



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

GUILHERME FURLAN CHINELATTO

**MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO
CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.**

CAMPINAS

2015

GUILHERME FURLAN CHINELATTO

**MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO
CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOCIÊNCIAS
NA ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE CAMPANE VIDAL

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
TESE/DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
GUILHERME FURLAN CHINELATTO E ORIENTADO PELO
PROF. DR. ALEXANDRE CAMPANE VIDAL.**

CAMPINAS

2015

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 132487/2014-4

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

C441m Chinelatto, Guilherme Furlan, 1987-
Modelo de tafofácies para as coquinas da formação Morro do Chaves,
bacia de Sergipe-Alagoas. / Guilherme Furlan Chinelatto. – Campinas, SP :
[s.n.], 2016.

Orientador: Alexandre Campanhe Vidal.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

1. Carbonatos. 2. Geologia estratigráfica - Cretáceo. 3. Sedimentologia. I.
Vidal, Alexandre Campanhe, 1969-. II. Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Taphofacies model for coquinas of Morro do Chaves formation,
Sergipe-Alagoas basin.

Palavras-chave em inglês:

Carbonates
Geology, Stratigraphic - Cretaceous
Sedimentology

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestre em Geociências

Banca examinadora:

Alexandre Campanhe Vidal [Orientador]
Giorgio Basilici
Rosemarie Rohn Davies

Data de defesa: 25-02-2016

Programa de Pós-Graduação: Geociências



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTOR: Guilherme Furlan Chinelatto

**“MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO
MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre Campanhe Vidal

Aprovado em: 25 / 02 / 2016

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Alexandre Campanhe Vidal – Orientador

Prof. Dr. Giorgio Basilici

Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies

***A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora,
consta no processo de vida acadêmica do aluno.***

Campinas, 25 de fevereiro de 2016.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Carlos e Claudia Regina,
Minhas irmãs Julia e Raquel.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, pois me apoiaram em todos os momentos durante essa jornada, ao meu orientador Alexandre Campana Vidal, pela oportunidade de realizar esse mestrado e pela orientação e dedicação não apenas como orientador, mas também como um amigo, a CIMPOR por disponibilizar o espaço para a pesquisa, ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e bolsa, a Roxar – RMS, pela disponibilização do software, a todos os funcionários da comunidade do instituto de geociências da UNICAMP. Aos funcionários e amigos do CEPETRO (Matheus, Aline, Michelle, Leandro, Bruno, Ivan, João, Ulisses, Jéssica e Bárbara) pela ajuda, dicas e amparo, a Camila por ser uma excelente companheira, motivadora nas horas difíceis e corretora de textos (☺), a todos meus amigos e irmãos da República Rapina (seus lindos) que também me ajudaram a não deixar a peteca cair e sempre me motivaram para seguir em frente sem pensar em desistir.

A todos vocês, com muito amor e carinho, Aquele abraço!!!

“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar em tudo que se tem, ou que seus planos nunca vão dar certo, ou que você nunca vai ser alguém.”

BIOGRAFIA

Guilherme Furlan Chinelatto fez graduação em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), de 2009 a 2013. Realizou uma iniciação científica no período de um ano na área de análise de porosidade e permeabilidade em coquinas a partir de imagens de lâmina sob a orientação do Professor Doutor Alexandre Campana Vidal. Em março de 2014 ingressou no programa de pós-graduação pelo Departamento de Geologia e Recursos Naturais (DGRN), dando continuidade à pesquisa na área de coquinas.

MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.

RESUMO

Dissertação de mestrado

Guilherme Furlan Chinelatto

As coquinas da Formação Morro do Chaves são consideradas rochas análogas aos depósitos de coquinas da Bacia de Campos, essas rochas foram formadas no Cretáceo Inferior e possuem idades entre Barremiano-Aptiano. Nos últimos anos, devido a descoberta de reservatórios em coquinas no pré-sal, diversos estudos estão sendo realizados para compreender como essas rochas se formaram e como se distribuem ao longo de uma bacia. Essas rochas carbonáticas são constituídas principalmente por conchas e possuem diferentes características texturais de acordo com o ambiente em que foram formadas. A concentração, preservação e distribuição das conchas possuem um significado importante na assinatura do sistema deposicional, ao analisar a sua estrutura é possível identificar as condições ambientais e energéticas que levaram a sua formação. A base para essa análise consiste na observação de algumas características: I – tafonômicas, como articulação, seleção, fragmentação, abrasão, arredondamento e orientação das conchas; II - sedimentológicas, através de estruturas sedimentares, empacotamento de grãos, abundância de conchas e tipo de matriz; III – estratigráficas, sendo elas extensão lateral das camadas, tamanho das camadas, sua geometria e contato físico entre camadas. Analisando as coquinas contidas na Formação Morro do Chaves foi possível identificar diferentes fácies deposicionais, dessa forma, um modelo de tafofácies foi concebido. Cada um dos ambientes apresentam características distintas em aspectos tafonômicos e estratigráficos envolvendo *wackestones*, *packstones*, *grainstones* e *rudstones*, que se sobrepõe de acordo com a oscilação nível de água do lago. Foi possível identificar diferentes fácies que envolvem coquinas depositadas em ambientes localizados acima do nível de onda de tempo bom e coquinas de tempestade, apresentando características distintas quanto ao estado de preservação e disposição de valvas como também a ocorrência de estruturas sedimentares e os tipos de contatos entre suas camadas. Coquinas de tempo bom apresentam altas taxas de fragmentação, abrasão e empacotamento, enquanto coquinas de tempestade apresentam sinais moderados a baixo de fragmentação, abrasão e arredondamento. A segunda etapa desse trabalho consiste na análise de perfil de raios gama. Utilizando um gamaespectrômetro portátil foi possível levantar um perfil vertical do comportamento das rochas aflorantes, identificando ciclos deposicionais que relacionam coquinas e folhelhos, onde é possível identificar ciclos de *shallowing-upward* indicando transições de *wackestones* para *rudstones*. O perfil levantado foi comparado com dois poços do Campo de Furado localizados próximos a pedreira, onde foi identificada a distribuição lateral das camadas e com isso gerar um modelo 3D com a distribuição dessas rochas.

