, com intervalos de 0.04°, utilizando Cu-K alfa duplo, com comprimento de onda 0,154056 (65%) e 0,154439 (35%). O

procedimento analítico interpretativo das fases minerais a partir dos difratogramas (resultados do DRX) têm como fontes principalmente fichas e bases minerais existentes na literatura, onde são listados parâmetros relativos aos distanciamentos dentro dos retículos cristalinos, além das relações angulares e axiais em diferentes espécies minerais. Neste sentido, o volume relativo de fases minerais percentualmente pode ser verificado através das áreas dos picos de intensidade do sinal por comparação entre picos de espécies diferentes. O erro máximo encontrado através desta técnica é de $\pm 5\%$ em volume. Os diferentes conjuntos difratométricos foram agrupados e classificados segundo seu conjunto de minerais identificados pelo DRX.

A análise de teor de carbonato foi feita a partir da amostragem de aproximadamente 10g de sedimento seco a 40°C. Após secagem em estufa, foi feita a pesagem em balança de precisão (recipiente e amostra). Com auxílio de capela de exaustão de gases, o recipiente com a amostra recebeu a adição lenta e gradual de HCl (30%) com o auxílio de uma pisseta. O procedimento continuou até que a adição de HCl não provocasse mais reação, indicando que todo o CaCO_3 já havia sido queimado em ácido clorídrico. Terminada a queima do carbonato, o sedimento foi lavado 3 vezes com água e novamente seco em estufa à 40°C. Após seco, recipiente e sedimento foram novamente pesados e o teor de carbonato de cálcio de cada amostra foi calculado como sendo o sedimento pré-queima subtraído do sedimento pós-queima corrigido para porcentagem.

Foraminíferos

Já a análise da composição da fauna de foraminíferos ao longo do testemunho se desenvolveu a partir da pesagem a seco das amostras e posterior hidratação e peneiramento úmido com abertura 63 μm . Após secagem, as amostras foram novamente pesadas e seguidas para a triagem de foraminíferos. Amostras que apresentavam um número muito elevado de espécimes foram quarteadas até uma fração contendo cerca de 300 indivíduos. Os espécimes que não estavam muito fragmentados, dissolvidos ou desgastados puderam ser identificados até o nível de gênero ou mesmo ao nível de espécie tendo como referência Boltovskoy et al. (1980), Debenay et al. (2001), Jones (1994) e Leoblich & Tappan (1994). Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no Instituto Tecnológico de Micropaleontologia (ITT Fossil) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) para os principais táxons encontrados. A diferenciação de assembleias de foraminíferos foi baseada na vasta bibliografia de associações de espécies em ambientes de plataforma e ambientes recifais. Como referências para tal determinação foram considerados os trabalhos de Boltovskoy et al. (1980), Hemleben (1989), Sen Gupta & Machain-Castillo (1993), Yanko et al. (1994), Alve (1995), Culver & Buzas (1995), Mackensen et al. (1995), Sen Gupta et al. (1996), Debenay et al. (1998), Debenay, et al. (2001), Ruiz et al. (2005), Murray (2006), Eichler et al. (2012), Rodrigues et al. (2014), Macedo et al. (2017), Vilela et al. (2019) e Rodrigues et al. (2020).

Análises Estratigráfica e Paleoambiental

O uso da composição mineralógica e fauna de foraminíferos como proxies para as inferências de variações paleoambientais e/ou paleoclimáticas foi selecionado uma vez que a integração das análises mineralógicas com outros indicadores de proxy do paleoclima permite a diferenciação dos efeitos paleoclimáticos de demais efeitos, como tectônicos, por exemplo (Ruffell et al., 2002). As inferências paleoclimáticas e variações de aporte sedimentar são possíveis e justificáveis pelo fato de o conteúdo mineral de argila ser controlado pelo tipo de material parental (intemperizado), regime de intemperismo, ambiente deposicional e por alterações diagenéticas subsequentes (Ruffell et al., 2002). Já os foraminíferos, principalmente bentônicos, foram utilizados por sua importância e relevância como indicadores ambientais, uma vez que apresentam uma rápida proliferação e evolução, bem como ampla distribuição geográfica e fácil reconhecimento morfológico, o que permite sua utilização como marcadores bioestratigráficos (Antunes & Melo, 2001). Pequenas modificações nas características do ambiente, como temperatura, salinidade, oxigênio, disponibilidade de nutrientes ou granulometria do sedimento depositado podem ser uma determinação fundamental para a mudança do tipo de nicho

ecológico dos foraminíferos e, assim, ser possível determinar padrões de distribuição em relação aos principais controles ambientais (Murray, 2006).

Com base nos critérios litológicos, sedimentares, petrográficos, mineralógicos e micropleontológicos, cada testemunho foi dividido em fácies estratigráficas definidas aqui como Units, e estas, numeradas a partir do topo de cada testemunho. O número referente a cada Unit não é comparável entre os testemunhos e foi distribuído apenas a partir da descrição estratigráfica separada de cada testemunho, ou seja, Units com o mesmo número em ambos testemunhos não são necessariamente referentes entre si. O limite entre cada uma das Units foi descrita e analisada, a fim de auxiliar no entendimento da evolução da plataforma. A litologia foi, então, descrita dentro de um contexto estratigráfico com a definição das diferentes fácies visando entender a evolução do pacote sedimentar/recifal pleistocênico desenvolvido anteriormente aos recifes modernos da plataforma.

A apresentação dos resultados foi desenvolvida baseada na descrição dos testemunhos a partir da base em direção ao topo, acompanhando sua evolução. Desta forma, os resultados foram divididos por testemunho, ou seja, a descrição das fácies estratigráficas identificadas em cada um dos testemunhos foi feita separadamente, e estas acompanhadas dos resultados das diferentes metodologias utilizadas para sua classificação. A correlação estratigráfica e interpretação das fácies, do ponto de vista paleoambiental, é apresentada na discussão do capítulo.

A compilação e interpretação dos dados foram auxiliadas pelos softwares “Adobe Illustrator CC 2017” e “Golden Strater 5”.

3 Resultados

A interface Holoceno-Pleistoceno foi identificada em torno dos 12 metros de perfuração no testemunho CV1 e 13,5 metros no testemunho CV2. Em ambos os furos, a quantificação de presença de aragonita e calcita foi definida, bem como a observação da substituição de aragonita das colônias de corais escleractíneos por calcita. No testemunho CV2, a datação mais antiga próxima a essa interface foi de 6406 ± 205 cal anos AP na profundidade de 10,5 metros (Capítulo 1). Abaixo dessas profundidades foram identificadas as fácies estratigráficas pleistocênicas.

Devido à baixa recuperação do topo de CV1, não foi possível afirmar que as porções recifais encontradas no topo holocênico foram desenvolvidas “in situ”, assim não foram feitas datações de radiocarbono, e, por este fato, não apresentadas anteriormente.

A partir do exposto, o testemunho CV1 foi dividido em oito fácies estratigráficas e o CV2 em dez, onde as características composicionais, mineralógicas e litoestratigráficas de cada uma delas são descritas a seguir, além de pontuar que a fácies do topo de ambos, chamada de Unit 1, contempla a fácies recifal holocênica. Os primeiros resultados apresentados compreendem a descrição e análise da distribuição de foraminíferos em 3 assembleias e descrição e definição de fácies difratométricas que definem a distribuição dos grupos minerais nos dois testemunhos.

3.1 Foraminíferos nos testemunhos CV1 e CV2

A composição de foraminíferos por amostra variou consideravelmente, contemplando riqueza de espécies entre zero e 42 no testemunho CV1 e entre 9 e 68 no testemunho CV2. Além disso, a razão número de foraminíferos por grama de sedimento analisado também variou de zero a 949,7 no testemunho CV1 e entre 6,8 a 19076,7 no testemunho CV2. O Apêndice 1 traz as informações de classificação quali-quantitativa de foraminíferos para todas as amostras. A Tabela 2 mostra que os principais grupos de foraminíferos identificados são os foraminíferos bentônicos, divididos em Miliolídeos, Calcário Hialinos e Aglutinantes (identificados em porcentagem), mostrando ainda os

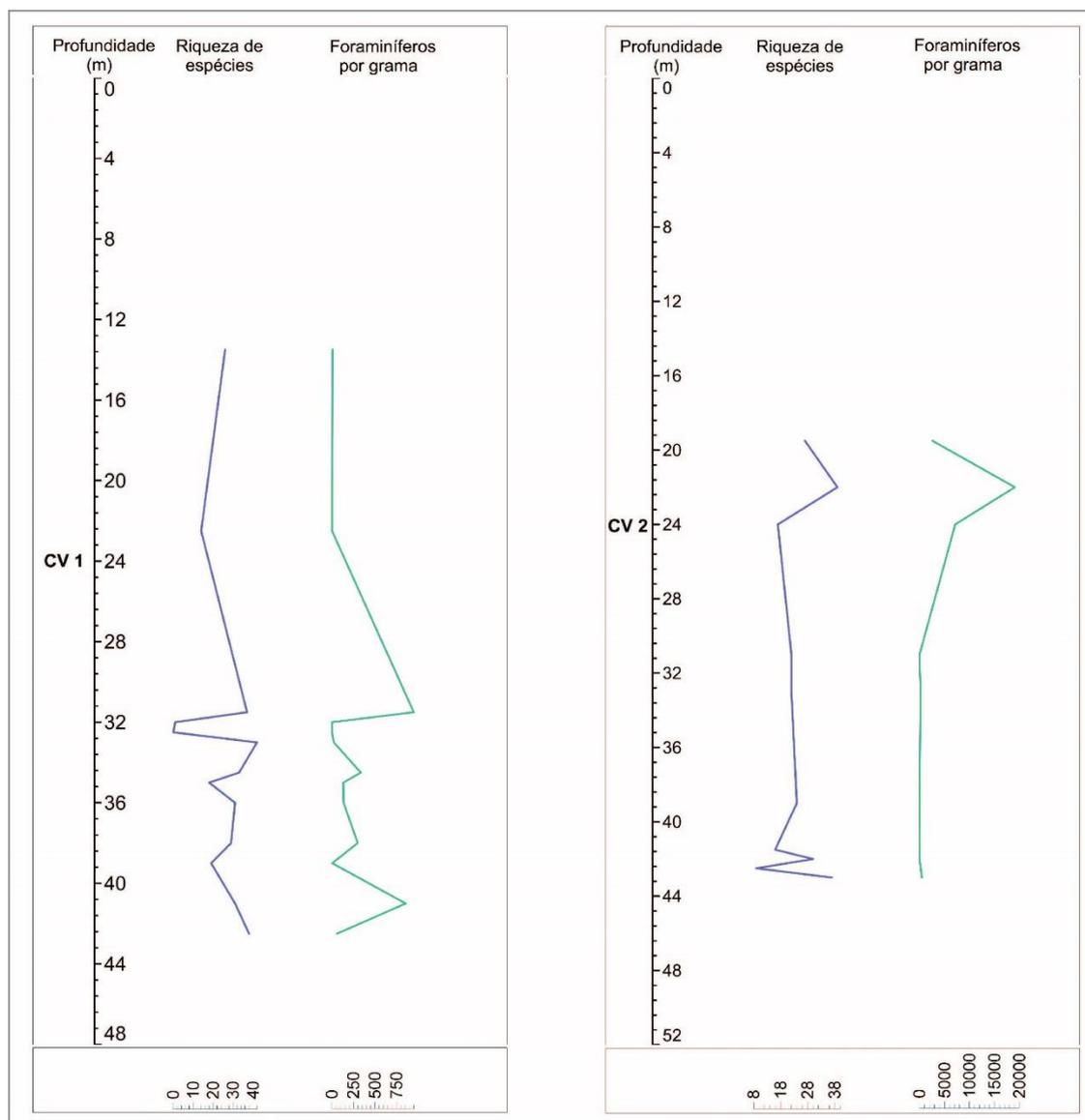
valores referentes à distribuição total de foraminíferos, riqueza de espécies e foraminíferos por grama de sedimento analisado ao longo dos dois testemunhos.

A distribuição da riqueza de espécies e o número de foraminíferos por grama de sedimento ao longo dos dois testemunhos é evidenciada na Figura 7. O padrão de variabilidade da riqueza e abundância por grama é bem distinto quando comparados os dois testemunhos. O CV1 apresenta uma maior variabilidade dos parâmetros, com uma abrupta variação entre 31,5 e 33 metros de profundidade, mostrando uma diminuição bem marcada da riqueza de espécies. O CV2 apresenta uma variabilidade menor nos valores dos parâmetros ao longo do testemunho, mas apresenta um pico de aumento de ambos os parâmetros entre 19,5 e 25,5 metros de profundidade, seguido de uma tendência de aumento da riqueza em direção ao topo.

Tabela 2: Quantitativo de foraminíferos identificados nas amostras ao longo dos testemunhos CV1 e CV2. São representados o total de foraminíferos identificados, a riqueza de espécies e quantitativo de foraminíferos por grama de cada amostra, assim como o quantitativo dos principais grupos encontrados.

Testemunho	Profundidade	Total de Foraminíferos	Riqueza de espécies	Foraminíferos/g	Miliolídeos (FBM)	Calcário hialinos (FBH)	Aglutinantes (FBA)	Foraminíferos Planctônicos (FP)	Foraminíferos Bentônicos (FB)
CV1	13.5 - 15m (4-26cm)	49	26	6,7	20,4	71,4	0,0	6,1	93,9
	22.5 - 24m (1cm)	16	14	1,3	18,8	50,0	12,5	0,0	87,5
	31.5 - 33m (1) (9cm)	17600	37	949,7	0,0	97,8	0,0	2,2	97,8
	31.5 - 33m (2) (62cm)	3	1	0,2	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
	31.5 - 33m (3) (93cm)	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	33 - 34.5m (1cm)	210	42	21,9	0,0	92,4	0,0	0,0	99,0
	34.5 - 36m (1) (1cm)	3232	33	334,5	1,0	97,5	0,0	1,5	98,5
	34.5 - 36m (2) (26cm)	2784	18	131,7	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
	36 - 37.5m (12cm)	1504	31	135,6	0,0	89,9	0,0	0,0	100,0
	37.5 - 39m (30cm)	4976	29	299,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
	39 - 40.5 m (14cm)	67	19	3,3	1,5	98,5	0,0	0,0	100,0
	40.5 - 42m (21cm)	8640	31	856,6	0,0	98,9	0,0	1,1	98,9
	42 - 43.5m (33cm)	1252	38	58,0	0,0	99,7	0,0	0,3	99,7
CV2	19.5 -21 m (11cm)	35904	27	2591,2	0,0	99,2	0,0	0,8	99,2
	21 -22.5m (58cm)	275200	39	19076,7	0,0	98,4	0,0	1,5	98,5
	22.5-25m (148cm)	59462	17	7146,9	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
	31 - 32m (14cm)	90	22	8,4	0,0	90,0	8,9	0,0	98,9
	32.5-34m (50cm)	2912	22	212,4	3,3	96,7	0,0	0,0	100,0
	38.5 - 40m (44cm)	99	24	17,3	1,0	40,4	56,6	0,0	99,0
	41.5 - 43m (1) (1cm)	88	16	6,8	0,0	97,7	0,0	0,0	97,7
	41.5 - 43m (2) (15cm)	189	30	12,8	3,2	95,2	0,0	1,1	98,9
	41.5 - 43m (3) (52cm)	102	9	NO DATA	0,0	97,1	0,0	2,9	97,1
	43 - 46m (6cm)	3168	37	474,1	1,8	77,0	0,0	0,5	99,2

Figura 7: Distribuição da riqueza de espécies de foraminíferos (em azul) e quantitativo de foraminíferos por grama de sedimento analisado (em verde) nas amostras ao longo dos testemunhos CV1 e CV2.



A análise dos foraminíferos levou à identificação de três assembleias distintas, tendo como base a associação das espécies e gêneros observados nos testemunhos.

A **Assembleia I** foi caracterizada pela baixa abundância do gênero *Elphidium* e grande diversidade de Miliolídeos, e, por ora do gênero *Amphistegina* e/ou dos gêneros *Quinqueculina* e *Bolivina*, além de abundância de calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Essa assembleia está associada a ambientes de águas quentes e ambientes recifais.

A **Assembleia II** foi caracterizada pela grande dominância de espécies dos gêneros *Ammonia* e *Elphidium* (ora também dos gêneros *Bolivina*, *Discorbis*, *Haynesia* e *Buliminella*) e presença marcante do gênero *Pararotalia*, além de abundância de calcários e rotalídeos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Essa assembleia caracteriza ambientes de águas costeiras e ambientes de plataforma interna com maior concentração de matéria orgânica.

Por fim, a **Assembleia III** foi caracterizada pela presença dos gêneros *Ammonia*, *Cibicides*, *Bolivina*, *Pararotalia*, *Globocassidulina*, *Nonion*, *Elphidium* e *Haynesina*, ora com presença e ora com ausência de foraminíferos planctônicos, além de abundância de calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Essa assembleia estaria caracterizando ambientes de plataforma continental interna mais exposta.

A Tabela 3 apresenta a distribuição das assembleias de foraminíferos ao longo dos testemunhos CV1 e CV2:

Tabela 3: Distribuição das assembleias I, II e III de foraminíferos ao longo dos testemunhos CV1 e CV2.

Testemunho	Assembleia	Profundidade no testemunho
CV1	I	Entre 13,5 e 24 metros
	Ausência de foraminíferos	Entre 32 e 33 metros
	II	Entre 33 e 34,5 metros
		Entre 36 e 37,5 metros
	III	Entre 34,5 e 36 metros
Entre 37,5 e 43,5 metros		
CV2	I	Entre 12 e 19,5 metros
	II	Entre 19,5 e 21 metros
		Entre 32,5 e 43 metros
	III	Entre 21 e 32 metros
		Entre 43 e 46 metros

3.2 Mineralogia nos testemunhos CV1 e CV2

Os principais minerais encontrados em ambos testemunhos foram caulinita e muscovita/ilita, considerados minerais essenciais. Como minerais acessórios foram encontrados ankerita, apatita, CO³-apatita, aragonita, boehmita, calcita, dickita, dolomita, siderita, biotita, smectita siderita, brookita e taquidrita em diferentes proporções ao longo dos testemunhos, como mostrado na Tabela 4 e Apêndice 2.

Tabela 4: Quantificação (porcentagem) dos minerais identificados para os testemunhos CV1 e CV2, em cada uma das amostras analisadas.

CV1												
Amostra (profundidade)	Ankerita	Apatita	CO3-Apatita	Aragonita	Boehmita	Calcita	Caulinita	Dickita	Dolomita	Muscovita / Illita	Siderita	Total
22,5 – 24	6	1,1	7		0,9	1,9	66			16	0,7	99,6
24 – 25	2,7	0,81	1,7				88,3		1,03	5,1		99,64
27 – 28,5	5,07	3,44					81,9	1,51		7,11	0,9	99,93
28,5 – 30	5,7		6,5			1,8	78		0,6	6	0,6	99,2
30 - 31,5	6,5	6,5		5,5			31,1			50,3		99,9
31,5 – 33			13				69		5	13		100
33 – 34			2,1				81		2,5	14		99,6
34,5 - 36							96,2		1,4	2,2	0,13	99,8
36 – 37,5		2					87			11		100
37,5 - 39			8				79		3,5	9,5		100
43,5 – 45							93,9			6,1		100
48 – 49,5							80			20		100

CV2												
Amostra (profundidade)	Ankerita	Brookita	CO3-Apatita	Boehmita	Caulinita	Dolomita	Muscovita / Illita	Biotita	Smectita	Siderita	Taquidrita	Total
12 a 13,5	2,39				81,03		14,84				1,73	99,99
13,5 a 15	1,09				93,15		5,75					99,99
16,5-18					95,19		2,1		1,05		0,59	98,93
19,5 a 21	5,79	0,92			79		13,8	0,47				99,98
21 a 22,5	2,19	0,69			92,1		5,1					100,08
24 a 25,5	13,5				57,7		28,4			0,37		99,97
30 a 31,4 (1)	2,78				83,3		7,8					93,88
30 a 31,4 (2)	5,18				92,3		2,6					100,08
32,5 a 34	2,06				80,9		17,3					100,26
41,5 a 43	1,18		5	0,8	69	0,6	20			0,4		96,98
38,5 a 40			2,2		83	1,9	13					100,1
43-46	2,58				97,07						0,35	100

A partir do conjunto de minerais, os padrões gráficos difratométricos e seu refinamento quantitativo foi possível separar os testemunhos em seis conjuntos difratométricos, sendo eles:

Conjunto difratométrico A: Apresentou presença dos minerais essenciais, em média, cerca de 80% de caulinita com baixo ordenamento e 10,2% de muscovita/ilita. Como minerais acessórios observou-se a ankerita (4,6%) e apatita/CO₃-apatita (2,9%), além de traços de dolomita, calcita, siderita, dickita, smectita e boehmita. O conjunto foi observado apenas no CV1 entre as profundidades de 22,5 e 30 metros.

Conjunto difratométrico B: Apresentou predominância da muscovita/ilita sobre a caulinita, apresentando cerca de 50% da primeira sobre 30% da segunda. Como minerais acessórios observou-se a ankerita, a apatita e a aragonita. O conjunto também foi observado apenas no testemunho CV1, entre as profundidades 30 e 32 metros.

Conjunto difratométrico C: Apresentou dominância de caulinita (81%) sobre muscovita/ilita (12%). No entanto, possuiu como minerais acessórios apenas a apatia/CO₃-apatita e a dolomita. Conjunto muito recorrente em ambos os testemunhos, entre as profundidades 32 - 36 metros e 37,5 - 49,5 metros em CV1 e entre 21 – 40 metros em CV2.

Conjunto difratométrico D: Apresentou assembleia mineral essencial dada por caulinita (82%) e muscovita/ilita (14%) e apatita/CO₃-apatita (3%) como mineral acessório. O conjunto foi observado em ambos os testemunhos, porém em profundidades bem diferentes, entre 36 – 37,5 metros em CV1 e 12 – 18 metros em CV2.

Conjunto difratométrico E: Apresentou composição mineral baseada em aproximadamente 79% de caulinita e 13,8% de muscovita/ilita e minerais acessórios ankerita, brookita e biotita, sendo o único conjunto que apresentou biotita em sua composição. O conjunto foi observado apenas no testemunho CV2, entre as profundidades 18 e 21 metros.

Conjunto difratométrico F: Apresentou composição baseada quase em sua totalidade por caulinita (97%) e ankerita e taquidrita como minerais acessórios. O conjunto foi observado também apenas no testemunho CV2, entre as profundidades 43 e 46 metros.

A Tabela 5 apresenta, de forma sumarizada, a classificação mineralógica dos conjuntos difratométricos descritos acima.

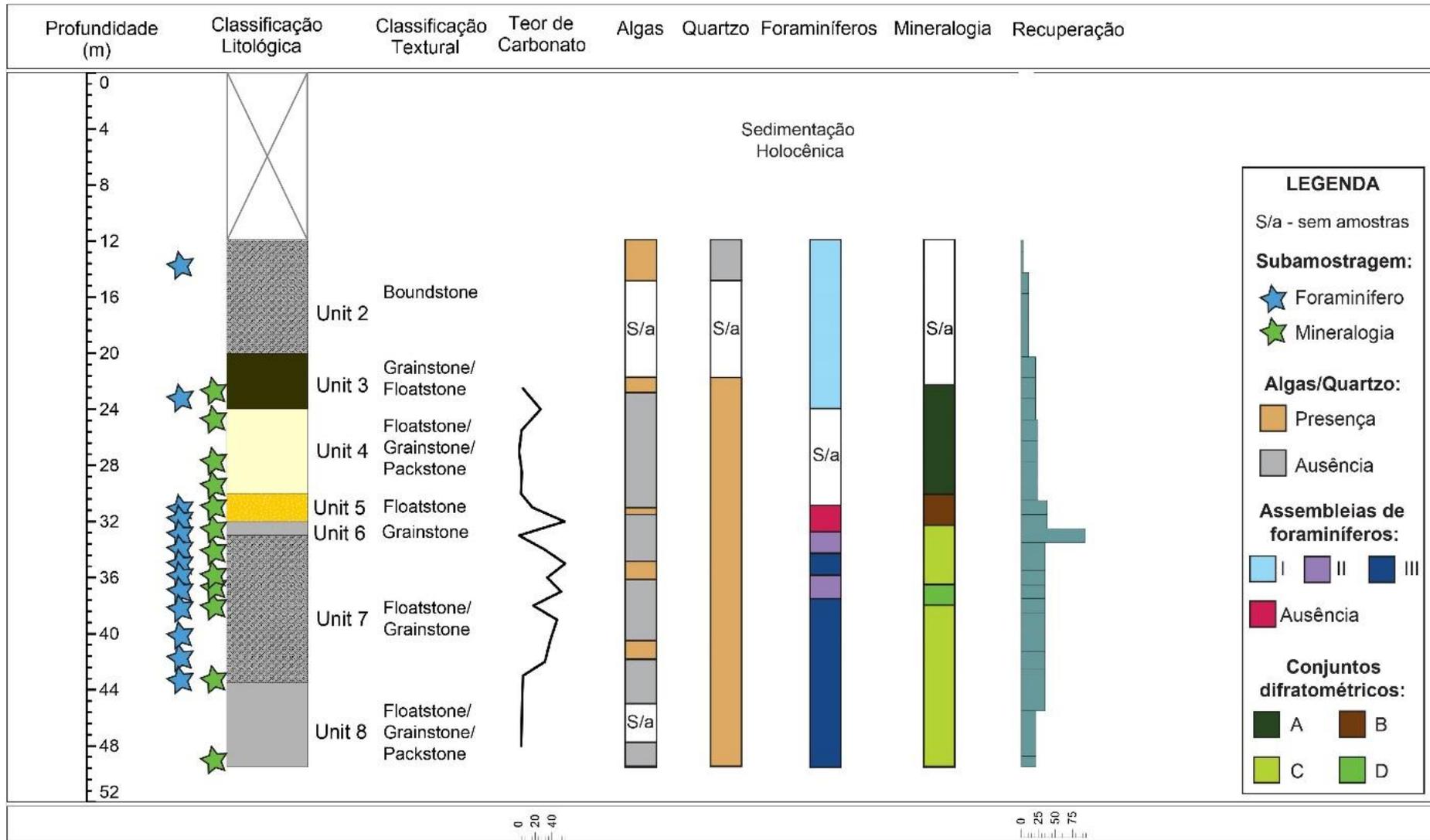
Tabela 5: Classificação mineralógica dos conjuntos difratométricos.

Conjuntos difratométricos	Minerais Essenciais (%)		Minerais complementares/acessórios
	Caulinita (%)	Muscovita/ilita (%)	
A	80	10,2	Ankerita, Apatita/CO3-apatita e traços de Dolomita, Calcita, Siderita, Dickita, Smectita e Boehmita.
B	30	50	Ankerita, Apatita e Aragonita
C	81	12	Apatita/CO3-apatita e Dolomita
D	82	14	Apatita/CO3-apatita
E	79	13,8	Brookita e Biotita
F	97	-	Ankerita e Taquidrita

3.3 Testemunho CV1

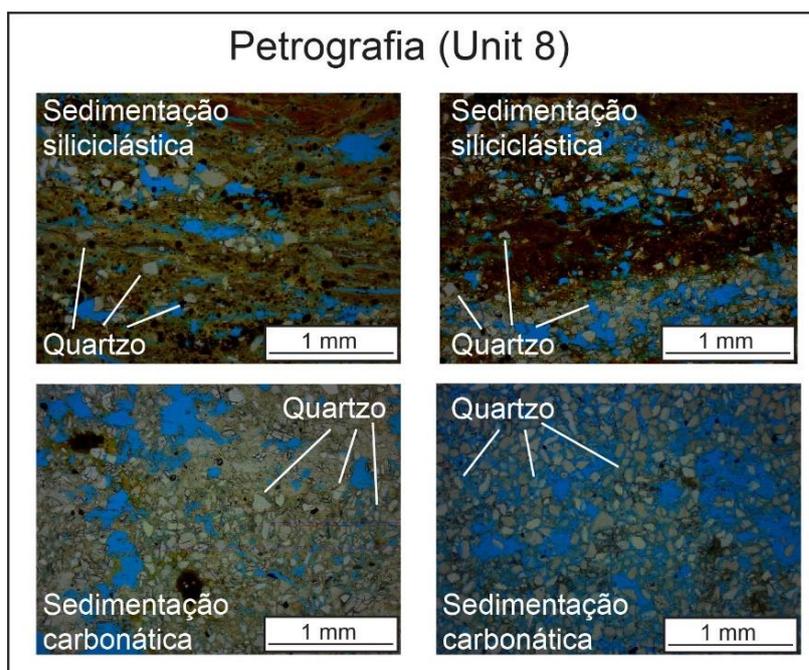
As sete fácies estratigráficas pleistocênicas (Unit 2 a Unit 8) identificadas mostraram evidente variação composicional ao longo do intervalo de tempo estudado. A Figura 8 representa a distribuição estratigráfica do testemunho CV1, e discorrida abaixo.

Figura 8: Distribuição estratigráfica do testemunho CV1, evidenciando sua classificação textural; teor de carbonato de cálcio; presença de algas e quartzo nas lâminas petrográficas; assembleia de foraminíferos; mineralogia e porcentagem de recuperação de cada fácies estratigráfica.



A **Unit 8** representa a base do intervalo estudado. A fácies é delimitada entre a base do testemunho (49,5m) e 43,5m de perfuração e classificada passando de packstone, grainstone até floatstone. Sua composição é marcada pela evidente presença de grãos de quartzo e baixo teor de carbonato (4,3%). Não são identificadas características recifais nas lâminas petrográficas, mas apresenta presença de sedimento fino carbonático/siliciclástico e grãos de quartzo tanto nas análises macroscópicas quanto microscópicas, representados na Figura 9.

Figura 9: Exemplo de lâminas petrográficas da Unit 8 de CV1. São representados os grãos de quartzo em meio a sedimentação carbonática e siliciclástica.



Em termos mineralógicos, a fácies apresentou conjunto mineralógico baseado em presença de caulinita (81%) e muscovita/ilita (12%), tendo como minerais acessórios a apatita/CO₃-apatita e a dolomita, classificado, assim, como Conjunto Difratométrico C, conforme mostrado na Tabela 5.

O contato da Unit 8 no topo é marcado por uma transição de textura sedimentar não abrupta para a **Unit 7** (entre 43,5 e 33m). Essa unidade foi classificada como grainstone na base, passando a floatstone, onde apresenta desenvolvimento composto por alto teor de carbonato (38%) oriundo de organismos como moluscos, foraminíferos, CCA e outros fragmentos de organismos identificados nas lâminas petrográficas, como exemplificado na Figura 10.

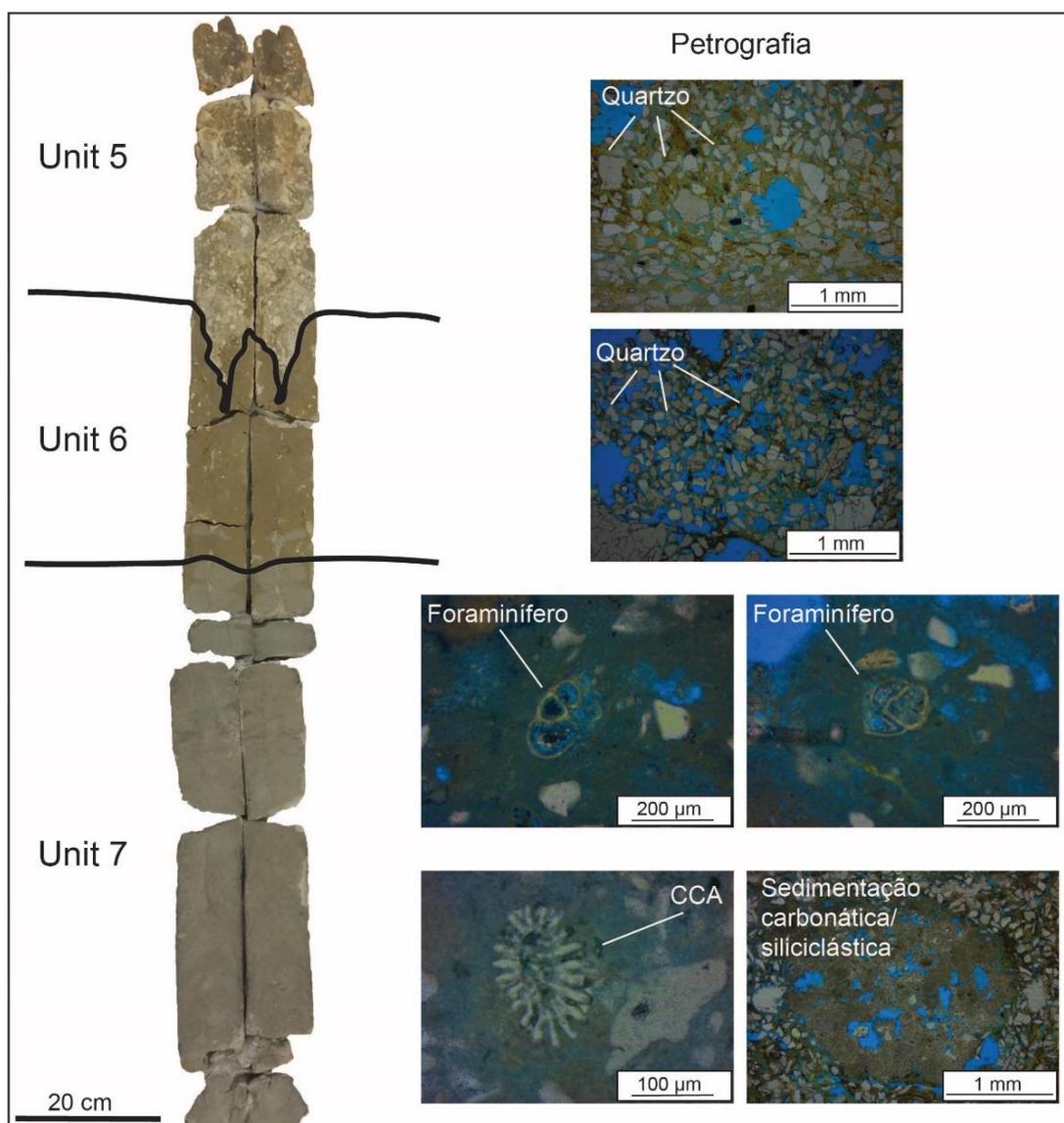
Em termos de fauna de foraminíferos, foi observada abundância de calcários hialinos e rotalídeos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Porém, entre 43,5 e 37,5 metros de profundidade houve a dominância de espécies do gênero *Elphidium*, *Ammonia*, *Bolivina*, *Discorbis* e *Pararotalia* e também presença de *Globocassidulina*, *Cibicides*, *Haynesina* e *Nonion*. Já entre 37,5 e 36 metros foi observada grande dominância de espécies do gênero *Ammonia* e *Elphidium*, além de presença marcante de *Pararotalia*. Por fim, entre 36 e 33 metros foi observada presença de espécies dos gêneros *Ammonia*, *Elphidium*, *Bolivina*, *Haynesina*, *Pararotalia*, *Globocassidulina*, *Buliminella* e foraminíferos planctônicos. A tabela do Apêndice 1 apresenta a lista de espécies encontrada em cada uma das amostras analisadas. Dessa forma, a Unit 7 apresentou uma alteração de assembleias de foraminíferos composta pelas Assembleias II e III intercaladas, sendo a Assembleia III identificada entre as profundidades 43,5 - 37,5 m / 36 - 34,5 m e a Assembleia II entre as profundidades 37,5 - 36 m / 34,5 - 33 m (Tabela 3 e Figura 8).

Análises mineralógicas mostraram que a Unit 7, de forma geral, possui a mesma composição mineral da Unit 8, sendo composta pelo Conjunto Difratométrico C (composição baseada, principalmente por

caulinita e baixa quantidade de muscovita/ilita, tendo a apatia/CO3-apatita e a dolomita como minerais acessórios) (Tabela 5) quase em sua totalidade. Apenas a amostra analisada entre as profundidades 36 – 37,5 m foi definida como composta pelo Conjunto Difratométrico D (mesma assembleia mineral essencial, porém, apresentando apenas a apatita/CO3-apatita como mineral acessório).

De forma clara, é possível visualizar macroscopicamente a mudança no padrão sedimentar entre a Unit 7 e as duas fácies estratigráficas subsequentes, Unit 6 e Unit 5, marcadas por superfícies abruptas de mudança litológica entre as fácies. Esta sequência de fácies, com superfícies de contato bem marcadas, é a mais evidente em ambos os testemunhos, evidenciada pela Figura 10.

Figura 10: Exemplificação das fácies estratigráficas Unit 7, Unit 6 e Unit 5 de CV1, evidenciando um contato possivelmente erosivo entre as unidades. São representados também exemplos de lâminas petrográficas com presença de grãos de quartzo, foraminíferos, algas calcárias (CCA) (Halimeda sp.) e sedimentação carbonática/siliciclástica em cada uma das fácies sedimentares.



A **Unit 6** foi definida apenas entre 33 e 32,5 m, sendo classificada como grainstone e composta por grande quantidade de grãos de quartzo e quase inexistência de carbonatos (0,8%) (Figura 10). As análises de foraminíferos indicaram resultados indefinidos para fauna de foraminíferos, uma vez que as amostras apresentaram pouquíssimos organismos. A análise mineralógica evidenciou que a fácies

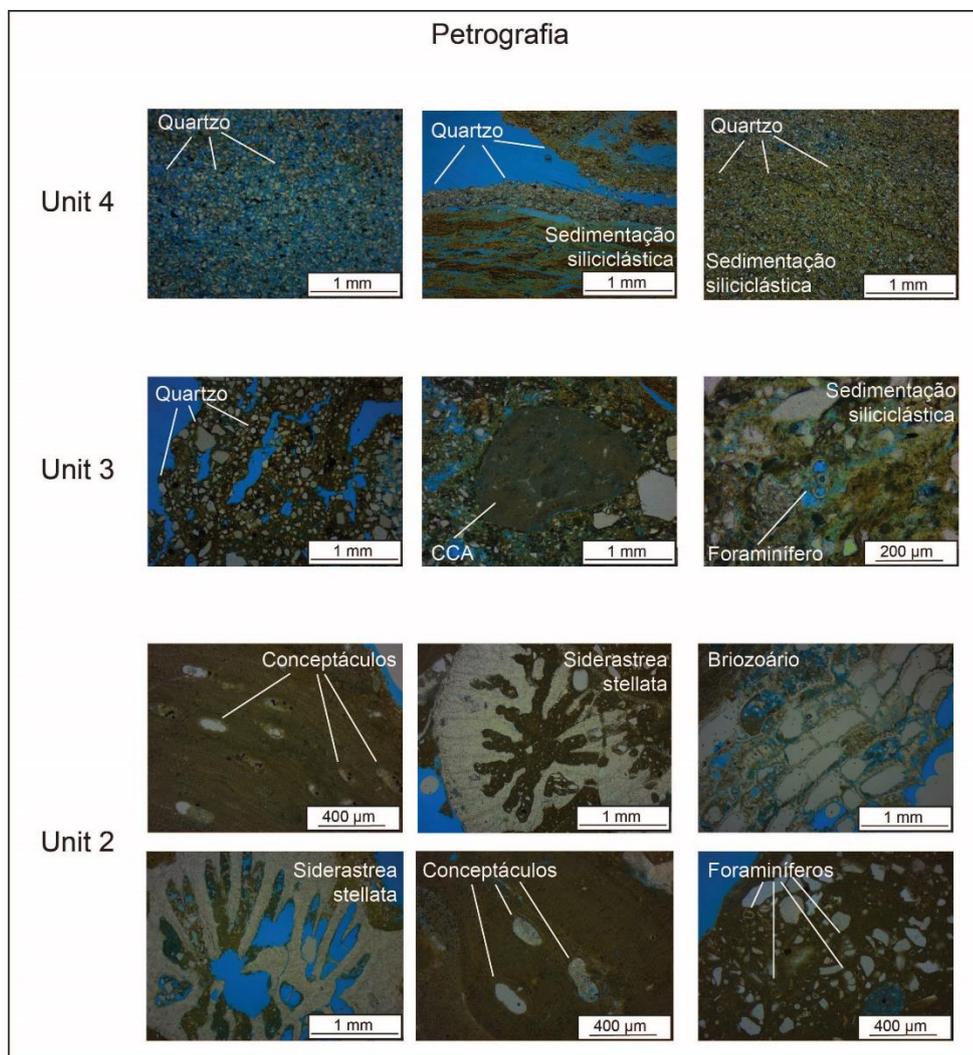
é caracterizada também como Conjunto Difratométrico C, com domínio de caulinita (81%) sobre muscovita/ilita (12%), tendo os minerais apatia/CO₃-apatita e dolomita como minerais acessórios.

A **Unit 5** (entre 32,5 e 30 m de perfuração), por sua vez, é composta por uma matriz de sedimentação mais escura, e alaranjada no topo, porém com visível presença de fragmentos carbonáticos de coloração mais clara (25% de teor de carbonato) nas amostras macroscópicas e grande quantidade de grãos de quartzo evidenciado nas lâminas petrográficas (Figura 10). Desta forma, a fácies foi classificada como floatstone. A amostragem realizada para análise de foraminífero foi feita próxima à base, tendo, também, resultados indefinidos para fauna de foraminíferos, uma vez que as amostras apresentaram pouquíssimos organismos. Já em termos mineralógicos, a fácies está englobada em um contexto bem marcante, uma vez que é a única fácies caracterizada como Conjunto Difratométrico B, com predominância da muscovita/ilita sobre a caulinita, apresentando cerca de 50% da primeira, sobre 30% da segunda (como minerais acessórios ocorre a ankerita, a apatita e a aragonita). Todos os demais conjuntos difratométricos encontrados nos testemunhos apresentaram maior quantidade de caulinita frente à muscovita/ilita.

A **Unit 4** se desenvolveu entre 30 e 24 m de perfuração e é definida a partir de uma superfície transicional em relação ao topo da Unit 5. A Fácies é dominada por sedimentos terrígenos, onde a presença de grãos de quartzo e o baixo teor de carbonato de cálcio (3%) voltam a ser marcantes macro e microscopicamente (vide Figura 11). A fácies foi classificada passando, de forma gradacional, de packstone, a grainstone e floatstone. A coloração da fácies fica bastante evidente no processo de classificação, uma vez que se apresenta com sedimentação de coloração bem clara e amarelada. Não foram coletadas amostras para análise de foraminíferos nesta fácies, porém, a análise mineralógica indica que a mesma está contemplada no Conjunto Difratométrico A, caracterizado por possuir como minerais essenciais, em média, cerca de 80% de caulinita com baixo ordenamento e 10,2% de muscovita/ilita. Como minerais acessórios se observou a ankerita (4,6%) e apatita/CO₃-apatita (2,9%), além de traços de dolomita, calcita, siderita, dickita, smectita e boehmita (Tabela 5).

A diferença na coloração entre as Units 4 / Unit 5 e as demais é evidente. Essas fácies apresentam coloração geral amarelada quase em tons alaranjados, enquanto o restante do testemunho possui tons de cinza claro a muito escuro. Porém, é preciso ter cautela quando se usa essa característica na classificação litológica, uma vez que a coloração pode não estar relacionada à litologia, e sim a processos diagenéticos sofridos ao longo do período deposicional. Assim, a coloração das fácies não foi utilizada como característica classificatória e sim como observação visual.

Figura 11: Exemplificação das lâminas petrográficas das Units 4, 3 e 2 de CV1. São representados grãos de quartzo em meio a sedimentação fina siliciclástica nas fácies estratigráficas Unit 4 e Unit 3, além de nódulo algal (CCA) e foraminífero na Unit 3. Já na Unit 2 são representados construtores recifais como o coral escleractíneo *Siderastrea stellata*, briozoário e alga (representada com presença de estruturas reprodutivas (conceptáculos)), além de foraminíferos.



Já a **Unit 3** (delimitada entre 24 e 20 m de perfuração) foi caracterizada como passando de floatstone para grainstone, com coloração muito escura, porém teor de carbonato em torno dos 16%. A partir da análise microscópica foram também identificados foraminíferos planctônicos e pouca presença de algas, além de sedimentação muito fina e laminar siliciclástica (Figura 11). A análise mineralógica evidencia que a fácies também é contemplada no Conjunto Difratométrico A, com o mesmo padrão composicional da Unit 4. No que concerne a composição da assembleia de foraminíferos, foi observada pouca presença de organismos, sendo classificada como uma amostra pouco variável por sua fauna de foraminíferos, embora com maior abundância de Miliolídeos (Apêndice 1, Tabela 2 e Figura 7), o que a classifica como Assembleia I.

A partir do topo da Unit 3, em direção ao topo do testemunho, a composição litológica passa a ser recifal/rochosa e não mais caracterizada por deposição sedimentar conforme descrito até agora. A Unit 2, por sua vez, contempla o desenvolvimento recifal pleistocênico do testemunho CV1.

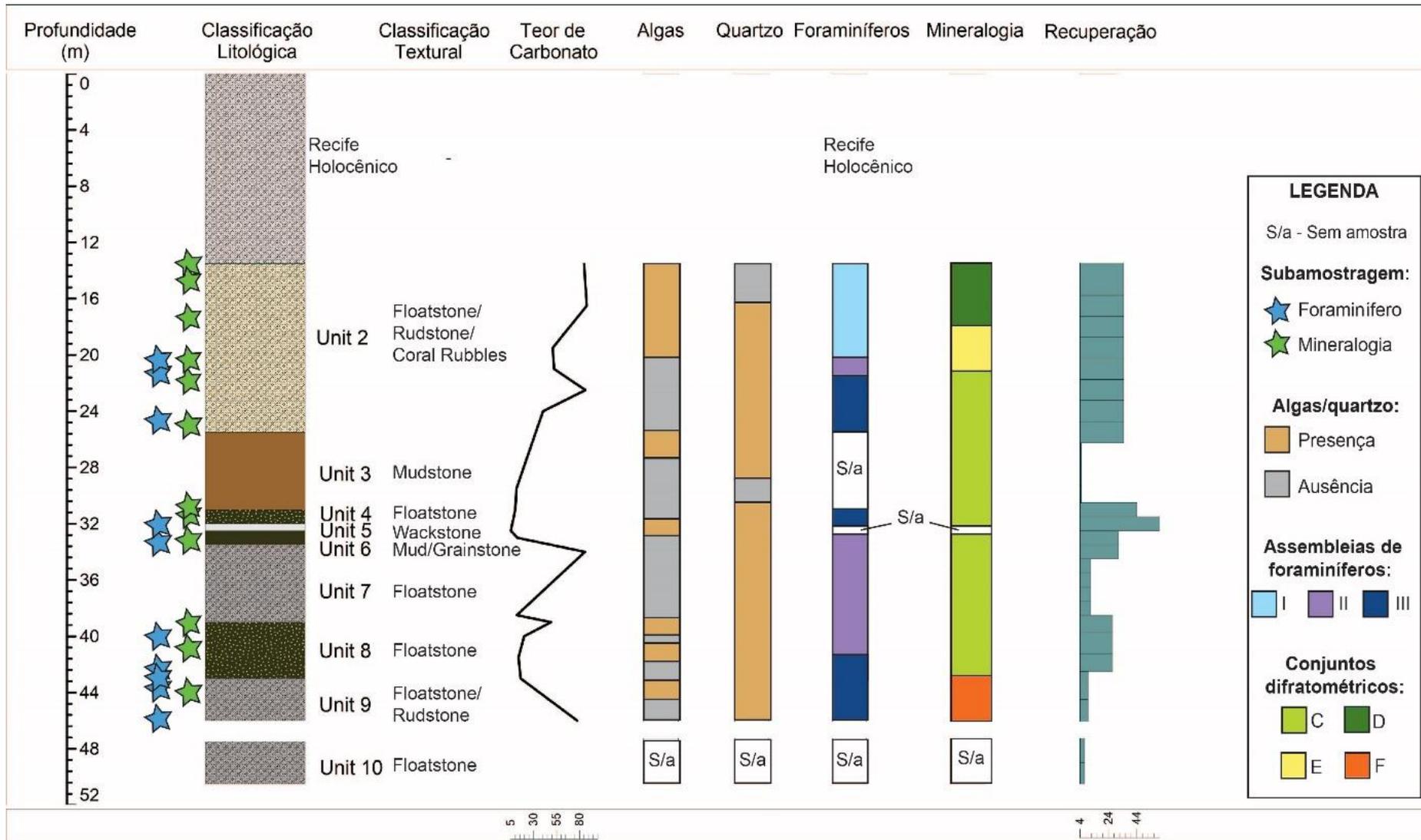
A Unit 2 é delimitada entre 20 e 12 m de perfuração, sendo classificada como boundstone e caracterizada pela presença dos bioconstrutores recifais corais escleractíneos *M. hartii* e *Siderastrea sp.* e algas calcárias crostosas (CCA) de águas rasas *Lithophyllum sp.*, *Lithophyllum pustulatum*,

Porolithon onkodes e *Spongites* sp. (Exemplos de organismos construtores recifais são evidenciados na Figura 11). Algumas colônias coralíneas foram identificadas com presença de 99% de calcita como principal mineral em sua estrutura colonial, o que evidencia a ocorrência do processo diagenético por exposição subaérea do último máximo glacial, dando subsídio para a interpretação desta fácies como sendo pleistocênica. Não foram coletadas amostras para análise mineralógica no contexto ambiental (foram coletadas amostras apenas para quantificação dos minerais aragonita e calcita na estrutura recifal a fim de identificar a interface Holoceno-Pleistoceno), porém, no que se refere às assembleias de foraminíferos, foi observada abundância de foraminíferos calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação, além de baixa abundância de *Elphidium* e presença de grande diversidade de Miliolídeos e do gênero *Amphistegina* (Tabela 2 e Apêndice 1), classificando-a como Assembleia I.