Palavras chaves: coquinas, tafofácies, morro do chaves, cretáceo inferior, raio gama.

TAPHOFACIES MODEL FOR COQUINAS OF MORRO DO CHAVES FORMATION, SERGIPE-ALAGOAS BASIN

ABSTRACT

Masters Degree

Guilherme Furlan Chinelatto

The coquinas of Morro do Chaves Formation are considered analogous to coquinas deposits in the Campos Basin, this rocks were formed during the same geological period in the Lower Cretaceous from Barremian to Aptian. In recent years, due the discovery of reservoirs of coquinas in the pre-salt of Campos Basin, several studies are being conducted to understand how these rocks were formed and how they are distributed. These carbonate rocks are mainly formed by shells, and have different textural characteristics according to the depositional environment in which they were formed. The concentration, preservation and rocks shells distribution have an important significance in the signature of depositional system, to analyze its structure is possible to identify the environmental and energy conditions that led to its formation. The basis for this analysis is the observation of some characteristics, such as: I - Taphonomic as selection, fragmentation, abrasion, rounding and orientation of the shells; II - sedimentological, through sedimentary structures, grain packing, plenty of shells and type of matrix; III - stratigraphic, lateral extension of the layers, layers size, geometry and physical contact between layers. Analyzing coquinas contained in the Morro do Chaves Formation was possible to identify different depositional facies and thus a taphofacies model was designed. Each environment has distinct characteristics involving wackestones, packstones, grainstones and rudstones, which overlaps according to the oscillating water level of the lake. It was possible identify different facies involving coquinas deposited in environment localized above the level of fair-weather wave base and storm coquinas, showing different characteristics about the state of preservation and arrangement of valves as well as the occurrence of sedimentary structures and layers contacts. Fair weather coquinas displays high signals of fragmentation, abrasion and packing, whereas storm coquinas show a moderate and low signals of fragmentation, abrasion. The second stage of this work is the profile analysis of gamma rays. Using a portable gamma spectrometer was possible build a vertical profile of the behavior of outcropping rocks, identifying depositional cycles that relate coquinas and shales, where you can identify cycles of shallowing upward showing wackestones transitions to rudstones. The raised profile was compared with two wells of Furado Field located near quarry, where we identified the lateral distribution of the layers and thus generate a 3D model with the distribution of these rocks.

Keyword: coquinas, taphofacies, Morro do Chaves, early cretaceous, gamma ray.

ÍNDICE DE FIGURAS

ANEXO 1. “Modelo de tafofácies para as coquinas da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas.”

Figura 1: Mapa geológico do município de São Miguel dos Campos – AL. Modificado da CPRM 2009.....	19
Figura 2: Coluna litoestratigráfica do Cretáceo Inferior da sub-bacia de Alagoas. (Campos Neto et. al. 2007).....	21
Figura 3: i) Classificação para orientação de conchas: A) concordante, B) obliquo, C) perpendicular, D) imbricado, E) em vida, F) empilhado, G) telescópica, H-I-J) aninhado, K) unimodal, L) bimodal. (modificado de Kidwell et al, 1986). ii e iii) Classificação para empacotamento e seleção de conchas (modificado de Kidwell & Holland, 1991). iv) Intensidades de fragmentação, abrasão/arredondamento	25
Figura 4: Perfil estratigráfico da pedreira CIMPOR.....	28
Figura 5: Tipos de contatos observados. A) Contato entre diversas litologias, na base folhelho com marcas erosivas no topo com packstone. B) Contato folhelho-packstone com marca erosiva de forma ondulada. C) contato wackestone laminado com packstone, exibindo estruturas erosivas. D) Contato packstone rudstones exibindo marcas onduladas. E) Transição rudstones-packstone-wackestone. F) Contato wackestone-packstone (amarelo) packstone-rudstone(vermelho)	29
Figura 6: Resultado SOM. i) Mapa de separação de amostras em 7 grupos. ii) Distribuição das variáveis tafonômicas. 1- concavidade para cima, 2- concavidade obliqua para cima, 3- vertical, 4- concavidade obliqua para baixo, 5- concavidade para baixo, 6- valvas articuladas, 7- fragmentação dos bioclastos, 8- taxa de abrasão, 9- seleção, 10- densidade do empacotamento, 11- classificação de Dunham, 12- grãos de quartzo na matriz, 13- ocorrência de laminação	31
Figura 7: Exemplos de amostras dos grupos G1 a G6. G1) rudstone bioclástico com aparente organização preferencial das valvas. G2) rudstone bioclástico com valvas orientadas. G3) rudstones bioclástico com horizontes argilosos. G4) packstone bioclástico sem orientação preferencial de valvas. G5) wackestone bioclástico com valvas dispersas em matriz argilosa de pseudo esparito. G6) packstone bioclástico laminado com valvas orientadas	38
Figura 8: Fotos de lâminas dos grupos G1-G6.....	39
Figura 9: Modelo representativo dos processos sedimentológicos envolvidos nos grupos G1-G6. As valvas verdes representam uma primeira geração de conchas, roxas uma segunda geração e pretas uma terceira geração.....	42
Figura 10: i) relação entre taxa de sedimentação e produção bioclástica. ii) relação dos modelos de deposição e características tafonômicas de conchas	44
Figura 11: Relação do modelo de tafofácies com aporte sedimentar de terrígenos finos, concentração de conchas e taxas de abrasão e fragmentação	45

ANEXO 2. “Análise gamaespectrométrica das coquinas da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas.”