3.4 Testemunho CV2

O testemunho CV2, apesar de ter comprimento bem similar ao CV1, foi dividido em dez fácies estratigráficas, sendo nove delas pleistocênicas (Unit 2 a Unit 10). A Figura 12 representa a distribuição estratigráfica do testemunho CV2. De forma geral, apesar de algumas variações no comprimento e teor de carbonato, as fácies estratigráficas Units 1, 2 e 7 nos dois testemunhos podem ser consideradas análogas.

Figura 12: Interpretação estratigráfica do testemunho CV2, evidenciando sua classificação textural; teor de carbonato do cálcio; presença de algas e quartzo nas lâminas petrográficas; assembleia de foraminíferos; mineralogia e porcentagem de recuperação de cada fácies estratigráfica.



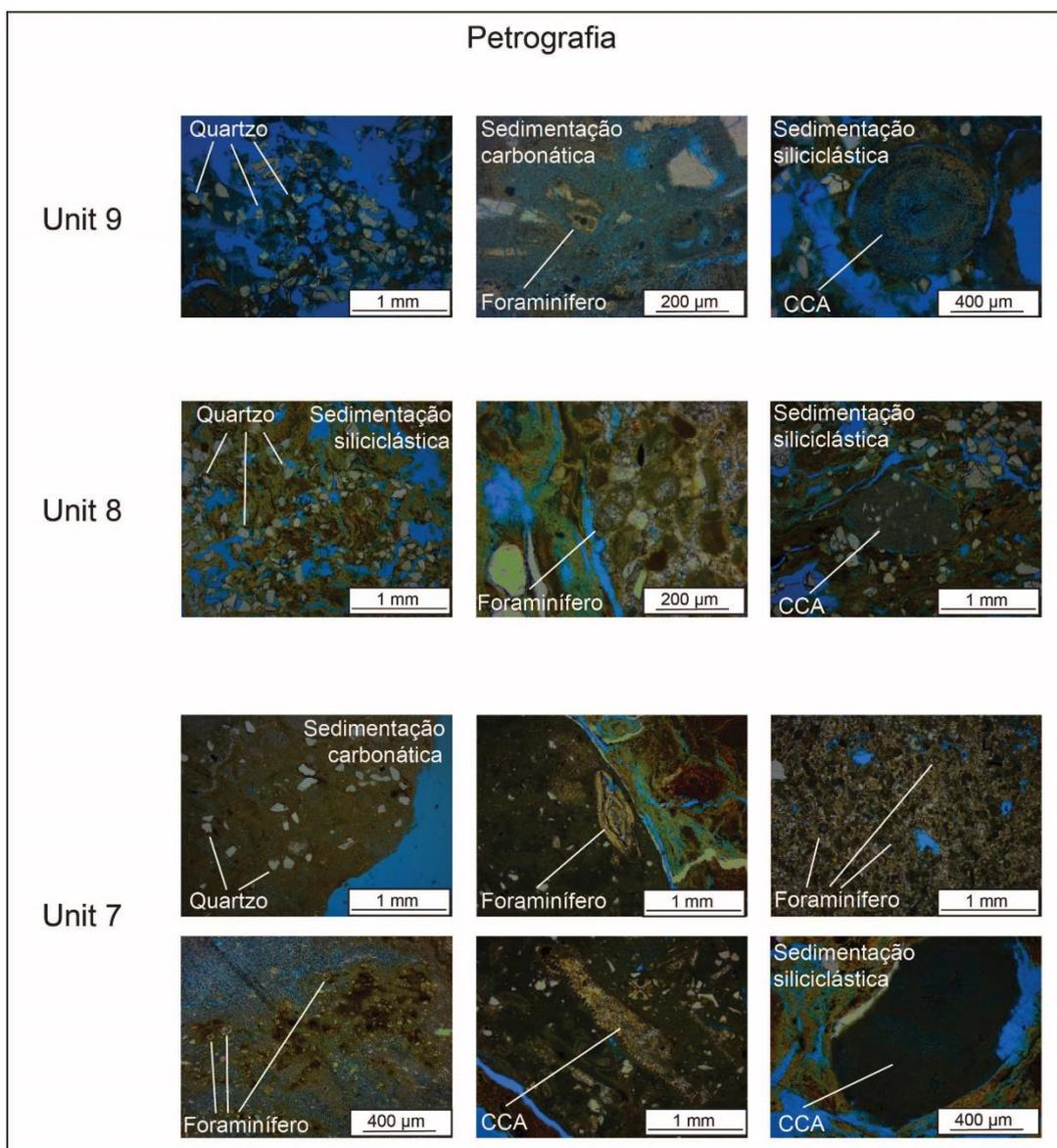
A base do testemunho foi caracterizada pela Unit 10 e presença de intervalo de um metro e meio sem recuperação, estratigraficamente acima da mesma. A **Unit 10** forma a base do testemunho CV2 entre 50,5 m e 47,5 m, porém sua recuperação foi muito pequena, contemplando apenas duas peças sedimentares totalizando vinte e dois centímetros, classificadas como floatstone. Sua composição se baseou na deposição de grãos de quartzo e presença de fragmentos de composição carbonática visíveis nas amostras macroscópicas. Incertezas decorrentes da presença do intervalo sem recuperação e baixa recuperação da fácies (7,33%) resultaram na não amostragem para análises de teor de carbonato, petrografia, fauna de foraminíferos e mineralogia. A explicação para a existência do intervalo de não recuperação ainda é desconhecida, assim como da real posição das peças sedimentares definidas como Unit 10, podendo ser decorrentes do uso de jatos de água no momento da amostragem, como também ocorrido no topo holocênico de CV1.

Estratigraficamente acima do intervalo sem recuperação, a **Unit 9** se desenvolveu entre 46 e 43 m de perfuração, classificada passando de rudstone na base a floatstone no topo. A fácies, por sua vez, foi caracterizada por marcante presença carbonática (46,73%) de coloração clara, além da presença de sedimentos siliciclásticos com grãos de quartzo, foraminíferos e um nódulo algal nas lâminas petrográficas, como evidenciado na Figura 13. Não foram identificadas características recifais no pacote sedimentar. No que concerne a fauna de foraminíferos foi observada abundância de calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação, porém grande dominância de espécies dos gêneros *Ammonia*, *Elphidium*, *Pararotalia*, *Bolivina* e *Discorbis*, além de presença de *Globocassidulina* e *Nonion* (Apêndice 1), caracterizando a mesma como Assembleia III. Já em termos mineralógicos, a fácies apresentou composição única, baseada quase em sua totalidade por caulinita (97%), tendo os minerais ankerita e taquidrita como acessórios. O conjunto de minerais não foi encontrado em nenhuma outra fácies estratigráfica, chamado de Conjunto Difratométrico F.

A interface de mudança de fácies estratigráfica entre as Units 9 e 8 não se deu de forma abrupta e sim de forma contínua, contemplando mudança de coloração e de diminuição na quantidade de fragmentos carbonáticos.

A **Unit 8**, por sua vez, delimitada entre 43 e 39 m de perfuração, foi classificada como floatstone e apresentou sedimentos muito escuros, com teor de carbonato em torno dos 16%. De forma similar ao ocorrido na Unit 3 do testemunho CV1, análises microscópicas mostraram presença de algas calcárias (CCA) e foraminíferos planctônicos, além de sedimentação siliciclástica muito fina com estratificação plano paralela fina, conforme evidenciado na Figura 13. Análises de fauna de foraminíferos mostraram duas assembleias presentes na mesma fácies, sendo encontrada baixa abundância de foraminíferos em torno dos 42 metros de perfuração, com presença de calcários hialinos e rotalídeos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Além de foraminíferos planctônicos (1,06%), foram identificados organismos dos gêneros *Ammonia*, *Elphidium*, *Pararotalia*, *Cibicides* e *Bolivina* (espécimes desgastados/fragmentados), classificando a amostra como Assembleia III. Já em amostra coletada em torno dos 41,5 metros de perfuração, além da abundante presença de rotalídeos não identificados também devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação, foi identificada grande dominância de espécies dos gêneros *Ammonia*, *Elphidium* e *Bolivina* e presença menos marcante dos gêneros *Globocassidulina*, *Cassidulina* e *Buliminella* (Apêndice 1), classificando a mesma como Assembleia II. Em termos mineralógicos, a Unit 8 foi caracterizada como pertencente ao Conjunto Difratométrico C, com dominância de caulinita (81%) sobre a muscovita/ilita (12%) e os minerais apatia/CO3-apatita e dolomita como acessórios, conforme mostrado na Tabela 5.

Figura 13: Exemplos de organismos e sedimentação encontrados nas lâminas petrográficas nas fácies estratigráficas Unit 9, Unit 8 e Unit 7. São evidenciados organismos como foraminíferos e algas calcárias (CCA), além de variações de sedimentação carbonática e siliciclástica, com presença de quartzo nas três fácies.



Após contato bem abrupto entre as fácies e com grande variação de coloração, a **Unit 7**, também classificada como floatstone, se estendeu entre 39 e 33,5 m de perfuração, possuindo composição na cor cinza baseada na deposição carbonática (49%) em decorrência do desenvolvimento de organismos como CCA (*Halimeda sp.*), moluscos e foraminíferos (planctônicos e bentônicos), porém sem identificação de desenvolvimento recifal. Grãos de quartzo e lama siliciclástica também estiveram presentes no registro geológico, revelando também a influência da deposição terrígena no depósito. Sedimentos carbonáticos e organismos encontrados nas lâminas petrográficas foram exemplificados na Figura 13. As análises da fauna de foraminíferos mostraram abundância de calcários e calcário hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação, porém grande dominância de espécies dos gêneros *Ammonia*, *Pararotalia*, *Elphidium*, *Haynesina* e *Discorbis* (Apêndice 1), classificando-a como pertencente à Assembleia II. No contexto mineralógico a fácies pertence ao Conjunto Difratométrico C, assim como a Unit 8, ou seja, domínio de caulinita (81%) sobre a muscovita/ilita (12%), tendo os minerais apatia/CO₃-apatita e dolomita como acessórios (Tabela 4).

As características identificadas para a Unit 7 do CV2 indicam analogia com a mesma fácies (Unit 7) do testemunho CV1, apesar da menor extensão da fácies em CV2.

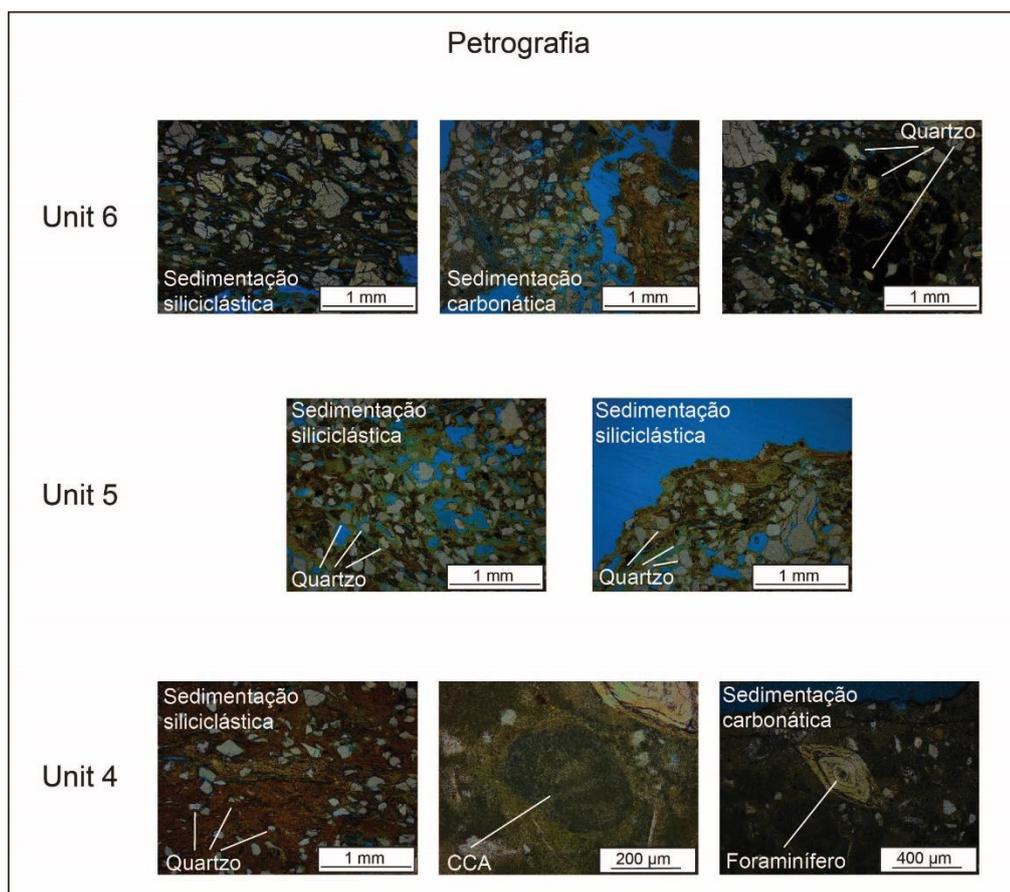
Sobreposta à Unit 7, as Units 6, 5 e 4 representaram unidades faciológicas de pouca representatividade em espessura, mas com diferenças sedimentares e composicionais marcantes entre elas, apresentado abaixo e exemplificado por imagens de lâminas petrográficas na Figura 14.

A **Unit 6** apresentou espessura em torno de 1m (entre 33,5 e 32,5 metros de perfuração) e foi classificada como passando de grainstone na base até mudstone no topo, uma vez que foi observada uma diminuição na granulometria ao longo da fácies em direção ao topo. Foi também identificada composição sedimentar escura nas lâminas petrográficas, além de altamente quartzosa na base e teor de carbonato em torno de 12%. A análise de foraminíferos acompanhou o que foi identificado no topo da Unit 7, ou seja, associação de organismos com presença dos gêneros *Ammonia*, *Haynesina*, *Elphidium* e *Pararotalia* e hialinos fragmentados (Assembleia II) (Apêndice 1). Em termos mineralógicos, a fácies foi contemplada dentro do Conjunto Difratométrico C, com alta dominância da caulinita sobre a muscovita/ilita e os minerais apatia/CO₃-apatita e dolomita como acessórios (Tabela 5).

Já a **Unit 5**, com 50cm de espessura (entre 32,5 e 32 m de perfuração), foi caracterizada por teor de carbonato muito baixo (5,23%) e grande presença de grãos de quartzo e lama siliciclástica nas lâminas petrográficas (Figura 14). Mas, assim como na Unit 6, foi possível observar macroscopicamente a diminuição granulométrica a partir da base em direção ao topo. Porém, sua coloração se apresentou bem clara e acinzentada, decorrente da grande presença de quartzo. Foi classificada passando de packstone na base até wackstone no topo. Por sua pequena espessura não foi contemplada pelas amostragens para análises mineralógicas e fauna de foraminíferos. Para a análise de foraminíferos, a ausência de amostragem pode também ser justificada pela grande quantidade de quartzo e ausência de feições nas lâminas petrográficas que justificassem a amostragem.

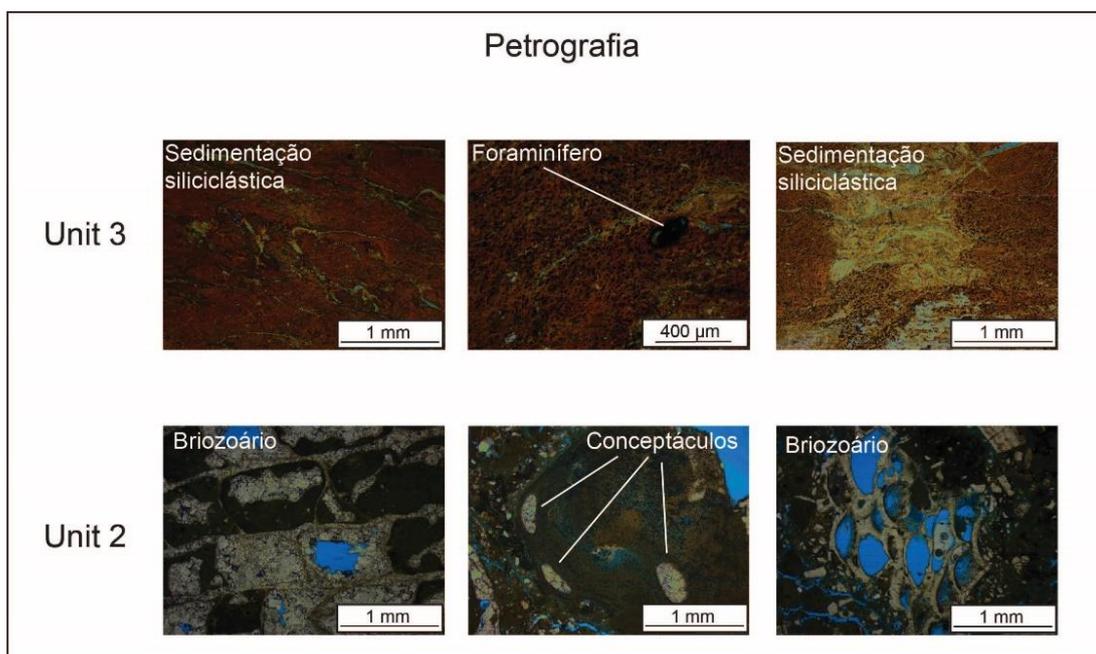
Por sua vez, a **Unit 4**, com 1m de espessura (delimitada entre 32 e 31 metros de perfuração), apresentou um sedimento muito escuro e fragmentos de carbonato no seu interior, litologia bem semelhante à Unit 8 do mesmo testemunho e à Unit 3 do testemunho CV1, sendo também classificada com floatstone. As lâminas petrográficas, exemplificadas na Figura 14 mostraram presença de sedimento muito escuro e evidente composição baseada em deposição de grãos de quartzo (teor de carbonato em torno de 10%), além de presença de algas calcárias e macroforaminíferos. A fauna de foraminíferos foi baseada na presença de organismos dos gêneros *Ammonia*, *Elphidium*, *Haynesina*, *Bolivina*, *Pararotalia Nonion* e *Cassidulina*, além de abundância de organismos calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação (Apêndice 1), classificando-a como Assembleia III. A análise mineralógica segue a mesma da fácies anterior e da Unit 8 (Conjunto Difratométrico C), porém diferente da Unit 3 do CV1.

Figura 14: Exemplos de lâminas petrográficas das fácies sedimentares Unit 6, Unit 5 e Unit 4. São apresentados grãos de quartzo em todas as fácies e ausência de sedimentação carbonática apenas na Unit 5. São também mostrados foraminífero e alga calcária (CCA) na Unit 4.



A **Unit 3** foi delimitada entre 31 e 25,5 metros de perfuração, com alto domínio lamoso, classificando-a como mudstone. Apresentou teor de carbonato em torno de 11%, coloração escura e composição siliciclástica (Figura 15), porém sua litologia é visivelmente diferente da Unit 4, além do contato entre ambas ser bem delimitado. As lâminas petrográficas evidenciaram a deposição de material siliciclástico muito fino e apresentando uma estratificação plano paralela fina evidenciada também nas amostras macroscópicas. Frente a tais características não foram coletadas amostras para análise de fauna de foraminíferos. Quanto à composição mineralógica, foi também caracterizada como pertencente ao Conjunto Difratométrico C, conforme evidenciado na Tabela 4.

Figura 15: Exemplo das lâminas petrográficas das fácies estratigráficas Unit 3 e Unit 2. É apresentada a dominância da sedimentação siliciclástica na Unit 3 e a presença de organismos construtores recifais na Unit 2, como briozoários e algas calcárias (CCA) com estruturas de reprodução (conceptáculos).



Compondo o topo pleistocênico do testemunho, a fácies estratigráfica **Unit 2** possui composição recifal análoga à Unit 2 do testemunho CV1, com composição estrutural de 97% do mineral calcita em colônias de corais escleractíneos em torno de 13,5 metros de perfuração, subsidiando a interpretação da fácies estratigráfica como pleistocênica e delimitada entre 25,5 e 13,5 metros de perfuração. Porém, diferentemente do testemunho CV1, a fácies recifal foi classificada permeando entre floatstone, cascalho recifal e rudstone ao longo do desenvolvimento recifal, ou seja, sua classificação variou ao longo da profundidade decorrente da maior presença de sedimento inserido no ambiente recifal em diferentes profundidades e em relação ao CV1. A fácies recifal foi descrita com maior detalhe taxonômico no capítulo anterior, mas aqui é possível pontuar que a mesma foi caracterizada pela presença dos bioconstrutores recifais: corais escleractíneos *Favia gravida*, *Siderastrea stellata*; hidrocoral *Millepora sp.* e algas calcárias de ambientes rasos *Amphiroa sp.*, *Lithophyllum pustulatum*, *Porolithon onkodes*, *Spongites sp.*, Corallinoideae e *Halimeda sp.* Exemplos de bioconstrutores recifais são mostrados em imagens de lâminas petrográficas na Figura 15.

A fauna de foraminíferos, por sua vez, também variou ao longo da fácies, apresentando as Assembleias I, II e III em diferentes profundidades. A Assembleia III foi identificada entre 25,5 e 21 metros, caracterizada pela presença dos gêneros *Ammonia*, *Bolivina*, *Pararotalia*, *Elphidium* e *Haynesina*, com presença de foraminíferos planctônicos, além de abundância de calcários hialinos não identificados devido a processos de desgaste ou quebra de testas e efeitos de recalcificação. Já a Assembleia II foi identificada entre as profundidades 21 e 19,5 metros, caracterizada pela presença de Pararotalídeos, rotaliídeos e hialinos fragmentados, além da ocorrência de alguns foraminíferos planctônicos e a espécie *Pararotalia cananeaensis* (Apêndice 1). Por fim, o topo da fácies (entre 19,5 e 13,5 metros) não foi amostrado para análise de foraminíferos devido sua evidente presença do desenvolvimento recifal e a presença do gênero *Amphistegina* nas lâminas petrográficas, que o classifica como pertencente à Assembleia I.

Em termos mineralógicos foram observadas variações que coincidem com as variações de fauna de foraminíferos, ou seja, a base (entre as profundidades 25,5 e 21 metros) apresentou conjunto de minerais contemplado no Conjunto Difratométrico C (com domínio de caulinita sobre a muscovita/ilita com os minerais acessórios a apatita/CO₃-apatita a dolomita); já entre as profundidades 21 e 18 metros foi observada composição mineralógica única nos testemunhos, chamada de Conjunto Difratométrico

E, onde a composição mineral foi baseada em aproximadamente 79% de caulinita e 13,8% de muscovita/ilita e os minerais acessórios ankerita, brookita e biotita; por fim, entre a profundidade de 18 metros e o topo da fácies (13,5 metros), a composição mineralógica evidenciou o pertencimento ao Conjunto Difratométrico D (assembleia mineral essencial dada também pelo domínio de caulinita sobre a muscovita/ilita, porém, apenas com a apatita/CO₃-apatita como mineral acessório) (Tabela 5).

4 Discussão

A interpretação do registro sedimentar pleistocênico, contemplada pelas classificações texturais, litológicas, sedimentares, petrográficas, mineralógicas e micropaleontológicas, em conjunto com trabalhos já realizados no mesmo âmbito mundialmente, assim como outras investigações de caráter paleoambiental na Plataforma de Abrolhos, abrangem um novo cenário de interpretação para a evolução da Plataforma interna de Abrolhos. Os trabalhos que discutem a evolução dos recifes costeiros de Abrolhos sempre usaram da hipótese de que a distribuição espacial dos recifes holocênicos seria controlada por uma paleotopografia mais elevada, considerando que essas áreas teriam recifes sendo construídos em níveis de mar alto e expostos durante processos regressivos (Leão e Ginsburg, 1997; D'Agostini et al., 2015). Os resultados apresentados aqui indicam que o desenvolvimento recifal na área do recife Coroa Vermelha não foi contínuo, considerando os ciclos de variação relativa do nível do mar. A análise estratigráfica dos furos obtidos aponta para duas unidades recifais contínuas, apenas no topo das sequências (Capítulo 1), marcando inclusive a passagem da Época Pleistoceno para o Holoceno. Estratigraficamente abaixo dessas unidades observa-se unidades mistas carbonáticas-siliciclásticas intercaladas, com apenas mais uma fácies que representaria um domínio carbonático, mas não recifal.