Figura 1: Mapa geológico do município de São Miguel dos Campos – AL. Modificado da CPRM 2009.....	56
Figura 2: Quadro estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas (modificado de Milani et al., 1988)	57
Figura 3: Perfil Estratigráfico pedreira CIMPOR	61
Figura 4: Figura 4: A-B-C) sequência de deepening-upward de rudstone para folhelho em A e de rudstones para wackestone em B e C. Em B é possível observar o contato lateral entre wackestone e rudstones já observado por Kinoshita (2010). D) Contatos entre rudstones para packstones com folhelho verde no topo. E) Transição Rudstone-Packstone seguido com thinning-upward. F) Sequência de coquinas em thinning-upward	64
Figura 5: A-B) Rudstone bioclástico com empacotamento denso, pode apresentar valvas orientadas (B). C) Packstone bioclástico sem orientação preferencial das valvas. D) Wackestone bioclástico sem orientação preferencial das valvas. E) Wackestone bioclástico com horizontes rico em conchas e horizontes ricos em argila e fragmentos de conchas. F) Arenito fino com cimento carbonático de calcita.	65
Figura 6: Perfis: estratigráfico, ciclicidades em afloramento e perfil gama, inbtensidade Gama Total (API), K(%), Th(ppm) , U(ppm), razão Th/K, Razão U/K.	68
Figura 7: A) Relação Th/K e a distribuição de acordo com a mineralogia (Schlumberger, 2009). B). Resultado da distribuição Th/K do perfil levantado	69
Figura 8: Resultado de DRX para argilas de algumas amostras de packstone e folhelhos. A) packstone com picos em vermiculita, calcita, ilita e muscovita. B) wackestone com picos em vermiculita, quartzo e calcita. C) wackestone com picos em vermiculita, muscovita, ilita.	70
Figura 9: Perfil Gama dos poços da ANP e do perfil levantado na pedreira CIMPOR	72
Figura 10: Relação perfil gama do poço de furado, tratamento do dado para litotipos 1 e 2 e perfil levantado em campo.	74
Figura 11: A) Modelo estrutural das camadas gerado pela continuidade do perfil gama. B) Resultado da distribuição litológica 1 e 2 com base no modelo estrutural e raios gama	75
Figura 12: foto de afloramento localizados na pedreira CIMPOR. Em amarelo os contatos mais evidentes, aparentemente tabulares, que se estendem por todo afloramento.	76

ÍNDICE DE TABELAS

ANEXO 1. “Modelo de tafofácies para as coquinas da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas.”

Tabela 1: Características texturais e tafonômicas a serem utilizadas para agrupamento por redes neurais	26
Tabela 2: Resultado final da obtenção dos dados tafonômicos	51

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABELAS.....	13
INTRODUÇÃO.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ANEXO 1: MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.....	15
ANEXO 2: ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA DAS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS	52

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas diversos estudos estão sendo realizados em coquinas devido a sua importância como rocha reservatório. As coquinas da Formação Morro do Chaves na Bacia de Sergipe-Alagoas são rochas consideradas análogas as coquinas observadas nos reservatórios da Bacia de Campos (Abrahão & Warne, 1990) e podem ser encontradas em afloramentos emersos, como por exemplo na cidade de São Miguel dos Campos localizada no estado de Alagoas, o que facilita seu estudo.

O termo coquina refere-se a um tipo específico de rocha sedimentar composta por concentrações de bioclastos e podem adquirir outros nomes como cascalho de conchas e calcirrudito bioclastico (Kidwell & Holland, 1991). Para entender como esses depósitos são formados, se faz necessário uma análise da composição bioclástica, pois os fósseis podem fornecer informações sobre as condições ambientais em que viveram e através das características deposicionais e estado de preservação dos seus esqueletos, é possível interpretar as condições energéticas do meio de formação e como ocorreu sua acumulação. Kidwell & Holland (1991) afirmam que o processo de acumulação das coquinas pode ser reconstruído a partir da combinação das características tafonômicas e estratigráficas.

Com base nessas informações o trabalho a seguir é apresentado em forma de dois artigos. O primeiro artigo tem como objetivo apresentar um modelo de tafofácies para as coquinas da Formação Morro do Chaves utilizando as características tafonômicas, sedimentológicas e estratigráficas para interpretar os diferentes processos de formação dessas rochas e como elas podem estar distribuídas ao longo de uma bacia. Como resultado o modelo apresenta dois ambientes distintos para formação dessas rochas, um localizado acima do nível de base de onda de tempo bom apresentando valvas com maiores índices de fragmentação, abrasão e arredondamento, e o outro abaixo sendo caracterizado por depósitos de tempestades, com ocorrência de estruturas erosivas e valvas com menores taxas de fragmentação, abrasão e arredondamento. Foi conclusivo que a ação das tempestades é o agente dominante na formação dessas rochas e que elas podem se desenvolver em ambientes rasos de alta energia.

O segundo artigo aborda o comportamento dos diferentes tipos de coquina a partir da análise de perfis de raio gama. A área de estudo está contida no Campo de Furado, localizado na região de São Miguel dos Campos, onde perfis de raio gama próximos a pedreira CIMPOR

são comparados a perfis levantados em afloramento através de um gamaespectrômetro portátil. Como resultado tem-se a relação entre rocha e intensidade de raios gama, onde é possível identificar ciclos de deposição através dos picos do perfil gama, como também a sua continuidade lateral, gerando assim um modelo 3D com as principais rochas como alvo de um reservatório.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, D., WARME, J.E. Lacustrine and associated deposits in a rifted continental margin-Lower Cretaceous Lagoa Feia Formation, Campos basin, Offshore Brazil. In: Katz, B.J. (Ed.), Lacustrine Basin Exploration—Case Studies and Modern Analogs: AAPG Memoir 50. AAPG, Tulsa, Oklahoma, USA, pp. 287–305, 1990.
- KIDWELL, S.M., AND HOLLAND, S.M. Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios* 6(4): 426-434, 1991.