Neste contexto, três principais abordagens podem ser consideradas a fim de consolidar o conhecimento adquirido sobre a evolução paleoambiental da Plataforma interna de Abrolhos durante o Pleistoceno: **1)** Interpretação Paleoambiental da Plataforma Interna de Abrolhos; **2)** O Contexto do Recife Coroa Vermelha; e **3)** Modelo Conceitual de Evolução da Plataforma Interna de Abrolhos.

4.1 Interpretação Paleoambiental da Plataforma Interna de Abrolhos

A distribuição das fácies em ambos testemunhos mostra que, aparentemente, a correlação direta entre fácies ocorre apenas entre as fácies Unit 2 e 7. Essas fácies são consideradas análogas em CV1 e CV2, onde possuem características de ambiente carbonático, considerando as interpretações texturais, teor de carbonato e composição faunística. A Unit 2 se caracteriza pelo recife pleistocênico, estratigraficamente abaixo do recife holocênico (Capítulo 1), com grande presença de sedimentos terrígeno e também carbonáticos, mas presença evidente de colônias coralíneas e algas, além de outros organismos que contribuem na construção do edifício recifal. A Unit 7 não representa diretamente uma unidade recifal, mas é interpretada como pertencente a um ambiente adjacente a um recife biogênico, com sedimento de mais alto teor carbonático (38% em CV1 e 49% em CV2), além de presença de moluscos, algas e foraminíferos que levam à interpretação de um ambiente adjacente a um recife ou a uma construção ("*build up*") carbonática.

A composição textural e sedimentar das demais fácies, de forma isolada, não possibilitou uma correlação direta entre os testemunhos, porém possibilitou a identificação de fácies com maior ou menor influência de sedimentos terrígenos, assim como variações abruptas entre os padrões de sedimentação. As Units 4, 6 e 8 de CV1 e 3, 4, 5, 6 e 8 de CV2, por exemplo, apresentaram teor de carbonato abaixo ou em torno de 10%, evidenciando um domínio de sedimentos terrígenos em sua composição. Nessas unidades, as fácies foram classificadas como wackstone, grainstone, packstone ou mudstone. Esta característica fica ainda mais evidente a partir da análise petrográfica, como ocorre, por exemplo, na Unit 4 de CV1, onde a sedimentação é basicamente composta por grãos de quartzo, e mesmo na Unit 3 de CV2, com amplo predomínio de lama terrígena e sendo classificada como

mudstone. Por outro lado, a menor influência de sedimento terrígeno foi interpretada pela ocorrência de fragmentos carbonáticos em diferentes fácies sedimentares compondo a classificação de floatstone, assim como a presença de lama carbonática. A Unit 9 de CV2 (com teor de carbonato em torno de 47%) e a Unit 5 de CV1 (com teor de carbonato em torno de 25%) são exemplos. Os fragmentos carbonáticos também foram facilmente identificados ao longo dos contatos não abruptos entre as fácies. Isso aconteceu entre as fácies 7 e 8 de CV1 e 8 e 9 de CV2.

O tipo de contato entre as fácies (contato abrupto ou contínuo) também foi analisado, a fim de identificar morfologias e processos que pudessem caracterizar as variações sedimentares. O contato abrupto entre as fácies 5, 6 e 7 de CV1 (Figura 10) foi o mais evidente identificado nos testemunhos. Esta sequência estratigráfica pode ser a representação de diferentes padrões de sedimentação separadas por superfícies de erosão. Ou seja, seguindo uma contextualização evolutiva, a Unit 7, caracterizada como uma fácies sedimentar carbonática e adjacente a um ambiente recifal, pode ter sido submetida a processos erosivos por exposição subaérea e/ou regressão marinha que resultaram em uma superfície erosiva bem marcada com posterior sedimentação terrígena no topo (Unit 6), com teor de carbonato em torno de 0,8% e classificada como grainstone. Estratigraficamente acima, outra superfície abrupta de erosão no topo da Unit 6 marca mais uma variação nas forçantes físicas ambientais, com posterior deposição da Unit 5, descrita como floatstone. Essa fácies é caracterizada por fragmentos carbonáticos e maior teor carbonático em sua composição (25%), como descrito acima.

Mesmo apresentando analogia entre as fácies Unit 7, o testemunho CV2 não parece ter registrado as mesmas variações como descrito para o testemunho CV1. O CV2 apresentou contatos abruptos entre as Units 7, 6, 5, 4 e 3, porém, com teor de carbonato muito semelhante entre as Units 6, 5, 4 e 3 (em torno de 10%). Uma observação marcante na sequência estratigráfica é a presença de sedimentos de coloração muito escura nas Units 6 e 4 (de coloração acinzentada a preta e classificadas como mudstone/grainstone e floatstone, respectivamente), e sedimentos de coloração muito clara entre elas (Unit 5 – classificada como wackstone). Já a Unit 3 é basicamente composta por lama terrígena, com coloração marrom e classificada como mudstone.

A partir da classificação textural dos testemunhos e amostragens seletivas, a utilização dos proxies paleoambientais (assembleia de foraminíferos e mineralogia) permitiu uma interpretação mais abrangente considerando um cenário de evolução para CV1 e CV2.

Os aspectos sobre a fauna de foraminíferos compõem as análises bioestratigráficas deste capítulo, uma vez que têm o objetivo de criar um zoneamento ao longo dos testemunhos (nomeado aqui de assembleias), possibilitando a extrapolação de suas interpretações para a correlação estratigráfica.

As análises bioestratigráficas mostraram que, ao longo de toda a extensão vertical amostrada, a plataforma se desenvolveu permeando entre um ambiente de águas quentes e carbonáticas (Assembleia I), ambiente de plataforma interna e exposta (Assembleia III), ambiente de plataforma com elevada concentração de matéria orgânica (Assembleia II) e até mesmo ambiente de águas costeiras (Assembleia II). Esta classificação, decorrente das características de habitats dos foraminíferos, considerou o conjunto de organismos e sua principal distribuição ao longo do ambiente costeiro-marinho.

O ambiente de plataforma interna e exposta (Assembleia III) foi caracterizado, principalmente, pela presença dos gêneros *Globocassidulina*, *Nonion* e *Cibicides*, além dos foraminíferos planctônicos. Os gêneros *Ammonia* e *Elphidium* não foram considerados nesta classificação pelo fato de serem gêneros comuns em ambientes marinhos costeiros e também comumente registrados em baías e lagoas brasileiras (Sen Gupta e Machain-Castillo, 1993; Sen Gupta et al., 1996; Debenay et al., 2001; Díaz et al., 2014), o que os torna mais generalistas frente aos demais. O gênero *Ammonia*, ainda, é conhecido por ter características oportunistas/cosmopolitas, por ser mais tolerante a mudanças ambientais frente às outras espécies identificadas aqui (Yanko et al., 1994; Alve, 1995; Culver e Buzas, 1995; Sen Gupta et al., 1996, Macedo et al., 2017). Já o gênero *Globocassidulina* está relacionado a ambientes marinhos sem muita relação com aportes continentais (Mackensen et al., 1995, Macedo et al., 2017), tendo, a

espécie *Globocassidulina subglobosa*, associação com a Corrente do Brasil (Boltovskoy et al., 1980) e/ou Corrente Subtropical (Eichler et al., 2012). Os gêneros *Nonion* e *Cibicides* são contemplados nesta classificação por serem comuns na plataforma continental e também frequentes em águas brasileiras (Murray, 2006; Rodrigues et al., 2014; Rodrigues et al., 2020). Já a ocorrência de foraminíferos planctônicos, por sua vez, pode indicar domínios de águas mais profundas, por diminuir consideravelmente sua ocorrência conforme proximidade de ambientes mais costeiros (Murray, 2006; Hemleben, 1989).

Já os ambientes de águas costeiras (também relacionados a ambientes parálidos) e ambientes de plataforma interna com maior concentração de matéria orgânica (Assembleia II) foram caracterizados abrangendo suas características para o contexto de um ambiente costeiro, considerando a presença dos gêneros *Bolivina*, *Buliminella*, *Discorbis* e *Haynesina*. Os gêneros *Bolivina* e *Buliminella* são considerados nesta classificação por se desenvolverem em habitats com maior concentração de matéria orgânica no sedimento de fundo (Murray, 2006; Rodrigues et al., 2014), já o gênero *Haynesina*, por ser típico de ambientes de transição dulcícola-marinho (Debenay et al., 1998; Murray, 2006). Segundo Ruiz et al. (2005) o gênero *Haynesina* geralmente ocupa regiões costeiras onde os valores de salinidade não são inferiores a 25,8‰.

Uma observação relevante a respeito do ambiente de águas costeiras é a presença do gênero *Discorbis* e da espécie *Pararotalia cananeiaensis*, onde ambos indicam influência marinha em ambientes costeiros, além da espécie *Pararotalia cananeiaensis* ser típica em ambientes estuarinos no Brasil (Debenay et al., 2001; Eichler et al., 2012; Macedo et al., 2017). A ocorrência de *Pararotalia cananeiaensis* é ainda mais marcante por ter sido encontrada em apenas uma amostra analisada, entre 19,5 e 21 metros no testemunho CV2.

No que concerne a classificação dos ambientes de águas quentes e carbonáticas (Assembleia I), foram identificados, principalmente, miliólídeos porcelanáceos e alguns macroforaminíferos, que são muito frequentemente associados aos ambientes carbonáticos de águas quentes (Murray, 2006). A presença de macroforaminíferos é associada aos recifes biogênicos e áreas de ocorrência de rodólitos (Vilela et al., 2019), o que corrobora para a interpretação da assembleia, uma vez que a mesma foi amostrada nas fácies já identificadas textural e litologicamente como fácies dentro de um contexto recifal.

De forma geral, ambos testemunhos apresentaram a Assembleia I restrita ao topo pleistocênico (Unit 2 em CV2 e Units 2 e 3 em CV1) (Figura 8 e Figura 12). A base dos testemunhos tiveram domínio da Assembleia III, mas, estratigraficamente acima, em torno da Unit 7, variações intercaladas entre Assembleia II e Assembleia III podem evidenciar alterações ambientais em ambos, intercalando assembleia de organismos característicos de plataforma interna de águas limpas, com assembleia característica de ambientes costeiros e/ou ambientes de plataforma interna com maior concentração de matéria orgânica até a Unit 3 em CV2 e Unit 4 em CV1.

Ainda no contexto da bioestratigrafia, um resultado muito marcante foi a ausência de foraminíferos entre as Units 5 e 6 de CV1, mesma sequência estratigráfica já evidenciada com contatos abruptos entre as fácies (Figura 10). Essa foi a única amostra ao longo dos dois testemunhos que não apresentou a ocorrência de foraminíferos. Considerando o contexto de região marginal do local de estudo e a delimitação do nicho ecológico dos foraminíferos, o achado poder ser mais uma evidência do maior aporte terrígeno no ambiente, uma vez que a salinidade, juntamente com temperatura, oxigênio dissolvido e tipo de substrato, são componentes abióticos determinantes para a delimitação do nicho ecológico de foraminíferos bentônicos (Murray, 2006).

É importante salientar que a amostra em questão está localizada, estratigraficamente, acima da Unit 7 de CV1 (Figura 8), onde as variações nas assembleias de foraminíferos já vinham mostrando uma constante modificação, passando de um ambiente de plataforma interna exposta nas Units 8 e parte da Unit 7, a regiões costeiras e alto teor de matéria orgânica, até um ambiente onde esses organismos são ausentes e, possivelmente, com domínio terrígeno em termos ambientais. Apesar da falta de

amostragem de fauna para a Unit 4, o padrão bioestratigráfico se torna característico de ambiente de águas quentes e carbonáticas até o topo pleistocênico, como já contextualizado acima.

Para o testemunho CV2, um ponto relevante é a presença já mencionada da espécie *P. cananeiaensis* em torno dos 20 metros de profundidade. A espécie é caracterizada como típica dos estuários brasileiros, porém, encontrada em uma fácies classificada como recifal. Isso se dá pelo fato do contato entre as Units 3 e 2 de CV2 não ser abrupto e a mudança entre as fácies ser tipicamente gradacional. Assim, a presença da *P. cananeiaensis* pode demarcar efetivamente este processo de evolução ambiental entre um ambiente costeiro e/ou com maior proximidade com a costa e alto teor de sedimentos terrígenos (como é o caso da Unit 3), para um ambiente recifal e, conseqüentemente, alto teor carbonático, como é o caso da Unit 2.

Em termos mineralógicos, os conjuntos difratométricos A, B, C, D, E e F mostraram que os minerais caulinita e muscovita/ilita foram os principais minerais de argila presentes na plataforma interna de Abrolhos durante o intervalo aqui estudado. Os minerais acessórios, que aparecem em pequenas proporções ao longo dos testemunhos, foram ankerita, apatita/CO₃apatita, aragonita, boehmita, calcita, dickita, dolomita, siderita, brookita, biotita, esmectita e taquidrita.

Embora o objetivo da análise mineralógica desta tese não seja discutir processos intempéricos e diagenéticos que disponibilizam os diferentes tipos de argilominerais para os oceanos, é importante pontuar que parte dos argilominerais encontrados no ambiente marinho são derivados do continente. O entendimento da origem e processos diagenéticos sofridos pelos minerais de argila a partir de sua formação e retirada das rochas-mãe são primordiais para a interpretação da ocorrência destes em diferentes ambientes, assim como sua distância de deposição da área fonte. Solos em regiões intertropicais são caracterizadamente formados em sua maioria por caulinita e esmectita, e são de maior interesse para reconstruções paleoclimáticas, uma vez que os solos tropicais são profundos e contribuem significativamente para a composição sedimentar marinha após a erosão da paisagem (Thiry, 2000).

Os conjuntos difratométricos A, C e D, de forma geral, apresentaram composição baseada no domínio de caulinita sobre a muscovita/ilita, variando apenas os minerais acessórios e suas porcentagens. Já os conjuntos B, E e F apresentaram composições únicas e determinantes para a interpretação ambiental, quando comparados com os conjuntos A, C e D. O conjunto difratométrico B apresentou proporção inversa entre caulinita e muscovita/ilita, já o conjunto difratométrico E foi o único a apresentar o mineral biotita em sua composição e, por fim, o conjunto difratométrico F apresentou basicamente caulinita e ausência de muscovita/ilita em sua composição.

A caulinita é geralmente formada através do processo de monossilificação (substituição de elementos químicos transitórios) das rochas-mãe, representando o intemperismo químico intenso (hidrólise) em clima quente e úmido (Chamley, 1989). As condições de clima úmido, por sua vez, favorecem a lixiviação de rochas-mãe de silicato de alumínio, e conseqüentemente aumentam a disponibilização da caulinita no ambiente marinho (Ruffell et al., 2002).

Durante as fases de clima úmido, o volume de detritos terrestres e produtos úmidos de intemperismo (como a caulinita) lançados aos oceanos é alto em comparação às fases prolongadas de clima árido (uma vez que os oceanos estão mais distantes das rochas-mães de maior altitude). Assim, a presença abundante de sedimentos clásticos ricos em caulinita se configura uma característica marcante das fases climáticas úmidas (Hallam, 1984; Wignall e Ruffell, 1990; Ruffell et al., 2002).

Segundo Ruffell et al. (2002), tudo indica que, em tempos de mudança climática, de intemperismo úmido a árido (ou vice-versa) da massa terrestre continental, o ambiente deposicional marinho é diretamente afetado. Durante os períodos áridos, por sua vez, hiatos sedimentares (devido à falha do suprimento clástico) também podem ocorrer, e a construção recifal biogênica desprovida de caulinita pode assumir o padrão de deposição (Ruffell et al., 2002).

Diferentemente da caulinita, e advinda de um menor grau de intemperismo, a illita é relatada como sendo produto do intemperismo físico de rochas continentais, característico de ambientes áridos ou semi-áridos (Liu et al., 2016; Liu et al., 2017; Mishra et al., 2019).

No contexto sedimentar, as proporções entre os minerais de argila têm sido amplamente utilizadas para indicar alterações paleoclimáticas de acordo com suas diferentes fontes e seus consequentes efeitos de diluição (Liu et al., 2004; Liu et al., 2017). Muitos trabalhos têm afirmado que a relação caulinita / esmectita ou esmectita-illita são úteis como indicadores paleoclimáticos (Ruffell et al., 2002). Porém as alterações nas concentrações de caulinita e illita também são fortemente confiáveis como indicadores de ambientes secos e úmidos em cenários modernos e paleoambientais (Mishra et al., 2019).

Entretanto, já se sabe que as interpretações paleoclimáticas das assembleias de argilominerais no ambiente marinho, isoladamente, produzem informações paleoclimáticas genéricas. Essa abordagem não alcança o mesmo grau de resolução que outras técnicas cronoestratigráficas e bioestratigráficas. As assembleias de argilominerais podem fornecer registros integrados dos impactos climáticos gerais, porém, em conjunto com outras técnicas complementares, possuem maior probabilidade de revelar climas locais com maior grau de confiabilidade. Neste contexto, a relação de ambientes submetidos a climas mais áridos e mais úmidos são inferidas aqui a partir das variações entre a presença de caulinita e muscovita/illita, comparativamente às análises de bioestratigrafia e composição textural/sedimentar das fácies sedimentares.

O termo muscovita/illita é utilizado aqui pelo fato dos minerais muscovita e illita possuírem composição elementar e estrutural praticamente idênticas, diferenciando-se, basicamente, a partir da granulometria e trocas catiônicas em processos diagenéticos, o que dificultou sua distinção no momento da análise dos resultados de difratometria de raio-X.

No testemunho CV1 as análises mineralógicas mostraram o domínio dos conjuntos difratométricos A, C e D, direcionados pelo domínio da caulinita sobre a muscovita/illita quase em sua totalidade, exceto em amostra coletada em torno das fácies Unit 5 e 6, representado pelo conjunto difratométrico B (Apêndice 2). Os conjuntos A, C e D, pelo contexto utilizado, são expostos como tendo a mesma interpretação ambiental, ou seja, representantes de ambientes de climas úmidos pelo domínio do mineral caulinita sobre os minerais muscovita/illita. Já o conjunto B, pelo domínio invertido, ou seja, domínio dos minerais muscovita/illita sobre a caulinita, é interpretado como sendo representante de um ambiente de clima mais seco e/ou árido. Esta interpretação é, ainda, corroborada pela análise bioestratigráfica, onde os foraminíferos se desenvolveram estratigraficamente ao longo dos conjuntos A, C e D e não foram encontrados no conjunto B, conjunto este que pode representar uma condição de aridez e nível de mar mais baixo, resultando em um maior aporte terrígeno na região de estudo e até mesmo uma condição de exposição do leito marinho a condições de água meteórica.

De forma similar, o testemunho CV2 apresentou, também, domínio dos conjuntos difratométricos interpretados como representantes de ambientes de climas úmidos, conjuntos C e D. Porém, duas modificações foram observadas em sua estrutura: a presença do conjunto E (em amostra em torno de 20 metros – Unit 2) e do conjunto F (Unit 9) (Apêndice 2). O conjunto difratométrico E poderia, até, ser classificado como sub-fácies do conjunto D por sua distribuição de minerais e grau de refinamento, porém, a presença do mineral biotita foi interpretada como uma possível descarga fluvial mais forte ou mesmo uma instabilidade do nível do mar que gerou condições de maior proximidade com a costa, uma vez que a biotita é instável e dificilmente encontrada longe de sua fonte geradora, por ser pouco resistente ao intemperismo (Bohn et al., 1985). Esta condição, novamente, é corroborada pela bioestratigrafia, uma vez que na mesma profundidade foi encontrada a espécie de foraminífero *Pararotalia cananeiaensis*, típica dos estuários brasileiros, caracterizando um ambiente costeiro com alto teor de matéria orgânica. Por fim, o conjunto difratométricos F apresentou a caulinita como representante de quase sua totalidade de minerais (97%). Esta condição pode ter várias causas, e uma

delas, por exemplo, seria a diagênese sofrida por outros minerais formando a caulinita, como por exemplo, a própria esmectita. Em 1976, Eberl e Hower produziram tanto illita quanto caulinita a partir da esmectita, porém, em condições de baixo pH. Segundo McKinley et al. (2003), a reação pode acontecer, mas parece não ter significância em condições naturais. Outra possível causa seria o intenso intemperismo da muscovita em climas úmidos formando caulinita, o que resultaria em uma interpretação de clima úmido também para o conjunto F.

Os demais minerais acessórios foram utilizados em um caráter secundário no entendimento dos conjuntos difratométricos. Os minerais calcita, ankerita, dolomita e aragonita, por exemplo, identificam a influência de sedimentos carbonáticos, mesmo que pequena, na composição de todos os conjuntos difratométricos. Os minerais apatita/CO₃ apatita, do grupo dos fosfatos e comuns na estrutura óssea dos vertebrados, foram encontrados em quase todos os conjuntos (exceto nos conjuntos D e E), mas não se tem uma interpretação clara ou definitiva da presença dos mesmos, no que se refere às condições paleoambientais.

Baseado nestas interpretações, a Figura 16 e a Figura 17 apresentam a interpretação paleoambiental das fácies descritas para ambos os testemunhos em Coroa Vermelha.

Figura 16: Interpretação paleoambiental do testemunho CV1.

CV 1				
Prof. (m)	Litologia	Fácies	Composição	Interpretação Paleambiental
0 4 8 12		Unit 1	Sedimento carbonático	Recife Holocênico
16 20		Unit 2	Recife	Recife Pleistocênico
24 28 32		Unit 3, 4,5 e 6	Areia siliciclástica/mista	Plataforma continental rasa com domínio de sedimentação terrígena
36 40 44		Unit 7	Lama carbonática	Plataforma continental rasa. Região às margens de um recife
48 52		Unit 8	Areia siliciclástica/mista	Plataforma continental rasa com domínio de sedimentação terrígena / mista

Figura 17: Interpretação paleoambiental do testemunho CV2.

CV 2				
Prof. (m)	Litologia	Fácies	Composição	Interpretação Paleoambiental
0 4 8 12		Unit 1	Recife com grande quantidade de sedimentos	Recife Holocênico
16 20 24		Unit 2	Recife com grande quantidade de sedimentos	Recife Pleistocênico
28 32		Unit 3, 4,5 e 6	Predomínio de lama siliciclástica/mista	Plataforma continental rasa com domínio de sedimentação terrígena
36		Unit 7	Lama carbonática	Plataforma continental rasa. Região às margens de um recife
40 44		Unit 8 e 9	Lama/areia carbonática/mista	Plataforma continental rasa de sedimentação mista
48 52		Unit 10	Areia siliciclástica / mista	?

As 3 assembleias de foraminíferos indicam que o ambiente se manteve como ambiente costeiro e de plataforma interna, sendo que a Assembleia A já seria mais específica, apontando para um ambiente tipicamente recifal. As fácies mineralógicas/difratométricas apontam para um domínio claro de aporte de caulinita, indicando condições climáticas e de fontes similares ao que temos hoje na região (Leite, 2015). Mesmo pequenas variações associadas a este padrão não tiram a característica de um ambiente de aporte de material terrígeno em uma condição de clima mais úmido. A única exceção a esse padrão é o conjunto difratométrico B que ocorre apenas na Unit 5 de CV1. A variabilidade litológica entre os testemunhos pode facilmente representar a variação lateral de ambientes costeiros e de plataforma interna rasa. Sendo assim, a interpretação simplificada dos paleoambientes observados ao longo do testemunho seria marcada por ciclos de sedimentação mostrando uma região costeira e/ou de plataforma interna com aporte terrígeno significativo, com maior ou menor presença de sedimentação carbonática, e a ocorrência de estruturas recifais nas duas unidades, estratigraficamente, mais recentes, formando o recife pleistocênico e o recife holocênico. O registro geológico (Morsilli et al., 2011; Braga et al., 2012; Novak et al., 2013) aponta para a ocorrência de plataformas internas onde, mesmo com o predomínio de sedimentação terrígena, a presença de sedimentação carbonática nas adjacências é observada. Leão e Ginsburg (1997) e D'Agostini et al. (2015) já mostram que a sedimentação moderna em Abrolhos é marcada por um gradiente de sedimentos terrígenos, mistos e carbonáticos, seguindo um gradiente de profundidade. Vieira et al. (2019) também mostram que essa variação de domínio sedimentar siliciclástico e carbonático pode ocorrer também lateralmente, e não necessariamente seguindo o aumento da profundidade ou distância da costa. Além disso, D'Agostini

et al. (2015) também apontam para uma variabilidade de teores de areia e lama entre os recifes da plataforma interna de Abrolhos, mostrando que lateralmente existem mudanças significativas entre teores de lama e areia.