ANEXO I

MODELO DE TAFOFÁCIES PARA AS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.

CHINELATTO, Guilherme Furlan; KURODA, Michelle VIDAL, Alexandre Campana;

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP). R. Pandiá Calógeras, 51. CEP: 13083-970. Campinas, SP. Caixa Postal: 6152.

Endereços eletrônicos: guichinelatto@ige.unicamp.br; mckuroda@ige.unicamp.br;
vidal@ige.unicamp.br;

RESUMO: A Formação Morro do Chaves foi depositada no Cretáceo Inferior, com idade entre Barremiano e Aptiano durante o evento rifte do continente africano e sul-americano, este processo gerou lagos profundos em um sistema de semi-graben onde foram depositadas camadas de conchas (coquinas) alternadas com folhelhos e alguns depósitos arenosos. A concentração de conchas tem uma assinatura significativa do sistema deposicional, sua estrutura é útil para determinar a energia de deposição e as condições ambientais em que se formaram. A base para essa análise consiste na observação de algumas características, são elas: I – tafonômicas, como articulação, seleção, fragmentação, abrasão, arredondamento e orientação das conchas; II - sedimentológicas, através de estruturas sedimentares, empacotamento de grãos, abundância de conchas e tipo de matriz; III – estratigráficas, como extensão lateral das camadas, tamanho das camadas, sua geometria e contato físico entre camadas. Observamos quatro principais fácies carbonáticas que incluem *wackestones*, *packstones*, *grainstones* e *rudstones*, e para cada uma podemos observar padrões distintos de acúmulo de conchas e preservação que podemos associar com a energia de deposição. Estes resultados tafonômicos associados com estruturas sedimentares foram conclusivos para determinar e distinguir depósitos com influência de tempestades, envolvendo *packstones* e *wackestones* e depósitos mais rasos influenciados por ondas, envolvendo *rudstones* e *grainstones*.

ABSTRACT: Morro do Chaves Formation has been deposited during the Lower Cretaceous, in Barremian and Aptian age during the rifting of African and South American continent, this process generated deep lakes in a half-graben system where deposited layers of shells (coquinas) alternated with shales and some sandy deposits. The shell concentration has a significant signature of depositional system, your framework is helpful to identify the depositional energy and the environment conditions. The base of this analysis consists of observation of some characteristics, are they: I – Taphonomic, as selection, fragmentation, abrasion, rounding and orientation of the shells; II - sedimentological, through sedimentary structures, grain packing, plenty of shells and type of matrix; III - stratigraphic, lateral extension of the layers, layer size, geometry and physical contact between layers. We observe four principal carbonate facies that include wackestones, packstones, grainstones and rudstones, and for each one we can notice different parameters of accumulation and preservation of shells associated with a high energy depositional system. This taphonomic result associated with sedimentary structures were conclusive to determine and distinguish deposits with storm influences, involve packstones and wackestones, and shallow deposits influenced by waves, involve rudstones and grainstones.

INTRODUÇÃO

As concentrações de bioclastos no registro sedimentar são comuns em diversos ambientes deposicionais, carregando informações importantes para paleontólogos e geólogos que as utilizam para determinar as assembleias fósseis, detalhar os regimes paleohidráulicos, auxiliar na análise de fácies e na correlação estratigráfica (Kidwell et al., 1986). Alguns desses registros fósseis são compostos por camadas de conchas que podem ter diversas denominações como coquinas, cascalho de conchas e calcirrudito bioclastico (Kidwell et al., 1991).

Algumas bacias sedimentares brasileiras como as bacias de Sergipe-Alagoas e Campos, apresentam o registro bioclástico de coquinas na forma de extensas camadas compostas por bivalves, desenvolvidos em ambiente lacustre durante a fase rifte (Horschutz & Scuta, 1992, Campos Neto et al., 2007).

Um fator relevante para o estudo dessas rochas se refere aos reservatórios de coquinas do *trend* petrolífero Badejo-Linguado-Pampo da Bacia de Campos (Castro, 2006). As coquinas presentes na Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas, podem ser consideradas análogas aos depósitos da Bacia de Campos (Abrahão & Warne, 1990), sendo assim, entender suas características petrofísicas e faciológicas podem auxiliar na compreensão da complexidade geológica dos reservatórios petrolíferos.

A análise da composição bioclástica é uma etapa necessária para a interpretação de um ambiente deposicional para coquinas. Os fósseis podem fornecer informações sobre as condições ambientais em que viveram e através das características deposicionais e estado de preservação dos esqueletos, é possível interpretar as condições energéticas do meio de formação e como ocorreu sua acumulação (Monaco, 2000, Simões & Torello, 2000, Simões et al., 2000). De acordo com Kidwell et al. (1991), o processo de acumulação das coquinas pode ser reconstruído a partir da combinação das características tafonômicas e estratigráficas.

Nesse trabalho, as camadas de coquinas presentes na Formação Morro do Chaves são descritas e interpretadas a partir da observação das estruturas deposicionais, nas condições de concentração e estado de preservação das conchas. Baseados na análise da biofábrica proposta por Kidwell (1986, 1991), Kidwell e Holand (1991) e por outros autores que utilizam modelos quantitativos para classificar os ambientes (El-Ayyat e Kassab, 2004, Yesares-García e Aguirre, 2004, Rico-García et al., 2008), foram gerados modelos que contribuirão para interpretação do ambiente deposicional, como depósitos de tempestade, barras e praias

(Kinoshita 2010). Como resultado, um modelo de tafofácies é proposto para esses diferentes ambientes deposicionais de acordo com feições tafonômicas, estratigráficas e texturais das rochas, determinando assim regiões que variam desde depósitos rasos a profundos de um ambiente lacustre. O resultado se aproxima ao modelo sugerido por Tavares et al. (2015) cujo critério de classificação é o estado de preservação das valvas e conteúdo de argila na matriz em sua descrição, interpretando depósitos localizados em ambientes dominados por ondas e ambientes de tempestade, com diferentes características deposicionais e texturais que serão abordados com maior detalhe nesse trabalho.