4.2 O Contexto do Recife Coroa Vermelha

A composição e evolução do Recife de Coroa Vermelha vêm sendo investigadas desde a década de 1980, porém, os estudos se desenvolveram contemplando apenas o crescimento holocênico destas construções carbonáticas. Leão e Ginsburg (1997) descrevem a estrutura recifal holocênica de Coroa Vermelha a partir de uma sondagem única. Os autores, além de identificarem o momento do início recifal no Holoceno e os principais organismos sésseis construtores e a taxa de acreção recifal dos últimos ~7000 anos, também mapearam a interface Pleistoceno-Holoceno para a estrutura recifal a partir da identificação de uma descontinuidade observada em dados de refração sísmica no recife. Essa descontinuidade ocorre a aproximadamente 12-13 metros de profundidade, a partir dos dados do levantamento sísmico. Estes resultados são usados amplamente por muitos autores como delimitação da profundidade de desenvolvimento recifal holocênico na Plataforma interna de Abrolhos, uma vez que nenhum outro estudo coletou dados que contemplassem a mesma interface dentro da abordagem cronoestratigráfica pré-holocênica. Os resultados mostrados aqui, principalmente para o testemunho CV2, corroboram esta profundidade de início do crescimento recifal holocênico em Coroa Vermelha.

Coroa Vermelha hoje, é um recife isolado de topo plano e homogêneo (do tipo “flat reef” de aproximadamente 9 km² de topo) inserido em um alinhamento de quatro recifes emersos-quase emersos paralelos à costa, conjunto nomeado de Arco Interno de Abrolhos (Figura 5). Leão e Ginsburg (1997) e D’Agostini et al. (2015) apontam para o paleorelevo como forte fator de controle para o desenvolvimento desses recifes holocênicos.

Dentro do contexto evolutivo, o Pleistoceno foi investigado e discutido para a Plataforma de Abrolhos apenas por D’Agostini et al. (2015), onde os autores interpretam a evolução pleistocênica e holocênica da plataforma a partir de interpretações sismoestratigráficas. As linhas sísmicas analisadas por D’Agostini et al. (2015) contemplam exatamente a área de estudo investigada aqui. Duas linhas sísmicas passam ao largo do recife de Coroa Vermelha, tanto ao norte, quanto ao sul do mesmo, aproximadamente 5 quilômetros do local amostrado pelos testemunhos CV1 e CV2. Por este fato, se identificou a importância na correlação e interpretação dos resultados de forma conjunta.

O levantamento sismoestratigráfico feito por D’Agostini et al. (2015) apresentou dois principais conjuntos estratigráficos, determinados como Sequência Pleistocênica e Sequência Pleistocênica-Holocênica. Esses conjuntos estratigráficos são definidos a partir de uma superfície discordante (S1), que poderia representar a superfície de exposição máxima (Figura 18). Segundo os autores, a Sequência Pleistocênica é caracterizada por duas unidades sísmicas sobrepostas (SqA e SqB) de padrões agradacionais, que sofreram processos erosivos no topo, definidas por duas superfícies estratigráficas (S1 e SB, vide Figura 18). É possível identificar que, a unidade SqA, interpretada como recifal, se desenvolveu diretamente e estratigraficamente acima de uma superfície levemente erosiva (SB). O mesmo ocorreu com a unidade SqB, que também foi interpretada como recifal e desenvolvida estratigraficamente acima da superfície erosiva do topo de SqA (SA), considerando os processos erosivos sofridos pela primeira. Ambas foram interpretadas como rochas carbonáticas construídas/preservadas durante níveis transgressivos/mar alto, porém, diferenças entre suas texturas também foram identificadas. SqA, por possuir configuração transparente, foi interpretada como rochas carbonáticas compactadas mais antigas e a configuração caótica de SqB induziu a interpretação sobre as oscilações ocorridas durante uma lenta descida do nível do mar. Feições erosivas como vales incisos também foram identificadas em ambas unidades.

D’Agostini et al. (2015) não apresenta um dado cronológico absoluto, entretanto, os autores consideram datações feitas em feições cársticas na plataforma média e externa (“buracas”) por Bastos et al. (2013),

como uma forma de datação indireta para a formação da superfície discordante S1 (Figura 18). Outro resultado prévio também utilizado pelos autores foi a interface Pleistoceno-Holoceno de Leão e Ginsburg (1997) e já mencionada acima. Os resultados de Leão e Ginsburg (1997) e Bastos et al. (2013), compilados às curvas de variação do nível do mar global agrupadas por Rabineau et al. (2006), subsidiaram a interpretação da superfície discordante no topo da unidade SqB como sendo uma superfície paleotopográfica cárstica formada durante a exposição subaérea da plataforma no último máximo glacial, ou seja, o topo de SqB marca a passagem de sequências deposicionais/gradacionais construídas durante o Pleistoceno até o último máximo glacial para sequências deposicionais holocênicas formadas a partir da transgressão pós-último máximo glacial (D'Agostini et al., 2015). Os autores ainda interpretam que as superfícies erosivas SB e SA, na sequência pleistocênica, são interpretadas como correspondentes à exposição parcial da plataforma durante os eventos regressivos pretéritos ao início dos Estágios Isotópicos Marinheiros (MIS) 5c e 5a, respectivamente. Com essa interpretação, D'Agostini et al. (2015) criam uma hipótese de que a unidade recifal pleistocênica poderia ter sido formada no MIS 3.

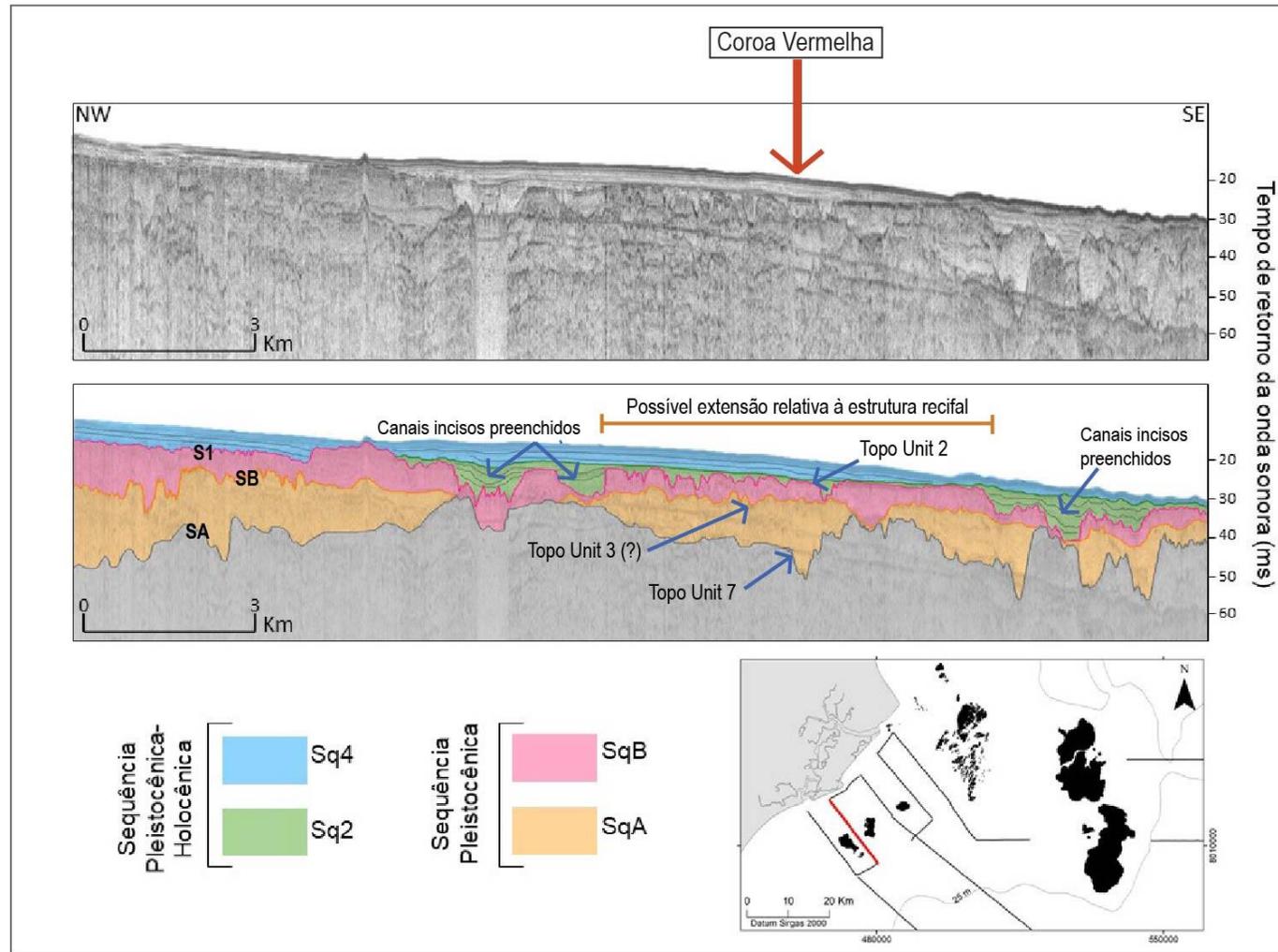
Na tentativa de fazer uma associação com a interpretação sismoestratigráfica, considerou-se a espessura das unidades faciológicas descritas nesse trabalho e sua possível representação em tempo sísmico: Espessura da Unit 2 (recifal) com cerca de 10m; e a espessura de cerca de 20m do pacote sedimentar entre o topo da Unit 2 (recifal) e o topo da Unit 7, que seria uma fácies também carbonática e associada a um recife próximo. Considerando 3 possibilidades de velocidade média de propagação de ondas acústicas no meio (1600m/s, 1800m/s e 2000m/s), chegou-se a valores de tempo duplo para a Unit 2 variando entre 10ms, 11ms e 12.5ms. No caso do intervalo entre o topo das Units 2 e 7, o tempo duplo varia entre 20ms, 22ms e 25ms.

A correlação estratigráfica dos testemunhos CV1 e CV2 com a interpretação sismoestratigráfica de D'Agostini et al. (2015) não é trivial, considerando alguns aspectos básicos: a) os refletores que marcam as superfícies estratigráficas e definem as unidades sísmicas mapeadas são bastante irregulares e variam suas profundidades espacialmente; b) a variação espacial das profundidades das superfícies influencia a espessura das unidades sísmicas; c) a localização dos furos está exposta na maré alta, o que já indica uma região mais elevada em relação às linhas sísmicas; e d) as sondagens não foram feitas sobre as linhas sísmicas.

A Figura 18 mostra a linha sísmica e a interpretação sismoestratigráfica proposta por D'Agostini et al. (2015), com a indicação da direção de onde seriam os testemunhos CV1 e CV2. O topo recifal pleistocênico (Unit 2) seria representado pela superfície S1, e vemos que a base dessa unidade recifal estaria em torno de 11ms abaixo de S1, e o topo da Unit 7 estaria em torno de 22ms abaixo da S1. Isso indica que, apesar da irregularidade das superfícies discordantes S1, SA e SB, a melhor aproximação entre os dados sísmicos e as unidades faciológicas dos testemunhos é que a superfície SA seria o topo da fácies carbonática Unit 7.

Estudando a evolução de dolinas (Buracas) na plataforma média e externa de Abrolhos, Bastos et al. (2016) interpretaram a ocorrência de duas superfícies erosivas. Combinando dados sísmicos com idades de radiocarbono e petrografia de rochas carbonáticas formadoras das paredes das dolinas, os autores definem que a superfície erosiva mais antiga seria referente ao penúltimo máximo glacial (MIS 6) e a superfície mais recente seria referente ao último máximo glacial (MIS2). A relação entre as superfícies mapeadas em D'Agostini et al. (2015) e Bastos et al. (2016) indica que a superfície que define o topo da Unit 7 seria referente à exposição no máximo glacial MIS 6. É importante salientar que a análise sismoestratigráfica não pode ser feita a partir de uma linha sísmica única, o que impossibilita definir a continuidade do refletor de forma direta, já que existe um intervalo sem dados sísmicos entre as linhas da plataforma interna e externa.

Figura 18: Linha sísmica ao sul do Recife de Coroa Vermelha interpretada por D'Agostini et al. (2015). S1, SB e AS são as superfícies erosivas identificadas pelos autores. A seta vermelha indica posição do Recife Coroa Vermelha ao longo da extensão da linha sísmica e as setas azuis indicam a possível relação do topo das fácies estratigráficas interpretadas aqui com a linha sísmica. Já a barra alaranjada indica a possível extensão relativa à estrutura recifal de Coroa Vermelha no Pleistoceno. Fonte: Modificado de D'Agostini et al. (2015).



Na linha sísmica da Figura 18 pode-se inferir a possível área de extensão associada ao recife pleistocênico. Essa área pode ser interpretada por ter um topo plano, mais elevado e limitado nos extremos por canais incisos e preenchidos durante a transgressão pós-último máximo glacial. É importante sempre ressaltar que a interpretação sismoestratigráfica tem uma conotação cronoestratigráfica, então existe naturalmente uma variabilidade de fácies/litologias ao longo das unidades sísmicas.

D'Agostini et al. (2015) apresenta a sequência estratigráfica pleistocênica como sendo baseada unicamente na construção carbonática agradacional, enquanto os testemunhos CV1 e CV2 mostram a deposição intercalada entre momentos de maior e menor influência terrígena nos depósitos sedimentares entre Unit 2 e Unit 7, marcados pela variação de aporte sedimentar siliciclástico entre as fácies carbonáticas identificadas na estratigrafia dos testemunhos. Estas fácies (Units 3, 4, 5 e 6) de CV1 e CV2, apesar de não serem consideradas análogas entre os testemunhos, evidenciam um domínio de sedimentos terrígenos em sua composição, e, conseqüentemente, uma variação do aporte sedimentar quando comparadas às Units 2 e 7. Esta variação direciona para a inferência de condições paleoambientais da região de Coroa Vermelha.

A Unit 5 de CV1, em especial, por sua característica única de ausência de foraminíferos e classificada como Conjunto Difratométrico B, é uma evidência de aporte terrígeno, mas possivelmente com uma baixa influência marinha no processo sedimentar, ou até mesmo em função de uma variabilidade climática já que há uma inversão dos teores de muscovita/ilita e caulinita. Esta fácies pode ter se formado em função de uma pequena flutuação (queda) do nível do mar, ou até mesmo uma estabilização do mesmo, onde a região costeira, e até mesmo a porção continental, pode ter alcançado a região de estudo devido à progradação da linha de costa. Contudo, duas questões importantes são inseridas neste contexto, sendo elas a correlação das fácies entre os testemunhos e os processos erosivos ocorridos no topo das fácies estratigráficas.

As características que impulsionaram a interpretação da Unit 6 de CV1 não foram identificadas em CV2, mesmo os testemunhos terem sido amostrados com apenas 200 metros de distância entre eles. Isso pode ser justificado por uma possível dinâmica sedimentar local que possibilitou diferentes tipos de deposição dentro desta escala espacial, como um leito de rio e sua margem, ou uma região de supra e infra litoral, por exemplo, que possuem diferentes padrões sedimentares mesmo estando inseridos no mesmo ambiente; ou, ainda, justificado pelo fator erosão. Feições erosivas foram encontradas no topo de praticamente todas as fácies sedimentares. Infelizmente, as metodologias de investigação paleoambiental não proporcionam informações a respeito do pacote erodido ao longo do tempo, ou seja, informações referentes à quantidade de material depositado que foi perdida ao longo do tempo geológico posterior, ao momento em que ocorreu o processo erosivo, por quanto tempo o processo erosivo atuou no depósito sedimentar e qual foi sua forçante determinante. Assim, o registro sedimentar/recifal recuperado nos testemunhos CV1 e CV2 contemplam apenas os depósitos sedimentares que resistiram à erosão sofrida ao longo do tempo geológico até os dias atuais. Isso pode ser uma hipótese a respeito da ausência de fácies análoga à Unit 6 de CV1 no testemunho CV2.

Por fim, ainda no contexto dos principais balizadores para os padrões sedimentares encontrados nos testemunhos, outro resultado importante é a mudança entre as fácies Unit 3 e Unit 2 (CV2) ser tipicamente gradacional e sem a presença de uma superfície erosiva entre elas. Este padrão pode marcar a evolução gradual de um ambiente com características costeiras (Unit 3) para um ambiente recifal (Unit 2), podendo significar, até mesmo, uma lenta subida do nível do mar com afogamento dos sistemas costeiros e instalação do ambiente recifal em seu topo, em um processo de retrogradação da linha de costa.

4.3 Modelo conceitual de Evolução da Plataforma Interna de Abrolhos

Apesar dos testemunhos CV1 e CV2 não terem sido datados nas fácies pleistocênicas, a integração entre eles e as análises sísmicas e cronoestratigráficas realizadas na área de estudo em trabalhos anteriores é destaque para a proposição de um modelo conceitual de evolução, considerando fases distintas. O modelo conceitual foi inserido cronologicamente na curva de variação do nível do mar global apresentada por Spratt e Lisiecki (2016), visando uma análise generalizada da formação das unidades em uma escala temporal.

O modelo conceitual com fases distintas foi desenvolvido considerando que: a) no intervalo de tempo amostrado pelos testemunhos a plataforma se desenvolveu com ciclos de sedimentação de plataforma rasa/zona costeira terrígena-mista e construção recifal; b) evidências de superfícies erosivas em dados sísmicos apontam processos de transgressão e exposição em máximos glaciais; c) colônias de corais amostradas em torno de 3 a 6 metros acima do nível do mar atual em terraços aflorados na costa da Bahia apresentaram idades em torno de 120.000 anos AP (Bernat et al., 1983 e Martin et al., 1988), o que sugere a ocorrência de recifes em níveis de mar alto, hoje expostos na costa; d) a região amostrada possuiu intenso suprimento de sedimentos terrígenos ao longo do período amostrado; e e) não há evidência clara de processos de subsidência que sejam significativos (Dechnik et al., 2019).

O modelo conceitual aponta para uma possível sedimentação cíclica interrompida na transgressão pós-último máximo glacial. A interpretação dos testemunhos aponta para duas sequências (sem a conotação de estratigrafia de sequências) compostas da base para o topo de fácies costeiras/marinho rasa terrígenas-mistas gradando para unidades de domínio carbonático associado a recifes ou mesmo gradando para estruturas recifais. A sequência mais antiga engloba as Units 10-7, e a sequência mais nova engloba as Units 6-2. A última sequência contempla o crescimento recifal holocênico (Unit 1) por sobre a estrutura recifal pleistocênica (Unit 2). Como já mencionado, ao longo de todo o perfil estratigráfico fica evidente a importância e a influência do aporte terrígeno.

Pelas incertezas ainda existentes sobre a interpretação da base dos testemunhos, o modelo evolutivo abordou apenas o intervalo entre as fácies da Unit 7 e Unit 1 de ambos os testemunhos. Assim, os resultados obtidos na região do Recife de Coroa Vermelha apontam que a Plataforma Interna de Abrolhos evoluiu em seis principais fases, considerando as variações do nível do mar no Quaternário e suas principais consequências na região costeira e marinha adjacente.

Fase 1: Domínio de Sedimentação Carbonática: Caracterizada pela sedimentação carbonática da Unit 7. Os organismos encontrados no pacote sedimentar corroboram para a interpretação de uma região de plataforma interna, porém, com domínio de sedimentação carbonática, como uma região próxima a um recife biogênico. A erosão identificada no topo da unidade, compilada aos resultados de Bastos et al. (2016) e D'Agostini et al (2015), indica que a superfície erosiva no topo a Unit 7 representa o penúltimo máximo glacial, Estágio Isotópico Marinho (MIS) 6. Assim, a Fase 1 foi considerada como sendo desenvolvida durante o MIS 7, quando o nível do mar estava em torno de 9 metros abaixo do atual (Spratt e Lisiecki, 2016). Considerando a profundidade do topo da Unit 7, no MIS 7 a profundidade estava em torno de 25 metros. Esta compilação indica uma profundidade passível de ocorrer construções recifais. Assim, o ambiente recifal poderia estar deslocado lateral ou transversalmente possibilitando a deposição dos sedimentos carbonáticos na Unit 7.

Fase 2: Regressão Máxima - MIS 6 (~ 135 mil anos AP): Caracterizada pela superfície discordante erosiva identificada por Bastos et al. (2016) e D'Agostini et al. (2015). Os dados sísmicos, as datações de radiocarbono e descrição da petrografia de rochas carbonáticas nas paredes laterais de dolinas (Bastos et al., 2016) na plataforma média e externa de Abrolhos corroboram a definição da erosão ocorrida no topo da Unit 7 (Fase 1) ser referente à exposição da plataforma durante o penúltimo máximo glacial (MIS 6). Segundo Spratt e Lisiencki (2016) o nível do mar pode ter alcançado 120 metros abaixo

do nível atual, proporcionando condições de exposição subaérea da plataforma e consequentes processos erosivos.

Fase 3: Domínio de Sedimentação Terrígena: Caracterizada pela sedimentação de domínio terrígeno entre as Fácies Unit 6, 5, 4 e 3. Entre os testemunhos, a sequência de fácies é distinta, ou seja, a sequência é arenosa em CV1 enquanto em CV2 é, em sua maioria, lamosa. Isso indica uma variação lateral do processo de deposição entre os locais amostrados de CV1 e CV2. Na região mais energética, contemplada pela região de CV1, se observa, ainda, o indicativo de uma variabilidade ambiental importante, marcada por ausência de foraminíferos e a inversão da razão de caulinita e muscovita/ilita. Conjuntamente, essas variações podem indicar a presença de um momento de clima mais seco, mas as análises de foraminíferos das demais fácies indicam que o ambiente ainda se manteve como plataforma interna rasa com domínio de sedimentação terrígena.

Adotando a Fase 2 como desenvolvida durante o MIS 6, a Fase 3 pode ter se desenvolvido durante a transgressão pós MIS 6, uma vez que podem ter ocorrido momentos de flutuações e estabilizações do nível do mar até a criação de condições ideais para o desenvolvimento recifal. Na transgressão, o primeiro momento de estabilização cria um ambiente costeiro/raso, tipicamente terrígeno que, posteriormente com a subida do nível do mar de forma gradativa se torna mais carbonático (Dunbar e Dickens, 2003; Coffey e Read, 2004; Gischler et al., 2010). Essa característica é observada em testemunhos que marcam, principalmente, os períodos de estabilização, seguidos de pulsos de degelo, como observado por D'Agostini (2017) na plataforma interna e externa de Abrolhos e por Vicalvi et al. (1978) na Depressão de Abrolhos.

Fase 4: Crescimento Recifal Pleistocênico: Caracterizada pelo desenvolvimento recifal da Unit 2. Esta fácies contempla o crescimento conjunto de corais e algas característicos de ambientes rasos, o domínio de calcita sobre a aragonita em colônias de corais escleractíneos (representando a recristalização) e alta taxa de sedimentação ao longo de seu desenvolvimento. As análises mineralógicas e bioestratigráficas apontam para um clima úmido e ambiente de plataforma interna, porém, coincidem em uma indicação de clima mais seco (com a presença do mineral biotita e foraminíferos típicos dos estuários brasileiros) para uma amostra no meio da Unit 2 em CV2. Esta observação foi considerada como inserida no processo de passagem da fase dominada pela sedimentação terrígena para a fase dominada pelo crescimento recifal, uma vez que o contato entre as fácies não foi abrupto. A fase 4 é considerada com desenvolvimento durante o MIS 5. Os corais datados por Bernat et al. (1983) e Martin et al. (1988) indicam que no MIS 5e o nível do mar estava mais alto que o atual, assim como Spratt e Lisiecki (2016) indicam que o MIS 5 apresentou flutuações do nível do mar entre aproximadamente +4 e -45 metros em referência ao nível atual, possibilitando o crescimento recifal e representando a última fase de evolução recifal durante o Pleistoceno, nesta porção da plataforma.

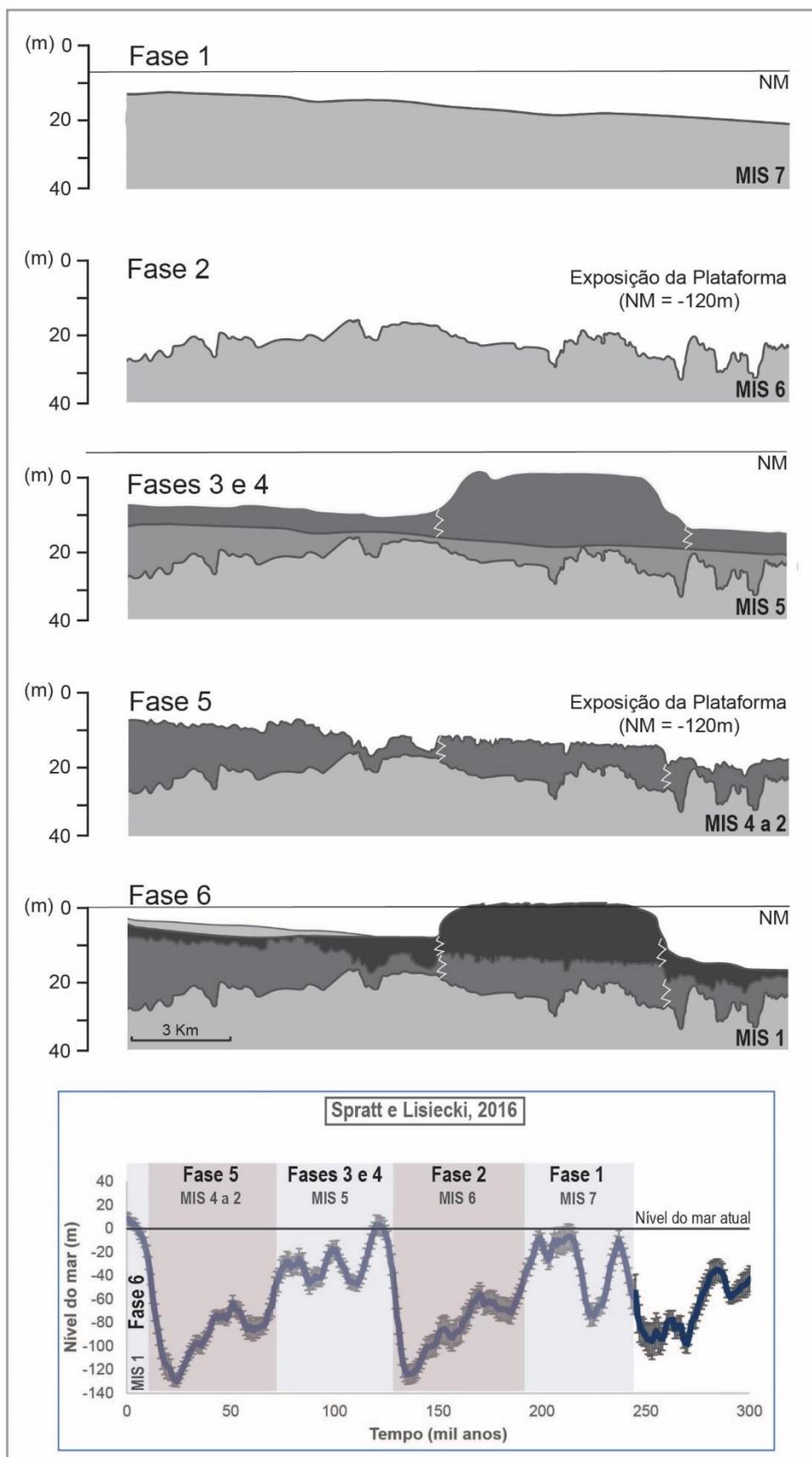
Fase 5: Regressão Máxima - MIS 2 (~20 mil anos AP): Caracterizada pela superfície de dissolução no topo do recife pleistocênico, além de também identificada como superfície erosiva no levantamento sísmico de D'Agostini et al. (2015) e uma superfície de refração nos dados de Leão e Ginsburg (1997). A regressão forçada ocorrida durante o MIS 4 e alcançando o Último Máximo Glacial no MIS 2, pode ter alcançado a magnitude de -120 metros abaixo do nível do mar atual (Spratt e Lisiecki, 2016), o que resultou na exposição subaérea da plataforma continental e consequente dissolução química dos carbonatos em função dos processos hidrológicos, resultando na superfície cárstica identificada por D'Agostini et al. (2015). O domínio de calcita sobre a aragonita em colônias de corais escleractíneos abaixo desta superfície de dissolução marcam indiretamente esta fase, como um produto diagenético.

Fase 6: Transgressão Pleistocência-Holocênica, Crescimento Recifal Holocênico e Regressão Marinha posterior - MIS1 (~15 mil anos AP até os dias atuais): Esta fase contempla a transgressão pós último máximo glacial, que possibilitou o crescimento recifal holocênico na plataforma e a regressão marinha subsequente, mapeada nas curvas de variação do nível do mar no hemisfério sul, e

principalmente depois de 5000 anos AP, na plataforma leste brasileira (Martin, 2003; Angulo e Lessa, 1997; Angulo et al, 2006). A transgressão proporcionou o afogamento da plataforma interna por volta de 8 - 7 mil anos AP, alcançando de 3 a 4 metros acima do nível do mar atual, o que possibilitou a instalação do recife holocênico por volta de 6406+/-205 mil anos AP (Capítulo 1). A partir de ~5 mil anos AP, o processo de regressão marca a progradação da linha de costa na região (D'Agostini et al., 2015), além de marcar a morte do topo recifal de Coroa Vermelha em 4442+/-220 mil anos AP (Capítulo 1). A regressão marinha está atuante até os dias atuais na Plataforma de Abrolhos.

A Figura 19 ilustra de forma genérica e esquemática, o modelo de evolução proposto para a Plataforma Interna de Abrolhos nos últimos ~250.000 anos, assim como o intervalo de ocorrência de cada fase identificado na curva global de variação do nível do mar (Spratt e Lisiecki, 2016). A ilustração foi feita baseada na interpretação sísmica de D'Agostini et al. (2015), mas representa uma composição entre os testemunhos CV1 e CV2 e a sísmica, devendo ser vista como um modelo conceitual generalizado. Os depósitos em tons de cinza denotam as diferentes fases da evolução da plataforma descritos acima e a extensão do crescimento recifal foi delimitada lateralmente, também de forma ilustrativa.

Figura 19: Modelo de evolução da contemplando as seis fases evolutivas, também inseridas na curva de variação do nível do mar proposta por Spratt e Lisiecki, 2016. NM: Nível do mar.



5 Conclusão

A sondagem dos testemunhos CV1 e CV2 trouxe um novo cenário de interpretação a respeito da evolução da Plataforma Interna de Abrolhos no Quaternário tardio, onde é possível identificar que:

- Os testemunhos indicaram que a região se manteve variando em condições de plataforma interna mais exposta ou mais restrita, além de dois episódios de exposição da plataforma em máximos glaciais. O aporte sedimentar terrígeno, por sua vez, esteve presente na região de Coroa Vermelha ao longo de todo o tempo geológico contemplado pelas sondagens, em momentos de maior ou menor influência sobre a sedimentação, assim como momentos de climas mais secos ou mais úmidos.

- O padrão litoestratigráfico encontrado, por sua vez, é surpreendente pelo fato de ir de encontro ao padrão litoestratigráfico já mapeado em plataformas mistas/carbonáticas, com assembleias recifais intercaladas no registro geológico, respondendo às diferentes variações do nível do mar.

- O Recife de Coroa Vermelha, encontrado hoje na Plataforma de Abrolhos com desenvolvimento recifal holocênico e topo recifal morto, não foi edificado no mesmo local ao longo do tempo geológico. Seu desenvolvimento contínuo “build up” pode ser mapeado apenas a partir do MIS 5.

- A paleotopografia, caso atue como controle na distribuição espacial dos recifes, é efetiva apenas no Holoceno, quando o topo do recife pleistocênico pode ter gerado uma superfície mais alta e plana favorecendo a edificação do recife holocênico.

- Os testemunhos podem ter alcançado o Estágio Isotópico Marinho 7, registrando diferentes variabilidades ambientais nos últimos ~250.000 anos, resultando em uma evolução da plataforma interna de Abrolhos dividida em seis fases. As fases de evolução alternaram entre períodos de domínio de sedimentação carbonática (MIS 7), exposição subaérea (MIS 6), sedimentação terrígena (MIS 5), crescimento recifal pleistocênico (MIS 5), exposição subaérea (MIS 4 a 2) e crescimento recifal holocênico (MIS 1).

CAPÍTULO 3: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo final, o objetivo é apontar, em um formato de síntese, as contribuições científicas que esta tese trouxe para o contexto da evolução dos recifes de Abrolhos. Sendo assim, é feita uma abordagem de como os resultados e conclusões apresentados aqui impactam e ajudam no melhor entendimento acerca da evolução recifal durante o Pleistoceno Tardio e o Holoceno. Por isso, as considerações finais da Tese trazem ainda referências bibliográficas, buscando contextualizar os resultados à luz do conhecimento prévio sobre a evolução recifal.

Síntese do Conhecimento sobre a Evolução dos Recifes Costeiros de Abrolhos

A Plataforma Continental Brasileira, principalmente nos trechos leste e nordeste, tem como característica o domínio de sedimentação carbonática (grande contribuição de algas calcárias, Milliman 1977), com a influência terrígena mais restrita à região costeira (Vieira et al., 2019). Neste contexto, a Plataforma Continental de Abrolhos apresenta, no seu setor norte, o maior e mais importante Complexo Recifal no Atlântico Sul. A primeira descrição sobre os recifes de Abrolhos e suas características biológicas e geológicas ocorreu ainda no século 19 com os trabalhos de Hartt (1870), com uma posterior contribuição importante de Laborel (1969). Nesta primeira abordagem ficou claro o alto endemismo e a baixa riqueza de corais, bem como a forma cogumelar única dos recifes de Abrolhos, que ficou mundialmente conhecida como Chapeirões. A partir da década de 1980, com os trabalhos da Professora Zelinda Leão (Leão, 1982) houve um avanço significativo no conhecimento sobre a ocorrência de recifes em Abrolhos, principalmente com o conceito dos arcos recifais, interno e externo, e a influência da sedimentação terrígena no arco mais costeiro/interno. Além disso, surgiram as primeiras ideias e conceitos sobre o início do crescimento recifal holocênico em Abrolhos em associação às primeiras curvas de variação relativa do nível do mar na Costa Leste Brasileira (Martin et al, 1979 e Martin et al, 1980).

No que se refere à evolução dos recifes holocênicos, o trabalho de Leão (1982) é pioneiro no Brasil e para o Atlântico Sul, e foi baseado em uma sondagem única realizada no recife de Coroa Vermelha em Abrolhos. Uma segunda sondagem em recifes costeiros foi feita em Guarajuba, região mais ao norte no litoral da Bahia, e fora do complexo recifal de Abrolhos. Os resultados obtidos a partir dessa sondagem única em Abrolhos evidenciaram o início do crescimento de um recife holocênico por sobre um recife pleistocênico. O início do crescimento recifal teria ocorrido por volta de 7.000 anos AP, com algumas características importantes, como as taxas elevadas de crescimento em momentos distintos. Além disso, a sondagem ainda revelou, segundo Leão e Ginsburg (1997), que o contato entre os recifes pleistocênico e holocênico estaria em torno de 13 metros abaixo do nível atual do mar, e ainda, que os principais construtores do recife holocênico de Coroa Vermelha seriam corais, mais precisamente, os corais endêmicos *Mussismilia harttii* e *Mussismilia braziliensis*. Leão e Kikuchi (2005) apontam que há uma mudança do principal coral construtor neste mesmo testemunho, por volta de 4.300 anos AP, quando *M. braziliensis* passa a ser dominante sobre *M. Harttii*.

Com base na composição recifal e em idades radiocarbono, Leão et al. (2003) apresentam o conceito evolutivo para os recifes costeiros da Costa Leste Brasileira a partir de fases de crescimento vertical, crescimento lateral e degradação recifal. Essas fases são associadas à momentos marcantes na curva de variação relativa do nível do mar para a Costa Leste Brasileira. Essas fases podem ser resumidas em 4 estágios – O primeiro estágio, caracterizado pela iniciação recifal, correu entre 7 e 5 mil anos AP, durante a última fase de inundação na plataforma, segundo curvas de variação do nível do mar para a costa leste brasileira produzidas por Martin (2003) e Angulo et al. (2006); O segundo estágio (entre 5 e 4 mil anos AP) foi caracterizado por um rápido crescimento vertical (até 7 mm / ano) da estrutura do recife durante o pico do nível de mar alto holocênico, quando o nível do mar atingiu cerca de 2 a 5 m acima do atual nível do mar atual; O terceiro (entre 4 e 2 mil anos AP) e o quarto (entre 2 mil anos AP e os dias atuais) estágios foram caracterizados pelo crescimento lateral e degradação recifal, respectivamente. Ambos ocorreram durante a fase regressiva do final do Holoceno, quando o

crescimento vertical dos recifes ficou limitado pelo espaço de acomodação e os recifes começaram a se desenvolver lateralmente e onde foi, também, observado o desligamento de topos recifais.

Dechnick et al. (2019) apresenta um estudo mais detalhado sobre o processo evolutivo dos recifes da plataforma interna no máximo transgressivo holocênico na Costa Brasileira, ocorrido nos últimos 5 mil anos. Os autores usam sondagens curtas de até 1m para investigar processos de crescimento e/ou degradação e parada de crescimento recifal em Abrolhos nos últimos 5-6 mil anos. Os testemunhos foram coletados em três recifes costeiros e 63 idades radiocarbono foram usadas. Os resultados mostram que o crescimento e desligamento dos recifes costeiros de Abrolhos não foram síncronos, ou seja, os recifes não alcançaram o nível do mar ao mesmo tempo e não desligaram ao mesmo tempo. Os autores ainda mostram que o recife de Coroa Vermelha teria atingido o nível do mar em torno de 4.000 anos antes do presente, enquanto Sebastião Gomes e Pedra Grande, só teriam atingido o nível do mar entre 2.000 e 1.000 anos AP. Porém o principal resultado apontado pelos autores foi que há um hiato de crescimento recifal em Abrolhos entre 3.700 e 2.500 anos AP. Neste intervalo de tempo, há um desligamento recifal em Abrolhos. Esse desligamento pode ser associados flutuações climáticas e pequenas flutuações do nível do mar, também observadas em outras regiões do hemisfério sul. Um desdobramento desse trabalho, Dechnik et al. (no prelo) mostra que após esse hiato de crescimento recifal, há uma mudança na composição dos recifes, quando *Siderastrea stellata* se torna o coral dominante nos registros coletados.

A partir dos dados obtidos de dois furos coletados em dois recifes costeiros de Abrolhos (Coroa Vermelha e Paredes), essa tese aponta para um modelo de desenvolvimento recifal que não necessariamente se repete para todos os recifes costeiros de Abrolhos. Os resultados do modelo de idade radiocarbono por profundidade, para Coroa Vermelha e Pedra Grande, indicam que esses recifes se desenvolveram de forma distinta em momentos e profundidades também distintos no Holoceno. Os resultados aqui apresentados apontam que Coroa Vermelha teve um processo de crescimento semelhante ao que foi apresentado por Leão (1982), Leão e Ginsburg (1997) e Leão et al. (2003), porém os resultados de Pedra Grande mostram um processo distinto.

A base do testemunho coletado em Pedra Grande não alcança o limite Holoceno-Pleistoceno, mas a colônia de coral datada na base do testemunho apresenta uma idade em torno de 6-7 mil anos, assim como ocorre em Coroa Vermelha. Entretanto, esse coral representa uma profundidade de cerca de 18m, enquanto a mesma faixa de idade para Coroa Vermelha apresenta uma profundidade em torno de 10m. Tanto essa Tese, quanto Leão e Ginsburg (1997) e D'Agostini et al. (2015) mostram que o limite Holoceno-Pleistoceno em Coroa Vermelha ocorre em torno de 13m de profundidade. Isso indica que não há, necessariamente, um controle topográfico para distribuição dos recifes costeiros de Abrolhos, ou pelo menos, para alguns desses recifes em específico. Além disso, essa Tese traz para o contexto algo que não havia sido ainda considerado nos modelos evolutivos recifais de Abrolhos: a presença e distribuição de recifes afogados.

O entendimento da real distribuição de recifes em Abrolhos começou a se dar a partir do mapeamento dos recifes submersos, o que foi primeiramente apresentado por Moura et al. (2013) e posteriormente por Ferreira et al. (2020) e Menandro et al. (2020). Combinando os resultados de início de crescimento recifal em Pedra Grande com os dados de melhor detalhamento regional da batimetria e de mais alta resolução de sonar de varredura lateral, essa Tese aponta para o fato de que o recife de Pedra Grande não está, necessariamente, alinhado com os três parcéis menores (Nova Viçosa, Coroa Vermelha e Sebastião Gomes). Percebe-se que a distribuição de pináculos e bancos recifais submersos seguem a direção do recife de Pedra Grande, que não é a mesma direção dos parcéis menores. Isso traz uma nova perspectiva sobre o crescimento recifal na porção mais costeira, e talvez se deva até considerar um terceiro arco, marcado por recifes submersos até o recife de Pedra Grande/Paredes. Soma-se a isso uma perspectiva de se entender melhor as profundidades de início de crescimento recifal, ou seja, qual foi a paleo-profundidade máxima em Abrolhos. Até aqui, temos esse registro de 18m em Pedra Grande.

Ainda no que tange a sequência recifal holocênica apresentada aqui nessa Tese, os resultados mostram que durante todo o Holoceno, o recife de Coroa Vermelha teve uma grande influência de aporte terrígeno e não há uma evidência clara de sequência do tipo shallowing up, quando analisamos os construtores recifais. A não ocorrência de uma sequência típica de shallowing up é mais um comportamento distinto dos recifes de Abrolhos para os recifes do Indo-Pacífico e do Caribe (Camoin e Webster, 2014). Também não foi observado de forma clara nos testemunhos recifais holocênicos desta Tese, uma mudança de dominância de corais, talvez apenas em Pedra Grande se considerarmos a relação de *Siderastrea stellata* e *Montastraea cavernosa*, já que essa última espécie de coral tem como habitat preferencial as paredes dos recifes de Abrolhos, ou seja, áreas mais sombreadas.

Considerando ainda os recifes holocênicos de Abrolhos, o modelo idade x profundidade obtido em Pedra Grande aponta para o fato de que não houve, necessariamente, uma total parada de crescimento recifal no intervalo apontado por Dechnik et al. (2019). Entre 3.700 e 2.500 anos BP, o recife Pedra Grande cresceu cerca de 9m, ou seja, entre 12m até cerca de 3m de profundidade abaixo do nível do mar. Os resultados dessa Tese mostram que o hiato no crescimento recifal deve ter atingido diretamente os recifes que cresceram mais rápido, ou que começaram a crescer em profundidades menores, atingindo assim o nível do mar antes, o que foi o caso entre Coroa Vermelha e Pedra Grande. Um outro aspecto interessante dos resultados diz respeito à comparação com a composição dos recifes do arco externo. Bastos et al. (2018) mostram que nos últimos 2 mil anos, os briozoários tiveram um papel muito significativo como construtores da principal forma de edificação recifal da região, os pináculos. Essa dominância de briozoários no topo dos pináculos do arco externo de Abrolhos não foi observada nos recifes costeiros, seja nos trabalhos de Leão e Ginsburg (1997), Dechnik et al. (2019) ou nessa Tese.

Embora a análise dos recifes holocênicos de Abrolhos, desenvolvida nessa Tese, tenham trazido uma nova e importante contribuição para a discussão acerca da evolução holocênica dos recifes do Atlântico Sul, o aspecto totalmente inédito dessa Tese diz respeito ao estudo da evolução pleistocênica em recifes biogênicos do Brasil e do Atlântico Sul. A Tese permitiu uma primeira interpretação ou um primeiro entendimento sobre a evolução pré-holocênica associada aos recifes, algo que não havia sido feito ainda a partir de uma análise litoestratigráfica, com o suporte de proxies paleontológicos e mineralógicos.

O resultado mais importante da sequência estratigráfica pleistocênica foi o fato de que essa sequência não era inteiramente recifal ou carbonática. Observou-se que o recife holocênico de Coroa Vermelha cresceu por sobre um recife pleistocênico, cujo topo foi erodido e com clara evidência de recristalização. As interpretações apontam para que este recife pleistocênico tenha sido formado no MIS 5, ou seja, no último período inter-glacial, onde o nível do mar teria atingido o nível atual. A partir da análise composicional observada nessa Tese, foi possível mostrar que não há uma diferença significativa dos principais construtores recifais entre os recifes holocênico e pleistocênico, e que ambos são caracterizados pela grande influência de sedimentação terrígena. Qualitativamente, o recife pleistocênico parece ter sido mais exposto ao aporte sedimentar terrígeno, principalmente no início do seu crescimento, quando comparado ao recife holocênico.

A análise estratigráfica da sequência pleistocênica, a partir da interpretação paleoambiental das fácies descritas, aponta para o que poderia ser descrito como uma sedimentação cíclica de sedimentos terrígenos mistos para sedimentos mistos com ocorrência de fundos recifais e construção de estruturas recifais. Estratigraficamente abaixo do recife holocênico, os resultados mostram dois conjuntos estratigráficos formados por uma sequência de sedimentos terrígenos-mistos que mudam para um domínio carbonático no topo. A interpretação paleoambiental aponta sempre para um ambiente costeiro ou de plataforma rasa.

Uma das principais conclusões dessa Tese é que a região do recife de Coroa Vermelha, e que talvez possa ser extrapolada para toda a faixa de recifes costeiros de Abrolhos, só teve a instalação de dois

recifes contínuos, a partir do MIS 5, considerando que o registro máximo obtido nos furos de Coroa Vermelha atingiram não mais do que 250 mil anos. Essa mudança de padrão na evolução da área, pode ter sido justamente em função do crescimento recifal pleistocênico no MIS 5, que por ter alcançado um nível de mar mais alto durante o período inter-glacial, pode ter criado condições para o crescimento recifal nessa região. A presença de um recife pleistocênico pode ter gerado uma paleotopografia que permitiu o crescimento do recife holocênico na mesma posição.

Estes resultados mostram que a evolução da Plataforma Interna de Abrolhos se deu como consequência do balanço de forças entre as variações do nível do mar, o aporte terrígeno e as construções carbonáticas. A sondagem profunda trouxe à tona o quão complexa, diversa e única é a Plataforma Continental de Abrolhos, não sendo comparável a nenhuma outra plataforma continental considerada carbonática, podendo ser considerada um dos maiores laboratórios para investigação de ecossistemas recifais e sedimentação mista no mundo, mesmo sendo quase que exclusiva quando comparada às principais províncias recifais do mundo.

A grande biodiversidade presente hoje na Plataforma Continental de Abrolhos (PCA) e seus recifes associados atrai uma gama de pesquisadores e instituições. A grande maioria das pesquisas são associadas à investigação e entendimento dos processos ecossistêmicos recifais modernos, como intensas investigações sobre coberturas recifais, condições únicas de crescimento recifal, incrustações algais, endemismo coralíneo, overfishing, conservação ambiental, nichos ecológicos, aquecimento global e acidificação dos oceanos. Este trabalho, por sua vez, vem na contramão desta busca, mas sim, buscando entender o passado e as condições que deram subsídio para a construção do ecossistema encontrado hoje na plataforma e como ele se desenvolveu até aqui.

Ao perfurar o topo de um recife holocênico na PCA, o que se esperava como principal resultado era a presença de diferentes fácies estratigráficas recifais sobrepostas construindo a sequência carbonática do recife ao longo do tempo geológico. Porém, a grande presença de sedimentação terrígena e ausência de recifes pleistocênicos abaixo do Pleistoceno tardio, trouxeram um novo cenário de interpretação e entendimento da PCA.

A partir deste primeiro trabalho de sondagem/perfuração pleistocênica, muitas perguntas ainda surgem sobre sua evolução e desenvolvimento, principalmente sobre a evolução do ambiente recifal. Uma delas, e foco de muitas investigações em todo o mundo, é quando foi efetivamente o início recifal pleistocênico na plataforma. Ou seja, a partir de quando, no Pleistoceno, os recifes biogênicos começaram a fazer parte da morfologia da PCA? Com os resultados interpretados aqui não foi possível identificar este início, mas sim que os recifes e sua consequente produção de sedimentos carbonáticos estiveram presentes na Plataforma de Abrolhos nos últimos ~250.000 anos. No que diz respeito ao entendimento dos recifes holocênicos, uma das principais perguntas sobre o processo de crescimento recifal em Abrolhos, passa não só por mais sondagens nos recifes costeiros, mas principalmente, por sondagens nos recifes submersos.

Certamente, a busca pelo conhecimento da evolução e desenvolvimento de ambientes recifais é contínua e incessante, mas a contribuição científica deste trabalho para a evolução dos recifes de Abrolhos e do Brasil é significativa. Ao tempo que o Capítulo 1 aborda “new insights” sobre a evolução holocênica dos recifes, o Capítulo 2 apresenta a primeira abordagem para a evolução pleistocênica.