ÁREA DE ESTUDO E CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A área de estudo está localizada na mina da empresa “CIMPOR Cimentos”, uma mineradora que extrai calcário para fabricação de cimentos, situada na cidade de São Miguel dos Campos, no Estado de Alagoas. O acesso é pela Rodovia Governador Mario Covas (AL-220), km 135 (Figura 1). Os afloramentos analisados estão localizados na cava de extração e conta com uma grande área de exposição, com extensão de aproximadamente 1 km na direção N-S e cerca de 60 m de espessura.

De acordo com o mapa do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2009), a geologia da área corresponde ao Complexo Arapiraca formado por paragneisses bandados e migmatizados datando entre Neoarqueano ao Paleoproterozóico. Os depósitos sedimentares da Bacia Sergipe-Alagoas estão presentes na área sendo constituídos pelas rochas da Formação Coqueiro Seco e Formação Muribeca, depositados durante o Cretáceo, e capeados pelos sedimentos do Grupo Barreiras do Paleógeno e sedimentos aluvionares quaternários (Figura 1).

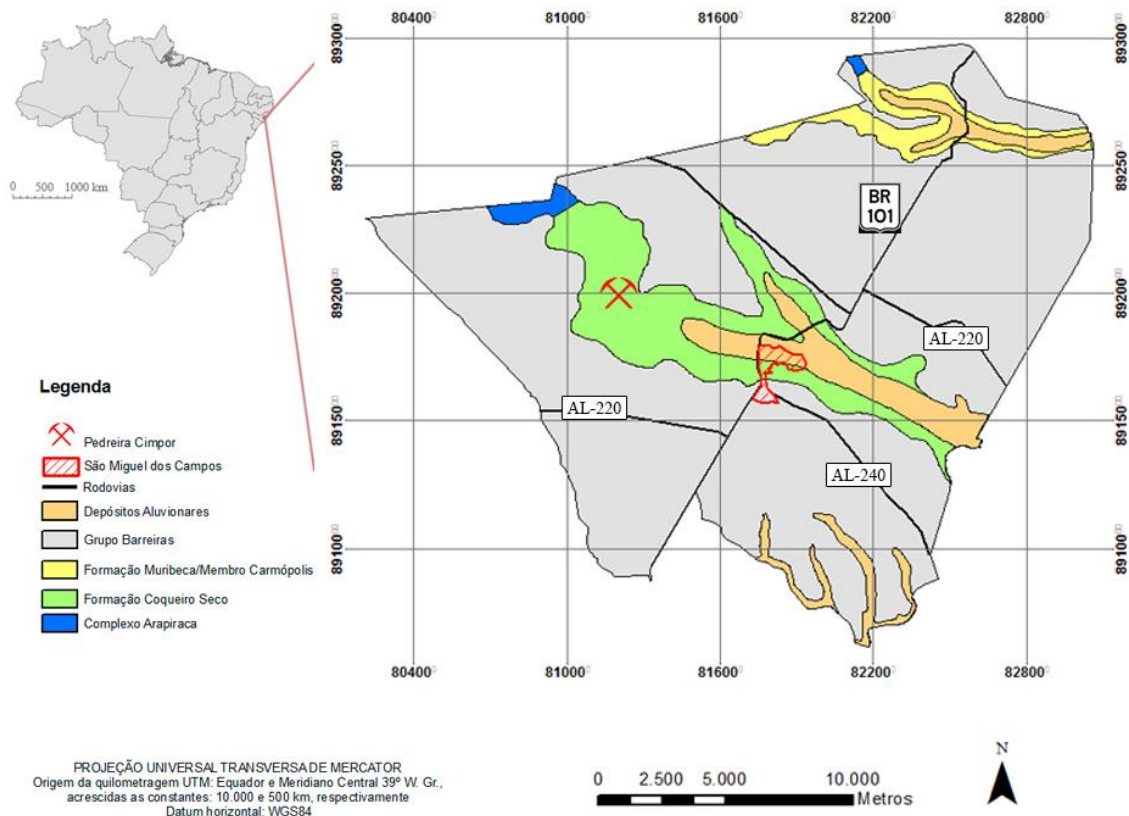


Figura 1: Mapa geológico do município de São Miguel dos Campos – AL. Modificado da CPRM 2009.

Diversos autores caracterizam a evolução tectônico-estratigráfica das bacias de margem continental (Ojeda & Fugita, 1974; Asmus & Porto, 1980; Asmus & Baisch, 1983, Lana, 1990), relacionando as diferentes fases tectônicas de ruptura da crosta com o ambiente deposicional.

As bacias costeiras brasileiras (Bacia de Pelotas até Bacias de Sergipe-Alagoas) apresentam evolução definida na seguinte megasequência: 1) pré-rifte correlacionado a depósitos continentais, 2) rifte com depósitos continentais flúvio-deltaico-lacustres, 3) golfo/mar restrito, com a formação de evaporitos e por último, 4) mar aberto com depósitos carbonáticos e folhelhos. Dentre as bacias, a de Sergipe-Alagoas é a que apresenta o registro rifte de forma mais completa (Ponte & Asmus, 1976; Asmus & Carvalho, 1978; Ojeda, 1982 apud Souza lima 2002, Ponte & Asmus, 2004).

Na Bacia de Sergipe-Alagoas, os depósitos da sequência pré-rifte são caracterizados pelos folhelhos vermelhos lacustres da Formação Bananeiras, arenitos flúvio-deltaico da Formação Candeeiro e arenitos da Formação Serraria. A sequência rifte, que corresponde ao estágio de subsidência mecânica da bacia, apresentam depósitos lacustre-deltaico da Formação Feliz Deserto, alúvio-fluvial da Formação Penedo, conglomerados aluviais da Formação Rio Pitanga, carbonatos coquinóides da Formação Morro do Chaves, depósitos flúvio-deltaico da Formação Coqueiro Seco, siltitos da Formação Barra de Itiúba e por último arenitos, folhelhos e evaporitos da Formação Maceió. A fase pós-rifte ocorre a partir dos primeiros depósitos marinhos da Formação Muribeca, e durante a fase mar aberto com o registro litológico relacionado a Formação Riachuelo (Campos Neto et. al., 2007).