Referências

- Abbey, E.; Webster, J.M.; Beaman, R.J. (2011). **Geomorphology of Submerged Reefs on the Shelf Edge of the Great Barrier Reef: The Influence of Oscillating Pleistocene Sea-levels**. *Marine Geology*, 288.
- Alve, E. (1995). **Benthic Foraminiferal Responses to Estuarine Pollution: A Review**. *Journal of Foraminiferal Research* 25(3), 190-203.
- Amado-Filho, G. M.; Moura, R. L.; Bastos, A. C.; Salgado, L. T.; Sumida, P. Y.; Guth, A. Z.; Francini-Filho, R. B.; Pereira-Filho, G. H.; Abrantes, D. P.; Brasileiro, P. S.; Bahia, R. G.; Leal, R. N.; Kaufman, L.; Kleypas, J. A.; Farina, M.; Bahia, R. G. (2012). **Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical South West Atlantic**. *PLoS one* 7(4), e35171.
- Amado-Filho, G. M.; Bahia, R. G.; Mariath, R.; Jesionek, M. B.; Moura, R. L.; Bastos, A. C.; Pereira-Filho, G. H.; Francini-Filho, R. B. (2018). **Spatial and temporal dynamics of the abundance of crustose calcareous algae on the southernmost coral reefs of the western Atlantic (Abrolhos Bank, Brazil)**. *Algae* 33(1).
- Angulo, R.J.; Lessa, G.C. (1997). **The Brazilian Sea-Level Curves: A Critical Review with Emphasis on the Curves from Paranaguá and Cananéia Regions**. *Marine Geology* 140, 141-166.
- Angulo, R.J.; Lessa, G.C.; Souza, M. T. (2006). **A critical review of mid- to late-olocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline**. *Quaternary Science Reviews* 25, 486-506.
- Antunes, L. R.; Melo, G. H. J. (2001). **Micropaleontologia e estratigrafia de seqüências**. Em: Ribeiro, H. J. P. S. (Ed). *Estratigrafia de Seqüências: Fundamentos e Aplicações*. São Leopoldo: Editora Unisinos. p. 137-218.
- Bastos, A. C.; Amado-Filho, G. M.; Moura, R. L.; Sampaio, F. M.; Bassi, D.; Braga, R. C. (2016). **Origin and Sedimentary Evolution of the sinkholes (buracas) in the Abrolhos Continental Shelf, Brazil**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 465, 101 – 111.
- Bastos, A. C.; Moura, R. L.; Moraes, F. C.; Vieira, L. S.; Braga, J. C.; Ramalho, L. V.; Amado-Filho, G. M.; Magdalena, U. R.; Webster, J. M. (2018). **Bryozoans are Major Modern Builders of South Atlantic Oddly Shaped Reefs**. *Scientific Reports/Nature* 8:9638.
- Bastos, A. C.; Moura, R.L.; Amado-Filho, G.M.; D'agostini, D.P.; Secchin, N.A.; Francini-Filho, R.B.; Guth, A.Z.; Sumida, P.Y.G.; Mahiques, M.M.; Thompson, F.L. (2013). **Buracas: novel and unusual sinkhole-like features in the Abrolhos Bank**. *Continental Shelf Research* 70, 118–125.
- Bastos, A. C.; Quaresma, V. S.; Marangoni, M. B.; D'Agostini, D. P.; Bourguignon, S. N.; Cetto, P. H.; Amado Filho, G. M.; Moura, R. L., Collins, M. (2015). **Shelf Morphology as an indicator of sedimentar regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin**. *Journal of South American Earth Sciences* 63, 125-136.
- Bernat, M.; Martin, L.; Bittencourt; Vilas Boas, G. (1983). **Datations lo-U du plus haut niveau marin du dernier interglaciaire sur la côte du Brésil. Utilisation du 229Th comme traceur**. *C. R. Acad. Sc. Paris*. 197 – 200.
- Blanchon, P. and Blakeway, D. (2003). **Are catch-up reefs an artefact of coring?** *Sedimentology* 50, no. 6, 1271-1282.
- Bohn, H.L.; McNeal, B.L.; O'Connor, G.A. (1985). **Soil Chemistry**. 2nd ed. John Wiley & Sounds. New York.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S.; Wright, R. (1980). **Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic**. The Hague- Boston London, Dr. W. Junk bv Publishers, 131p.
- Braga, J. C.; Neira, A. D.; Lasseur, E.; Mediato, J.; Aguirre, J.; Abad, M.; Hernaiz-Huerta, P. P.; Monthel, J. Pérez-Valera, F.; Lopera, E. (2012). **Pliocene–Lower Pleistocene Shallow-Water Mixed Siliciclastics and Carbonates (Yanigua and Los Haitises Formations) in Eastern Hispaniola (Dominican Republic)**. *Sedimentary Geology*. 265 – 266, 182 – 194.

- Camoin, G.; Webster, J. M. (2014). **Coral Reefs and Sea-Level Change**. Em: Earth and Life Processes Discovered from Subseafloor Environments: A Decade of Science Achieved by the Integrated Ocean Drilling Program (IODP). *Developments in Marine Geology* 7, 395 – 432.
- Chamley, H. (1989). **Clay Sedimentology**. SpringerVerlag, Berlin.
- Coe, A.L. (2003). **The sedimentary record of sea-level change**, Cambridge University Press.
- Coffey, B. P.; Read, J. F. (2004). **Mixed carbonate–siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, southeastern USA**. *Sedimentary Geology* 166, 21-57.
- Correia, M.D (2010). **Scleractinian Corals (Cnidaria: Anthozoa) from Reef Ecosystems on the Alagoas Coast, Brazil**. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*.
- Crame, J. (1981). **Ecological stratification in the Pleistocene coral reefs of the Kenya coast**. *Palaeontology* 24, 609-646.
- Culver, S.J.; Buzas, M.A. (1995). **The Effect of Anthropogenic Habitat Disturbance, Habitat Destruction, and Global Warming on Shallow Marine Benthic Foraminifera**. *Journal of Foraminiferal Research* 25(3), 204-211.
- D'Agostini, D. P.; Bastos, A. C.; Reis, A. T. (2015). **The modern mixed carbonate–siliciclastic Abrolhos Shelf: Implications for a mixed depositional model**. *Journal of Sedimentary Research* 85, 124–139.
- D'Agostini, D. P. (2017). **A Plataforma Continental de Abrolhos: Contexto Paleoambiental, Sismoestratigrafia E Domínios Sedimentares**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Oceanografia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Davidson, O. G. (1998). **The Enchanted Braid. Coming to the Terms with Nature on the Coral Reef**. Universidade de Heidelberg, Alemanha.
- Debenay, J.P.; Duleba, W.; Bonetti, C.; Melo e Souza, S.H.; Eichler, B.B. (2001). **Pararotalia cananeaensis n.sp.: Indicator of Marine Influence and Water Circulation in Brazilian Coastal and Paralic Environments**. *Journal of Foraminiferal Research* 31(2), 152-163.
- Debenay, J.P.; Eichler, B.B.; Duleba, W. & Bonetti, C. (1998). **Water Stratification in Coastal Lagoons: Its Influence on Foraminiferal Assemblages in Two Brazilian Lagoons**. *Marine Micropaleontology* 35, 67-89.
- Dechnik, B.; Bastos, A.C.; Vieira, L.S.; Webster, J.M.; Fallon, S.; Yokoyama, Y.; Braga, J. C.; Batista, J.; Moura, R.; Amado-Filho, G. (no prelo). **A new model of Holocene reef growth from the South Atlantic**. *Coral Reefs*.
- Dechnik, B.; Bastos, A.C.; Vieira, L.S.; Webster, J.M.; Fallon, S.; Yokoyama, Y.; Nothdurft, L.; Sonborn, K.; Batista, J.; Moura, R.; Amado-Filho, G. (2019). **Holocene reef growth in the tropical southwestern Atlantic: Evidence for sea level and climate instability**. *Quaternary Science Reviews* 218, 365-377.
- Dechnik, B.; Webster, J. M.; Webb, G. E.; Nothdurft, L.; Dutton, A.; Braga, J.C.; Zhao, J. X.; Duce, S.; Sadler, J. (2017). **The evolution of the Great Barrier Reef during the Last Interglacial Period**. *Global and Planetary Change* 149, 53-71.
- Díaz, T. L.; Rodrigues, A. R.; Eichler, B. B. (2014). **Distribution of foraminifera in a subtropical Brazilian estuarine system**. *Journal of Foraminiferal Research*, Washington 44, n. 2, p. 90-108.
- Dominguez, J. M. L. (2009). **In Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil Lecture Notes in Earth Sciences**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Ch. 2, XVI, 380.
- Droxler, A. W.; Jorry, S. J. (2013). **Deglacial Origin of Barrier Reefs Along Low-Latitude Mixed Siliciclastic and Carbonate Continental Shelf Edges**. *Annual Review of Marine Sciences* 5, 165–90.

- Dunbar, G. B.; Dickens, G. R. (2003). **Late Quaternary shedding of shallow-marine carbonate along a tropical mixed siliciclastic–carbonate shelf: Great Barrier Reef, Australia.** *Sedimentology* 50, 1061-1077.
- Dunham, R.J. (1962). **Classification of carbonate rocks according to depositional texture.** In Ham, W.E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. AAPG Mem. 1, 108–121.
- Eberl, D.; Hower, J. (1976). **Kinetics of Illite Formation.** *Geol. Soc. Am. Bull.* 87, 1326–1330.
- Edmunds, P. J. (1998). **The role of colony morphology and substratum inclination in the success of *Millepora alcicornis* on shallow coral reefs.** *Coral Reefs* 18, 133-140.
- Eichler, P.P.B.; Rodrigues, A.R.; Eichler, B.B.; Braga, E.S.; Campos, E.J.D. (2012). **Tracing Latitudinal Gradient River Discharge and Water Masses Along the Subtropical South American Coast Using Benthic Foraminifera Assemblages.** *Brazilian Journal Biology* 72(3), 723-759.
- Embry, A.F.; Klovan, J.E. (1972). **Absolute water depth limits of late Devonian paleoecological zones.** *Geol. Rundsch.* 61(2), 672–686.
- Ferreira, T. S.; de Araújo, M. N. C.; da Silva, F. C. A. (2014). **Cenozoic folding in the Cumuruxatiba basin, Brazil: An approach to the deformation trigger by the Abrolhos magmatism.** *Marine and Petroleum Geology* 54, 47-64.
- Ferreira, L. C.; Bastos, A. C.; Amado Filho, G.M; Leite, M.D.A.; Boni, G.C.; Moraes, F.C.; Secchin, N.; Vieira, L.S.; Bahia, R.; Oliveira, N.;Quaresma, V. S.; Moura, R. L. (2020). **Submerged Reefs in the Abrolhos shelf: Morphology and Habitat Distribution.** *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats.* Ed. Harries and Baker. 519-532.
- Figueiredo, M.A.O.; Horta, P.A; Pedrini, A.G.; Nunes, J.M.C. (2008). **Benthic Marine Algae of the Coral Reefs Of Brazil: A Literature Review.** *Oecologia Brasil*, 12.
- Figueiredo, M.A.O.; Steneck, R. S. (2000). **Floristic and ecological studies of crustose coralline algae on Brazil's Abrolhos reefs.** *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia* 1, 23 – 27.
- Flamand, Benoit; Cabioch, Guy; Payri, Claude; et al. (2008). **Nature and biological composition of the New Caledonian outer barrier reef slopes.** *Marine Geology* 250, 157-179.
- França, R. L.; Del Rey, A. C.; Tagliari, C. V.; Brandão, J. R.; Fontanelli, P. D. R. (2007). **Bacia do Espírito Santo.** *Boletim de Geociencias da Petrobras* 15(2), 501-509.
- Francini-Filho, R. B.; Coni, E. O. C.; Meirelles, P. M.; Amado-Filho, G. M.; Thompson, F. L.; Pereira-Filho, G. H.; Bastos, A. C.; Abrantes, D. P.; Ferreira, C. M.; Zibrán, F. Z.; Guth, A. Z.; Simida, P. Y. G.; Oliveira, N. L.; Kaufman, L.; Mente-Vera, C. V.; Moura, R. L. (2013). **Dynamics of coral reef benthic assemblages of the Abrolhos Bank, eastern Brazil: inferences on natural and anthropogenic drivers.** *PLoS One* 8, e54260.
- Francis, J. M.; Dunbar, G. B.; Dickens, G. R.; Sutherland, I. A.; Droxler, A. W. (2007). **Siliciclastic sediment across the North Queensland Margin (Australia): A holocene perspective on reciprocal versus coeval deposition in tropical mixed siliciclastic–carbonate systems.** *Journal of Sedimentary Research* 77, 572–586.
- Ghisolfi, R. D. et al. (2015). **Physical forcing mechanisms controlling the variability of chlorophyll-a over the Royal-Charlotte and Abrolhos Banks-Eastern Brazilian Shelf.** *PLoS One* 10, e0117082.
- Gischler, E. (2007). **Pleistocene facies of Belize barrier and atoll reefs.** *Facies* 53, 27-41.
- Gishler, E.; Ginsburg, R. N.; Herrle, J. O.; Prasad, S. (2010). **Mixed Carbonates and Siliciclastics in the Quaternary of Southern Belize: Pleistocene Turning Points in Reef Development Controlled by Sea-Level Change.** *Sedimentology* 57, 1049-1068.

- Guan, Y.; Hohn, S.; Merico, A. (2015). **Suitable Environmental Ranges for Potential Coral Reef Habitats in the Tropical Ocean**. Plos One 10, e0128831.
- Hallam, A. (1984). **Continental humid and arid zones during the Jurassic and Cretaceous**. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 47, 195–223.
- Hartt, C.F. (1870). **Geology and Physical Geography of Brazil**. Boston, Fields, Osgood and Co. 620p
- Hemleben, C.; Spindler, M.; Eerson, O.R. (1989). **Modern planktonic foraminifera**. New York: Springer-Verlag, 363 p.
- Hopley, D. (2011). **Encyclopedia of Modern Coral Reefs**. Springer Science + Business.
- Hopley, D.; Smithers, S. G.; Parnell, K. E. (2007). **The Geomorphology of the Great Barrier Reef: Development, diversity and change**. Cambridge University Press.
- Jesionek, M.B.; Bahia, R. G.;Hernández-Kantún, J. J.; Adey, W. H.;Yoneshigue-Valentin, Y.;Longo, L. L.; Amado-Filho, G. M. (2016). **A taxonomic account of non-geniculate coralline algae (Corallinophycidae, Rhodophyta) from shallow reefs of the Abrolhos Bank, Brazil**. Algae 31 (4).
- Jones, R. W. (1994). **The Challenger Foraminifera**. Oxford University Press, Oxford, 149pp.
- Laborel J.L. (1969). **Madréporaires et Hydrocoralliaires Récifaux des Côtes Brésiliennes**. Systématique, écologie, repartition vertical et Géographie. Ann. Inst. Oceanogr. Paris 47,171 – 229.
- Lambeck, K; Chappell, J. (2001). **Sea level change through the last glacial cycle**. Science, 292.
- Leão, Z.M.A.N. (1982). **Morphology, Geology and Developmental history of the southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos bank, Brazil**. Thesis of Philosophy. University of Miami.
- Leão, Z.M.A.N. (2002). **Abrolhos, BA: O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul**. Sítios Geológicos E Paleontológicos Do Brasil. Brasília.
- Leão, Z.M.A.N.; Ginsburg, R.N. (1997). **Living Reefs Surrounded by Siliciclastic: The Abrolhos Coastal Reefs, Bahia, Brazil**. Coral Reef Symposium, 2.
- Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P. (2005). **A relic coral fauna threatened by global changes an human activities, Eastern Brazil**. Marine Pollution Bulletin 51, 599-611.
- Leão, Z.M.A.N.; Kikuchi, R.K.P.; Engelberg, E.F. (1997). **Internet Guide to the Corals and Hydrocorals of Brazil**. <http://www.cpgg.ufba.br/guia-corais/>
- Leão, Z.M.A.N.; Kikuchi, R.K.P.; Testa, V. (2003). **Corals and coral reefs of Brazil**. J. (Ed.), Latin America Coral Reefs. Elsevier Science.
- Leite, M. D. A. (2015). **Faciologia Inter-Recifal e Geomorfologia dos Recifes Submersos da Plataforma Interna de Abrolhos, Bahia – Brasil**. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Leoblich Jr. A.; Tappan, H. (1994). **Foraminifera of the Sahul Shelf and Timor Sea**. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication 0(31), 1-661.
- Lighty, R.G.; Macintyre, I.G.; Stuckenrath, R. (1982). **Acropora palmata reef framework: A reliable indicator of sea-level in the western Atlantic for the past 10,000 years**. Coral Reefs 1, 1 - 125.
- Liu, J.P.; Millimam, J.D.; Gao, S.; Cheng, P. (2004). **Holocene developmentof the yellow River's subaqueous delta, North yellow Sea**. Mar. Geol. 209, 45 - 67.

- Liu, S.; Mi, B.; Fang, X.; Li, X.; Pan, H-P.; Chen, M-T.; Shi, X. (2017). **A Preliminary Study of a Sediment Core Drilled From the Mud Area on the Inner Shelf of the East China Sea: Implications for Paleoclimatic Changes During the fast Transgression Period (13 Ka B.P.E8 Ka B.P.)**. Quaternary International. 1 - 16.
- Liu, Z.; Zhao, Y.; Colin, C.; Stattegger, K.; Wiesnerd, M. G.; Huhe, C-A.; Zhanga, Y.; Lia, X.; Sompongchaiyakul, P.; Youg, C-F.; Huang, C-H.; Liuh, J.T.; Siringan, F.P.; Lej, K. P.; Sathiamurthyk, E.; Hantorol, W. S.; Liu, J.; Tuo, S.; Zhao, S.; Zhoua, S.; Hea, Z.; Wang, Y.; Bunsomboonsakul, S.; Lia, Z. (2016). **Source-to-Sink Transport Processes of fluvial Sediments in the South China Sea**. Earth-Science Reviews 153, 238–273.
- Lopes, R. M.; Castro, B. M. (2013). **Oceanography, ecology and management of Abrolhos Bank**. Continental Shelf Research 70, 1-2.
- Macedo, M.C.; Vilela, C.G.; Labre, N.S.; Lourenço, M.C. (2017). **The Restinga of Jurubatiba Lagoons, Rio de Janeiro State**. Anuário do Instituto de Geociências 40 (3), 266-280.
- Mackensen, A.; Schmiedl, G.; Harloff, J.; Giese, M. (1995). **Deepsea Foraminifera in the South Atlantic Ocean: ecology and assemblage generation**. Microplaeontology, 41, 342- 358.
- Martin, L. (2003). **Holocene Sea-Level History Along Eastern-Southeastern Brazil**. Anuário do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Martin, L.; Flexor, J. M.; Vilas Boas, G. S.; Bittencourt, A. C. S.; Guimarães, M. M. M. (1979). **Courbe du Niveau Relatif de la Mer au Cours des 7000 Dernieres Années sur um Secteur Homogene du Litoral Brésilien (Nord de Salvador-Bahia)**. Internation Syposium on Coastal Evolution in the Quaternary. 264 – 274.
- Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J-M. (1988). **Hauts Niveaux Marins Pleistocenes du Litoral Bresilien**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 68, 231 – 239.
- Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J-M.; Bittencourt, A. C. S. P.; Vilas Boas, B. S. (1980). **Le Quaternaire Marin Brésilien (Littoral Paulista, Sud Fluminense et Bahianais)**. Cahier Orstom, Ser. Geologie 11, 95 – 124.
- McKinley, J. M.; Worden, R. H.; Ruffell, A. H. (2003). **Smectite in Sandstones: A Review of the Controls on Occurrence and Behaviour During Diagenesis**. Em Clay Cementation in Sandstones. International Association of Sedimentologists Special Publication 34, 109 – 128.
- Melo, U.D.; Summerhayes, C.; Ellis, J.P. (1975). **Upper continental margin sedimentation off Brazil, Part IV: Salvador to Vitoria, Southeastern Brazil: Contributions to Sedimentology 4, 78-116**.
- Menandro, P. S.; Bastos, A. C.; Boni, G.; Ferreira, L. C.; Vieira, F. V.; Lavagnino, A. C.; Moura, R. L.; Diesing, M. (2020) **Reef Mapping Using Different Seabed Automatic Classification Tools**. Geosciences. 72.
- Mesolella, K. J. (1967). **Zonation of uplifted Pleistocene coral reefs on Barbados, WestIndies**. Science 156, 638-640.
- Mesolella, K. J.; Sealy, H. A.; Matthews, R. K. (1970). **Facies geometries within Pleistocene reefs of Barbados, West Indies**. Am Assoc Petrol Geol Bull 54, 1899-1917.
- Milliman, J. D. (1977). **Role of Calcareous Algae in Atlantic Continental Margin Sedimentation**. Fossil Algae. Springer-Verlag Berlin – Heidelberg. 232-247.
- Mishra, P. K.; Ankit,Y.; Gautamc, P.K.; Lakshmidivi, C.G.; Singh, P.; Anoop, A. (2019). **Inverse relationship between south-west and north-east monsoon during the late Holocene: Geochemical ands edimentological record from Ennamangalam Lake, southern India**. Catena 182.
- Montaggioni L.F.; Braithwaite, C.J. R. (2009). **Quaternary Coral Reef Systems**. Elsevier.
- Montaggioni, L.F. (2005). **History of Indo-Pacific Coral Reef Systems Since the Last Glaciation: Development Patterns and Controlling Factors**. Earth Science Reviews 71.

Morsilli, M.; Bosellini, F. R.; Pomar, L.; Hallock, P.; Aurell, M.; Papazzoni, C. A. (2011). **Mesophotic Coral Buildups In a Prodelta Setting (Late Eocene, Southern Pyrenees, Spain): A Mixed Carbonate–Siliciclastic System.** *Sedimentology*.

Moura, R. L.; Secchin, N. A.; Amado-Filho, G. M.; Francini-Filho, R. B.; Freitas, M. O.; Minte-Vera, C. V.; Teixeira, J.B.; Thompson, F.L.; Dutra, G.F.; Sumida, P.Y.G.; Guth, A.Z.; Lopes, R.M.; Bastos, A.C.; Guth, A. Z. (2013). **Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank.** *Continental Shelf Research*, 70, 109-117.

Murray, J.W. (2006). **Ecology and Applications of Benthic Foraminifera.** Cambridge University Press, New York, 426p.

Novak, V.; Santodomingo, N.; Rosler, A.; Di Martino, E.; Braga, J. C.; Taylor, P. D.; Johnson, K. G.; Renema, W. (2013). **Environmental reconstruction of a late Burdigalian (Miocene) patch reef in deltaic deposits (East Kalimantan, Indonesia).** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 374, 110–122.

Novak, V.; Santodomingo, N.; Rosler, A.; Di Martino, E.; Braga, J. C.; Taylor, P. D.; Johnson, K. G.; Renema, W. (2013). **Environmental Reconstruction of a Late Burdigalian (Miocene) Patch Reef in Deltaic Deposits (East Kalimantan, Indonesia).** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 374, 110 – 122.

Oliveira, M. D. M.; Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P. (2008). **Cultivo de *Millepora alcicornis* como uma ferramenta para restauração e manejo dos Ecossistemas Recifais do nordeste do Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8(2), 183-201.

Pandolfi, J. (1996). **Limited membership in Pleistocene reef coral assemblages from the Huon Peninsula, Papua New Guinea: constancy during global change.** *Paleobiology* 22, 153-176.

Pinheiro H. T.; Rocha, L. A.; Macieira, R. M.; Carvalho-Filho, A.; Anderson, A. B.; Bender, M. G.; Dario, F. D.; Ferreira, C. E. L.; Figueiredo-Filho, J.; Francini-Filho, R.; Gasparini, J. L.; Joyeux, J. C.; Luiz, O. L.; Mincarone, M. M.; Moura, R. L. Nunes, J. A. C. C.; Quimbayo, J. P.; Rosa, R. S.; Sampaio, C. L.; Sazima, I.; Simon, T.; Vila-Nova, D. A.; Floeter, S. R. (2018). **South-western Atlantic reef fishes: Zoogeographical patterns and ecological drivers reveal a secondary biodiversity centre in the Atlantic Ocean.** *Diversity and Distributions* 24, 951 – 965.

Posamentier, H.W.; Vail, P.R. (1988). **Eustatic control on clastic deposition II — sequence and system tracts models.** Em: *Sea Level Changes: An Integrated Approach.* SEPM Special Publication. 125–154.

Rabineau, M.; Berné, S.; Olivet, J. L.; Aslanian, D.; Guillocheau, F.; Joseph, P. (2006). **Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr).** *Earth and Planetary Science Letters* 252(1), 119-137.

Ribeiro, F. V.; Sá, J. A.; Fistarol, G. O.; Salomon, P. S.; Pareira, R. C. Souza, M. L. A.; Neves, L. M., Amado-Filho, G. M.; Francini-Filho, R. B., Salgado, L. T. (2018). **Long-term Effects of Competition and Environmental Drivers on the Growth of the Endangered Coral *Mussismilia braziliensis* (Verrill, 1867).** *PeerJ* 6, e5419.