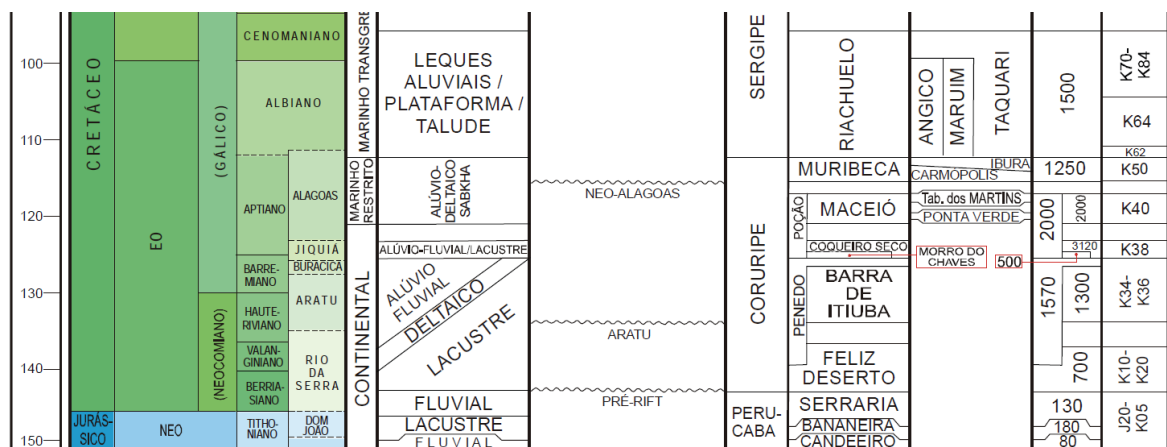


Figura 2: Coluna litoestratigráfica do Cretáceo Inferior da sub-bacia de Alagoas. (Campos Neto et. al. 2007)

A Formação Morro do Chaves, com idades entre Barremiano-Aptiano, compreende rochas carbonáticas do tipo coquina, intercaladas com folhelhos, arenitos e conglomerados que foram depositadas em diferentes pulsos tectônicos durante a fase rifte (Campos Neto et al, 2007).

Os depósitos de coquinas da bacia em estudo pertencem a sequência III da fase sin-rifte (Chang et. al., 1992), onde os carbonatos são interpretados como depósitos lacustres rasos, acumulados em altos estruturais (horsts e domos) em um sistema de rampa suave, com a deposição de extensas camadas de coquinas de bivalves de alta energia e, em menor quantidade, de ostracodes. Figueiredo (1981) também interpretou os depósitos da Formação Morro do Chaves como sendo extensos bancos carbonáticos desenvolvidos em regiões topográficas elevadas.

Kinoshita (2010) realizou o estudo faciológico das coquinas da Formação Morro do Chaves e concluiu a existência de fácies de barras de coquinas (*grainstones* e *packstones*) dispostas em ciclos de shoaling-upward. De maneira geral, o autor descreve os depósitos de coquinas como resultado de ambientes de alta energia, associados a tempestades. Essas tempestades atuaram como agentes de mortandade, resultando no retrabalhamento de bioclastos e gerando sua acumulação em ambiente lacustre raso durante períodos de calmaria.

Essas rochas depositaram-se concomitantemente a arenitos flúvio-deltaicos da Formação Coqueiro Seco (Figueiredo 1981, Lana, 1990; Chang et al., 1992), que em certas porções da bacia intercalam-se com os depósitos da Formação Morro do Chaves. O contato inferior da Formação Morro do Chaves é concordante com os depósitos da Formação Penedo, um arenito bem evidenciado nos perfis elétricos e radioativos, informalmente denominado "arenito Poxin". Esse arenito funciona como uma das melhores camadas de correlação estratigráfica na seção não-marinha da Bacia de Sergipe-Alagoas (Schaller, 1969).

O contato superior entre a Formação Morro do Chaves e a Formação Coqueiro Seco é erosivo ou gradacional para depósitos clásticos na sub-bacia de Sergipe, enquanto na sub-bacia de Alagoas é marcado pela ocorrência de um calcário gredoso (chalky). Em direção a margem da bacia a unidade migra lateralmente para os depósitos da Formação Rio Pitanga (Schaller, 1969).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a geração de um modelo de tafofácies em coquinas, Kidwell (1991) propôs uma sequência de atributos para descrição de campo onde são conferidas algumas características: I– Tafonômica, destacam-se as articulações dos esqueletos, tamanho, forma, fragmentação, abrasão, arredondamento, bioerosão e orientação das conchas; II – Sedimentológicas, envolvem o tipo de matriz, abundância de conchas, grau de empacotamento, estruturas sedimentares associadas; III – Estratigráficas, representam a espessura das camadas, extensão lateral, geometria, contato físico entre camadas. Em seu estudo Kidwell (1991) propõe a utilização de um outro atributo para auxiliar na interpretação, que são os aspectos paleontológicos, com a identificação de espécies, sua abundância e *habitat*, no entanto devido a intensidade diagenética que ocorre nos bivalves na Formação Morro do Chaves, não foi possível identificar suas espécies.

Dessa forma, o trabalho foi realizado em três etapas, a primeira corresponde ao estudo dos afloramentos, com a descrição das características sedimentológicas e estratigráficas, resultando em uma coluna estratigráfica e na coleta de quarenta amostras. A segunda consiste no estudo em laboratório, no qual as amostras coletadas em campo foram analisadas cuidadosamente para obtenção dos dados de tafonomia. No terceiro passo os dados de afloramento e tafonômicos foram interpretados para a construção de um modelo deposicional de tafofácies.

Descrição em afloramento

As classificações de Dunham (1964) e Embry & Klovan (1971) foram utilizadas para a descrição, pois consideram a presença ou ausência de argila na matriz, fator que está diretamente relacionado com a energia do ambiente deposicional. Também foram descritas ocorrência de estruturas sedimentares, geometrias e os limites entre as camadas. Amostras foram coletadas e orientadas em relação ao topo, para posteriormente serem trabalhadas em laboratório.

Descrição da tafonomia

Para o estudo da tafonomia as quarenta amostras foram cerradas com corte perpendicular em relação a superfície horizontal, dessa forma é possível observar com qualidade a disposição das conchas na matriz. Da face cerrada obteve-se imagem digital através do scanner HP 3770 com resolução 1.600DPI.

Por meio da análise de imagens foram obtidos os seguintes dados i) articulação das conchas, ii) seleção dos bioclastos, iii) grau de fragmentação, iv) abrasão/arredondamento, v) bioerosão / incrustação, vi) orientação das conchas, vii) densidade de empacotamento.

A contagem dos bioclastos foi realizada seguindo o modelo de Kidwell & Holland (1991), esses autores propõem uma contagem média de 50 indivíduos que são vizinhos/próximos para definir a seleção dos pacotes de coquinas. Nesse trabalho as contagens variam entre 80-150 de acordo com a disponibilidade de conchas em cada amostra. As valvas a serem contadas foram aquelas que possuíam granulometria superior a 1 mm, considerando granulometrias inferiores como parte da matriz da rocha. Geralmente os autores mencionados trabalham com granulometrias superiores a 2 mm devido à dificuldade de identificação de partículas menores em campo (Kidwell & Holland, 1991). No entanto, como a contagem foi realizada a partir das imagens de alta resolução, é possível identificar conchas e fragmentos de conchas de até 1 mm.

Para os dados de orientação das valvas, Kidwell et. al. (1986) insere diversas categorias de classificação (Figura 3i). A contagem foi realizada nas categorias concordante, oblíquo e perpendicular (A, B e C na figura 3i), que considera a disposição das conchas de acordo com o ângulo de acamamento. Os outros termos propostos pelos autores não foram quantificados, porém foram descritos quando observados como no caso de valvas empilhadas ou aninhadas.

Para maior detalhe na classificação da orientação, utilizou-se a classificação de Middleton (1966), o autor vincula a orientação das conchas com relação a sua morfologia, inserindo cinco categorias, sendo elas 1- côncavo para cima, 2- oblíquo côncavo para cima, 3- vertical, 4- oblíquo côncavo para baixo, 5- côncavo para baixo.

Para a classificação do empacotamento e da seleção foi utilizado o modelo proposto por Kidwell & Holland (1991). Para o empacotamento, Kidwell & Holland, (1991) propõem um método semi-quantitativo que se baseia na densidade de conchas presentes na rocha e como são seus contatos (Figura 3ii). O empacotamento denso descreve depósitos que são bioclasto-suportados, onde os contatos bioclasto/bioclasto são comuns. Nesse tipo de empacotamento pode ocorrer bioclastos flutuantes devido a irregularidade das conchas. As rochas mais comuns que apresentam essa estrutura são packstones, grainstones e rudstones. O empacotamento frouxo (*loosely packed*) descrevem depósitos matriz suportado, os bioclastos geralmente não apresentam contato entre eles, e quando existem é baixo. *Wackestones* e

floatstone são rochas comuns nessa classificação. Por último, o empacotamento disperso, são depósitos matriz suportado com os bioclastos muito dispersos, seus contatos ocorrem de maneira rara. *Wackestones*, *floatstones* e *mudstones* bioclasticos são exemplos comuns desse tipo de empacotamento.

A seleção é definida em 3 categorias de acordo com Kidwell & Holland, (1991), sendo: bem selecionada, bimodal ou pobremente selecionada. A classificação bem selecionada é onde ocorre pouca variação no tamanho dos bioclastos, onde cerca de 80% dos bioclastos estão contidos em duas classes adjacentes na escala granulométrica phi. A seleção bimodal é caracterizada por fábricas que apresentam grãos grossos distribuídos de forma dispersa entre bioclastos mais finos. As rochas pobremente selecionadas são aquelas cujo depósito apresenta maior variação no tamanho do bioclasto, abrangendo diversos tamanhos. (Figura 3iii).

A classificação da fragmentação, abrasão/arredondamento foi realizada através da observação visual e não da análise quantitativa, isso porque a classificação dessa variável depende da direção de corte da amostra. Dessa forma, a análise visual em lâmina delgada foi realizada para auxiliar nessa classificação, pois em lamina delgada a observação dos fragmentos de conchas permite a melhor interpretação da morfologia. Essa análise foi realizada para as quarenta amostras coletada em campo, totalizando quarenta lâminas, uma para cada amostra. A fragmentação foi classificada de acordo com a intensidade de bioclastos fragmentados nas amostras sendo de pouca intensidade (0), média intensidade (1) e alta intensidade (2). Para a abrasão/arredondamento temos 0 como sendo conchas com pouco ou nenhum sinal de abrasão, 1 com ocorrência de bioclastos lascados, 2 para bioclastos arredondados, 3 com ocorrência de ambos os casos 1 e 2. A figura 3iv a seguir mostra um modelo visual de intensidade para essas classes.

Outras características utilizadas para auxiliar na interpretação paleoambiental são apresentadas a seguir: 1) presença de laminações em rocha, 2) ocorrência de quartzo na matriz.