Rodrigues A.R.; Díaz T.L.; Pellizari V.H. (2014). **Living Foraminifera in a Brazilian Subtropical Coastal Environment (Flamengo Inlet, Ubatuba, São Paulo State–Brazil).** In: Kitazato H., M. Bernhard J. (eds) *Approaches to Study Living Foraminifera.* Environmental Science and Engineering. Springer, Tokyo.

Rodrigues, A.R.; Oliveira, K.S.S.; Eichler, P.P.B. (2020). **Living benthic foraminiferal assemblages monitored monthly in a tide-dominated estuary, Bertioga Channel, Brazil.** *Journal of Sedimentary Environments* 5, 117–135.

Rohling, E. J.; Grant, K.; Bolshaw, M.; Roberts, A. P.; Siddall, M.; Hemleben, C.; Kucera, M. (2009). **Antarctic temperature and global sea level closely coupled over the past five glacial cycles.** *Nature Geoscience* 2, 500–504.

- Ruffell, A.; McKinley, J. M.; Richard, H. W. (2002). **Comparison of Clay Mineral Stratigraphy to Other proxy Paleoclimate Indicators in the Mesozoic of NW Europe**. Philosophical Transactions of The Royal Society 360, 675 – 693.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Pendón, J.G.; Abad, M.; Olías, M.; Muñoz, J.M. (2005). **Correlation Between Foraminifera and Sedimentary Environments in Recent Estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene Reconstructions**. Quaternary International, 140-141, 21-36.
- Santodomingo, N.; Novak, V.; Pretovic, V.; Masshall, N.; Diu Martino, E.; Capelli, E. G.; Rosler, A.; Reich, S.; Brage, J. C.; Renema, W.; Johnson, K. G. (2015). **A Diverse Patch Reef from Turbid Habitats in the Middle Miocene (East Kalimantan, Indonesia)**. Palaios 30, 128–149.
- Schlager, W. (2005). **Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy (No. 8)**. SEPM Soc for Sed Geology.
- Segal, B.; Evangelista, H.; Kampel, M.; Gonçalves, A. C.; Polito, P. S.; Santos, E. A. (2008). **Potential Impacts of Polar Fronts on Sedimentation Processes at Abrolhos coral Reef (South-West Atlantic Ocean/Brazil)**. Continental Shelf Research 28, 533-544.
- Sen Gupta, B. K.; Turner, R. E.; Rabalais, N. N. (1996). **Seasonal Oxygen Depletion in Continental-shelf Waters of Louisiana: Historical Record of Benthic Foraminifers**. Geology 3, 227- 230.
- Sen Gupta, B.K.; Machain-Castilho, M.L. (1993). **Benthic Foraminifera in Oxygen-poor Habitats**. Marine Micropaleontology 20, 183-201.
- Shackleton, N. J. (2000). **The 100,000 year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbital eccentricity**. Science 289, 1897 – 1902.
- Siddall, M.; Chappell, J.; Potter, E. K. (2006). **Eustatic sea level during past interglacials, in The Climate of Past Interglacials**. Elsevier, Amsterdam. 75–92.
- Sobreira, J. F. F.; França, R. L. (2005). **A tectono-magmatic model for the Abrolhos Volcanic Complex region**, Bol. Geocienc. Petrobras 14(1), 143–147.
- Sobreira, J.F.F.; França, R.L. (2006). **Boletim de Geociencias da Petrobras**.
- Spalding, M. D.; Fox, H. E.; Allen, G. R.; Davidson, N.; Ferdeña, Z. A.; Fiunlayson, M.; Halpern, B. S.; Jorge, M. A.; Lombada, A.; Lourie, S. A.; Martin, K. D.; McManus, E.; Molnar, J.; Recchia, C. A.; Robertson, J. (2007). **Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas**. BioScience 57, 573–583.
- Spratt, R. M.; Lisiecki, L.E. (2016). **A Late Pleistocene Sea Level Stack**. Climate of the Past. 12, 1079 – 1092.
- Thiry, M. (2000). **Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin**. Earth Sci. Rev. 49, 201–222.
- Toscano, M. A.; Macintyre, I. G. (2003). **Corrected western Atlantic sea-level curve for the last 11,000 years based on calibrated 14C dates from Acropora palmata framework and intertidal mangrove peat**. Coral Reefs 22, 257–270.
- Vicalvi, M. A.; Costa, M. P. A.; Kowsmann, R. O. (1978). **Depressão de Abrolhos: uma paleolaguna holocênica na plataforma continental leste brasileira**. Bol. Tec. Petrobrás 21(4), 279-286.
- Vieira, F. V.; Bastos, A. C.; Quaresma, V. S.; Leite, M. D.; Costa Jr., A.; Oliveira, K. S. S.; Dalvi, C. F.; Bahia, R. G.; Holz, V. L.; Moura, R. L.; Amado Filho, G. M. (2019). **Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns**. Continental Shelf Research. 187.
- Vilela, C.G.; Ázaro, A.S.; Amado-Filho, G. (2019). **Macroforaminíferos em Rodolitos na Cadeia Vitória-Trindade, Atlântico Sul, Margem Leste Brasileira**. UNESP Geociências 38 (3), 787-794.

Webster, J.M.; Clague, D.A.; Riker-Coleman, K.; Gallup, C.; Braga, J.C.; Potts, D.; Moore, J.G.; Winterer, E.L.; Paull, C.K. (2004). **Drowning of the –150 m reef off Hawaii: a casualty of global meltwater pulse 1A?** *Geology* 32(3), 249–252.

Webster, J.M.; Davies, P.J. (2003). **Coral Variation in two drill cores: Significance for the Pleistocene Development of the Great Barrier Reef.** *Sedimentary Geology* 159, 61-80.

Webster, J.M.; Yokoyama, Y.; Cotterill, C.; (2011). **Scientists Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program.** Volume 325.

Wignall, P. B.; Ruffell, A. H. (1990). **The Influence of a Sudden Climatic Change on Marine Deposition in the Kimmeridgian of Northwest Europe.** *J. Geol. Soc. Lond.* 147, 365–371.

Wilson, J.L. (1967). **Cyclic and Reciprocal Sedimentation in Virgilian Strata of Southern New Mexico.** *Geological Society of America Bulletin* 78(7), 805-818.

Woodroffe, C. D.; Brooke, B. P.; Linklater, M.; Kennedy, D. M.; Jones, B. G.; Buchanan, C.; Mleczko, R.; Hua, Q.; Zhao, J. (2010). **Response of coral reefs to climate change: Expansion and demise of the southernmost Pacific coral.** *Geophysical research letters*, 37: L15602.

Woodroffe, C. D.; Webster, J. M. (2014). **Coral reefs and sea-level change.** *Marine Geology* 352, 248-267.

Yanko V.; Kronfel, J.; Flexer, A. (1994). **Response of Benthic Foraminifera to Various Pollution Sources: Implications for Pollution Monitoring.** *Journal of Foraminiferal Research* 24, 1-17.

Apêndice 1

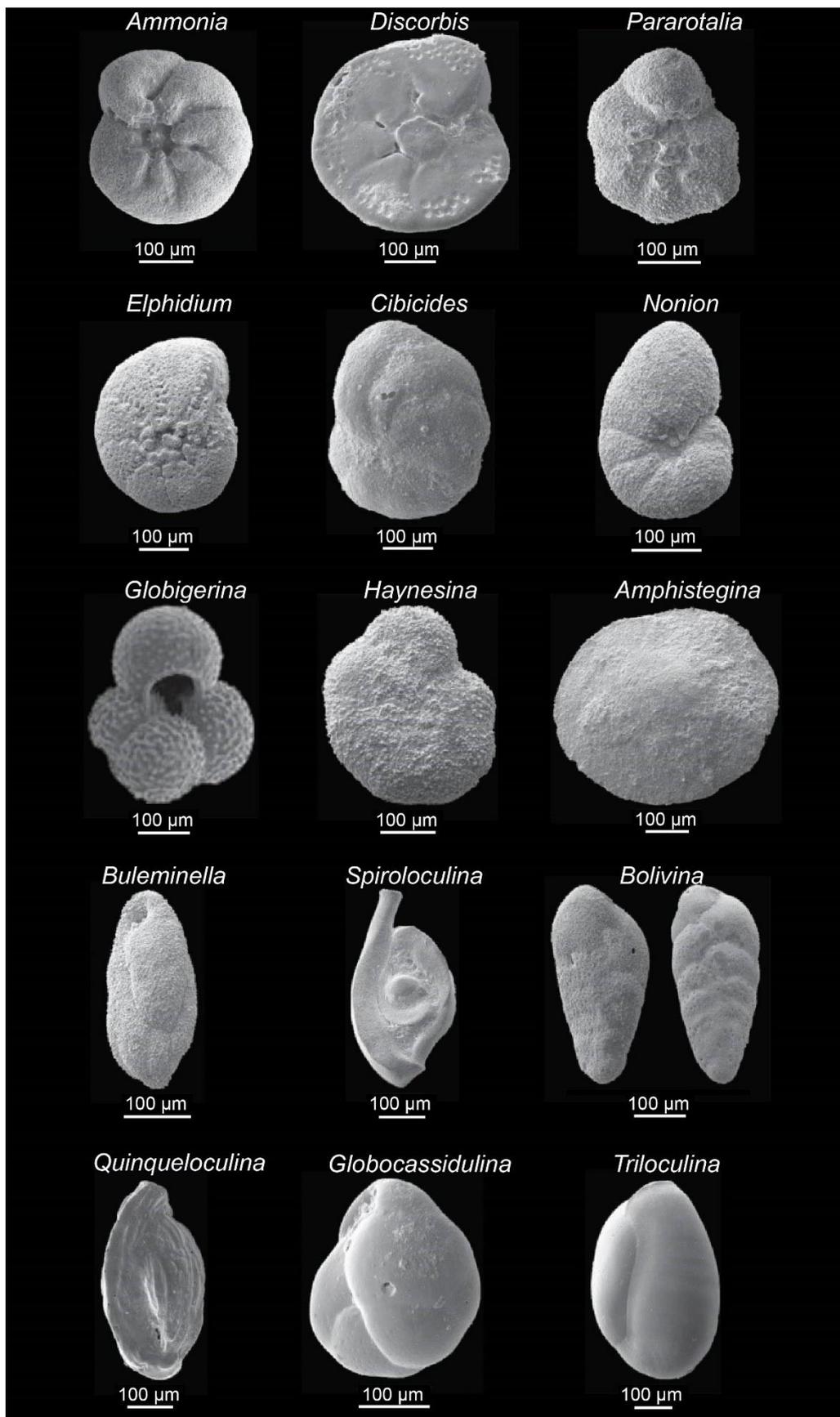
A) Classificação quali-quantitativa de foraminíferos para amostras analisadas dos testemunhos CV1 e CV2.

Testemunho	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2
Profundidade	13.5 - 15m (4-26cm)	22.5 - 24m (1cm)	31.5 - 33m (1) (9cm)	31.5 - 33m (2) (62cm)	31.5 - 33m (3) (93cm)	33 - 34.5m (1cm)	34.5 - 36m (1) (1cm)	34.5 - 36m (2) (26cm)	36 - 37.5m (12cm)	37.5 - 39m (30cm)	39 - 40.5m (14cm)	40.5 - 42m (21cm)	42 - 43.5m (33cm)	19.5 - 21m (11cm)	21 - 22.5m (58cm)	22.5 - 25m (148cm)	31 - 32m (14cm)	32.5 - 34m (50cm)	38.5 - 40m (44cm)	41.5 - 43m (1) (1cm)	41.5 - 43m (2) (15cm)	41.5 - 43m (3) (52cm)	43 - 46m (6cm)
Total de foraminíferos	49	16	17600	3	0	210	3232	2784	1504	4976	67	8640	1252	35904	275200	59462	90	2912	99	88	189	102	3168
Riqueza das espécies	26	14	37	1	0	42	33	18	31	29	19	31	38	27	39	17	22	22	24	16	30	9	37
Foraminíferos/g	6,7	1,3	949,7	0,2	0,0	21,9	334,5	131,7	135,6	299,0	3,3	856,6	58,0	2591,2	19076,7	7146,9	8,4	212,4	17,3	6,8	12,8	NO DATA	474,1
Miliolídeos (FBM)	20,4	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	1,0	0,0	3,2	0,0	1,8
Calcário hialinos (FBH)	71,4	50,0	97,8	100,0	0,0	92,4	97,5	100,0	89,9	100,0	98,5	98,9	99,7	99,2	98,4	100,0	90,0	96,7	40,4	97,7	95,2	97,1	77,0
Aglutinantes (FBA)	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	56,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Foraminíferos Planctônicos (FP)	6,1	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,3	0,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,9	0,5
Foraminíferos Bentônicos (FB)	93,9	87,5	97,8	100,0	0,0	99,0	98,5	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	99,7	99,2	98,5	100,0	98,9	100,0	99,0	97,7	98,9	97,1	99,2
Foraminífero não identificável		12,5				1,0											1,1		1,0	2,3			0,3
Foraminíferos planctônicos <i>Globorotalia</i>			2,2				1,5					1,1	0,3	0,8	1,5						1,1	2,9	0,5
FP <i>truncatulinoides</i>	2,0																						
FP <i>Globgerina</i> sp.	2,0																						
FP <i>Tenuitella</i> sp.	2,0																						
Foraminíferos aglutinantes		6,3															8,9		2,0				
<i>Ammobaculites</i>																							
FBA spp.																							2,0
FBA <i>Gaudryna</i> sp.																							
FBA <i>Paratrochammina</i> sp.																							5,1
FBA <i>Siphotrochammina</i> sp.		6,3																					
FBA <i>Trochammina squamata</i>																							47,5
Foraminíferos Calcários	2,0	6,3				6,7			10,1								0,1			1,0		0,5	20,5
Foraminíferos calcários hialinos	32,7	6,3	36,7	100,0		7,6	17,3	16,1	3,2	12,9	17,9	22,2	22,7	16,3	23,5	15,5	15,6	16,5	7,1		22,2	25,5	20,2
Foraminíferos bisseriais não identificáveis							1,0																
FBH Rotalídeos não identificáveis	4,1	6,3	3,6						6,4	2,9		1,5		5,2	2,4		1,1		3,0	12,5	5,8		0,5
FBH Rotalídeos Pararotáticos									1,1									2,2					
FBH <i>Ammonia</i> spp.		6,3	9,8			19,5	15,3	31,0	26,1	5,5	11,9	26,3	10,5	49,6	27,9	47,0	18,9	20,9	7,1	40,9	8,5	28,4	13,6
FBH <i>Angulogerina</i> spp.												0,4			0,7					1,0			
FBH <i>Amphistegina</i> sp.	4,1					0,5					1,5	0,4											0,5
FBH <i>Bolivina</i> spp.	2,0		9,1			15,2	12,4	8,0	1,6	7,1	10,4	3,3	7,0	4,5	10,0	8,4	6,7	11,0	3,0	11,4	11,1	14,7	6,6

Testemunho	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	
Profundidade	13.5 - 15m (4-26cm)	22.5 - 24m (1cm)	31.5 - 33m (1)(9cm)	31.5 - 33m (2)(62cm)	31.5 - 33m (3)(93cm)	33 - 34.5m (1cm)	34.5 - 36m (1)(1cm)	34.5 - 36m (2)(26cm)	36 - 37.5m (12cm)	37.5 - 39m (30cm)	39 - 40.5 m (14cm)	40.5 - 42m (21cm)	42 - 43.5m (33cm)	19.5 - 21 m (11cm)	21 - 22.5m (58cm)	22.5- 25m (148cm)	31 - 32m (14cm)	32.5- 34m (50cm)	38.5 - 40m (44cm)	41.5 - 43m (1)(1cm)	41.5 - 43m (2)(15cm)	41.5 - 43m (3)(52cm)	43 - 46m (6cm)	
FBH <i>Buccella</i> spp.							1,5		1,6				1,1						1,1					
FBH <i>Bulimina</i> spp.			0,7				0,5	1,0	2,3		0,3		0,3	0,4	0,7							1,6		
FBH <i>Buliminella</i> spp.							2,4	1,5			1,0		0,4	0,4	0,7				1,1		2,0	2,3		3,9
FBH <i>Cassidulina</i> spp.			1,1				1,0			1,1	0,3	1,5	0,7	0,4	2,4		4,4	1,1		1,1				0,5
FBH <i>Cibicides</i> spp.	4,1	6,3	6,2			4,3	3,5	2,3	2,7	4,5	7,5	4,4	1,3	1,2	3,1		3,3	4,4	2,0			9,0		2,5
FBH <i>Discorbis</i> spp.	12,2	6,3	4,0			4,8	4,5	5,7	1,1	0,6	17,9	1,5	6,4	1,2	2,1	0,6	3,3	2,2	3,0	2,3	3,7			5,3
FBH <i>Elphidium</i> spp.	2,0		12,4			16,7	8,4	18,4	31,9	48,6		11,5	29,1	4,0	6,3	5,8	17,8	15,4	4,0	15,9	10,1	21,6		13,6
FBH <i>Epistominella</i> sp. <i>Entomorphinoides</i>	2,0									0,5														
FBH sp.																								
FBH <i>Eupatellinella</i> sp. <i>Evolvocassidulina</i>							1,0	0,5																
FBH sp.																								
FBH <i>Fissurina</i> spp.			0,7				1,4	0,5		1,1			0,7		0,3					1,1	1,6			
FBH <i>Fursenkoina</i> spp. <i>Globocassidulina</i>										0,5	1,0		0,6		0,1									
FBH spp.			1,1			1,4	5,4	8,0	2,1	1,0	3,0	1,9	3,5	2,5	2,1	3,9		4,4		6,8	2,6			3,0
FBH <i>Galvelinopsis</i> sp.			0,4																					
FBH <i>Hopkinsinella</i> sp. <i>Hanzawaia</i>								0,5																
FBH <i>boueana</i>																								
FBH <i>Haynesina</i> spp.		6,3	1,5			10,0	20,3	3,4	2,7	2,9	14,9	7,0		1,2	5,4		12,2	6,6	2,0		1,1			
FBH <i>Nonion</i> spp.		6,3	2,9			0,5	0,5	1,1	1,1	3,9		0,7	9,3	0,2	3,6	3,2	3,3	2,2			0,5			2,3
FBH <i>Islandiella</i> sp.								0,5																
FBH <i>Patellina</i> sp.			0,7																					
FBH <i>Pararotalia</i> spp.	6,1		6,5			5,7	2,0	3,4	5,3	7,7	11,9	14,8	5,8	9,0	7,0	12,9	2,2	7,7	6,1		17,5	2,9		8,1
FBH <i>Pseudononion</i> sp.														0,4										
FBH <i>Lagena</i> sp.																		1,1		1,1				
FBH <i>Marginopora</i> sp.																								
FBH <i>Melonis</i> spp.		6,3												2,6										
FBH <i>Oolina</i> sp.							0,5							0,1										
FBH <i>Rosalina</i> sp.																					2,3			
FBH <i>Siphonina</i> sp.	2,0																							
FBH <i>Trifarina</i> spp.			0,4				0,5						0,6											0,3
FBH <i>Uvigerina</i> sp.																2,6								
FBM Miliolídeos não identificáveis							1,0			1,5											0,5			0,5
FBM <i>Cornuspira</i> spp.																								
FBM <i>Lachlanella</i> sp. <i>Mychostomina</i>																						2,1		
FBM spp.																								
FBM <i>Nuberculina</i> sp. <i>Planoglobatella</i>																								
FBM sp. <i>Pseudolachanella</i>																								
FBM sp.																								

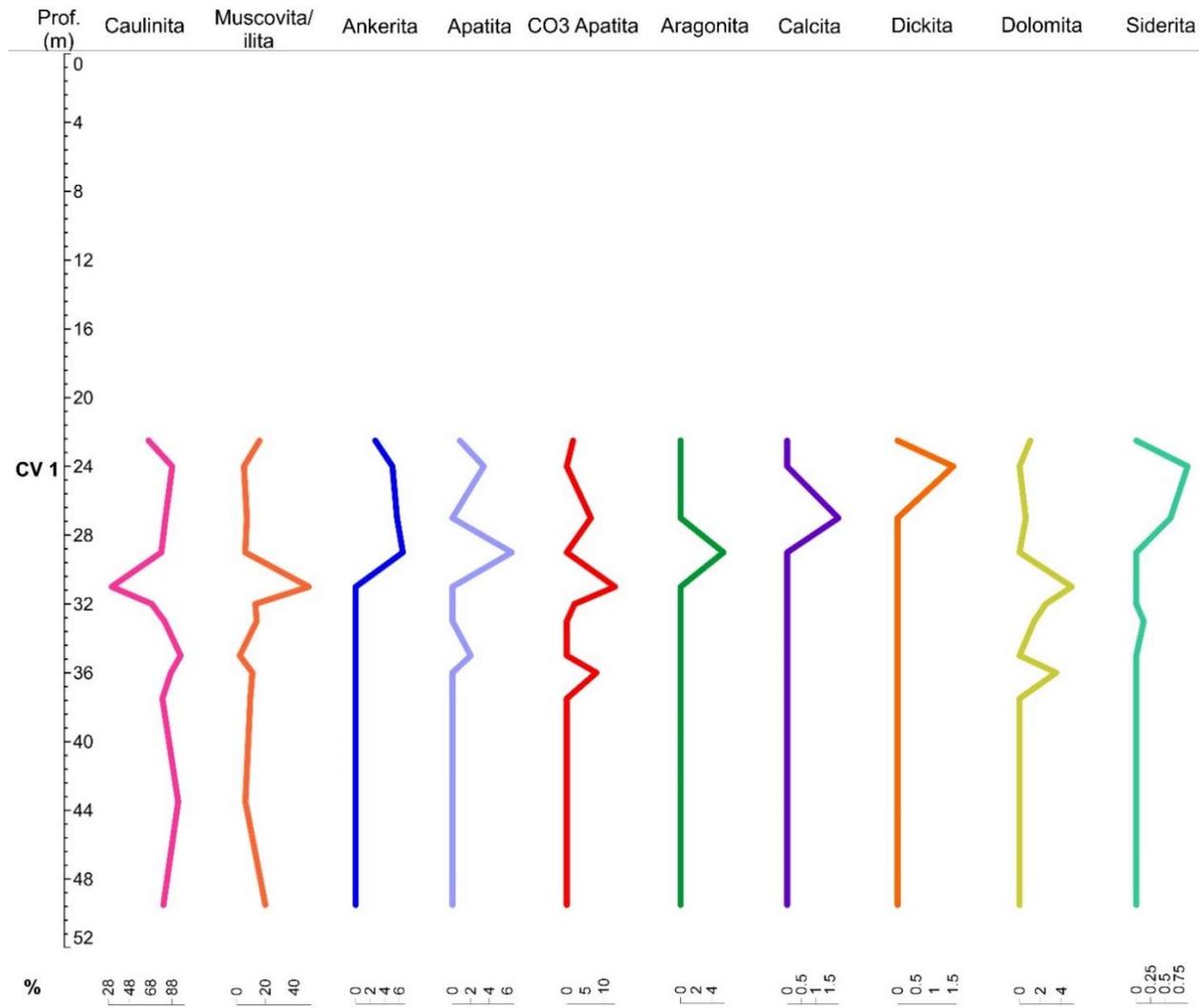
Testemunho	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV1	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	CV2	
Profundidade	13.5 - 15m (4- 26cm)	22.5 - 24m (1cm)	31.5 - 33m (1) (9cm)	31.5 - 33m (2) (62cm)	31.5 - 33m (3) (93cm)	33 - 34.5m (1cm)	34.5 - 36m (1) (1cm)	34.5 - 36m (2) (26cm)	36 - 37.5m (12cm)	37.5 - 39m (30cm)	39 - 40.5 m (14cm)	40.5 - 42m (21cm)	42 - 43.5m (33cm)	19.5 - 21 m (11cm)	21 - 22.5m (58cm)	22.5- 25m (148cm)	31 - 32m (14cm)	32.5- 34m (50cm)	38.5 - 40m (44cm)	41.5 - 43m (1) (1cm)	41.5 - 43m (2) (15cm)	41.5 - 43m (3) (52cm)	43 - 46m (6cm)
FBM <i>Pseudomassilina</i> sp.																							
FBM <i>Pyrgo</i> spp.																							
FBM <i>Quinqueloculina</i> spp.	20,4	18,8																3,3	1,0		0,5		1,3
FBM <i>Spiroloculina</i> spp.																							
FBM <i>Wiesnerella auriculata</i>																							
FBM <i>Triloculina</i> sp.																							

B) Imagens de táxons de foraminíferos encontrados em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Imagem do gênero *Globigerina* modificada de <http://foraminifera.eu/>.



Apêndice 2

A) Distribuição quantitativa dos principais minerais encontrados ao longo do testemunho CV1.



B) Distribuição quantitativa dos principais minerais encontrados ao longo do testemunho CV2.