No caso da presença de laminação foi definido com o valor 0 a ausência de laminação, 1 como baixa evidência, 2 para média e 3 como laminação bem marcada. Quanto a ocorrência de grãos de quartzo, seguimos o mesmo princípio onde o valor 0 está relacionado a baixa ocorrência ou ausente, o valor 1 é considerado com intensidade média, e o valor 2 como alta. Todas essas características foram adicionadas pois elas variam de intensidade para cada

mostra, dessa forma servem como parâmetros para auxiliar na interpretação e evolução dos depósitos e na separação de diferentes grupos ao aplicar o método de redes neurais. Um resumo com todas as características tafonômicas pode ser observadas na tabela 1.

Em seguida, todos os dados foram plotados em uma tabela de atributos (anexo 1), que posteriormente foram processados no modelo de redes neurais artificiais (SOM).

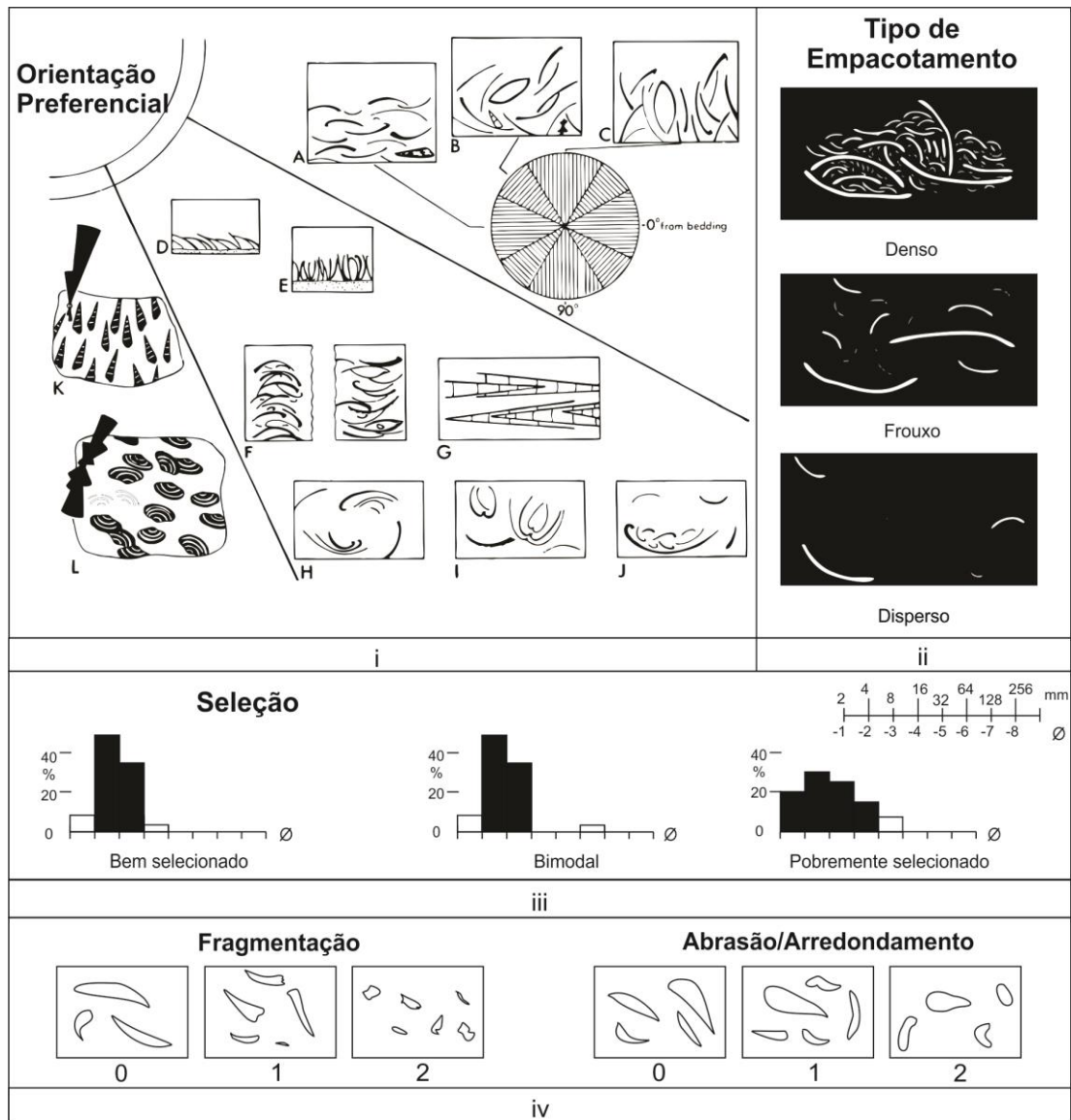


Figura 3: i) Classificação para orientação de conchas: A) concordante, B) oblíquo, C) perpendicular, D) imbricado, E) em vida, F) empilhado, G) telescópica, H-I-J) aninhado, K) unimodal, L) bimodal (modificado de Kidwell et al, 1986). ii e iii) Classificação para empacotamento e seleção de conchas (modificado de Kidwell & Holland, 1991). iv) Intensidades de fragmentação, abrasão/arredondamento.

Self-Organizing Map (SOM)

Amplamente utilizado para o reconhecimento de padrões, Self-Organizing Map (SOM), é uma rede neural artificial baseada no sistema biológico nervoso (Kohonen, 2001). A grande vantagem desse método é a capacidade de reconhecer parâmetros sem a informação a priori realizada de forma não linear. A rede neural, baseada no funcionamento do sistema nervoso é composta por uma rede de neurônios interligados, formando uma malha de duas dimensões. Durante o treinamento do algoritmo, a localização dos neurônios e dos seus vizinhos é alterada, diminuindo a distância Euclidiana com as amostras associadas a eles. Desta forma, amostras similares são armazenadas pelos neurônios vizinhos. A fim de avaliar a qualidade do SOM, dois critérios típicos são aplicados: o erro de quantização (qe), que mede a distância média entre cada dado e seu neurônio; e o erro topográfico (te), a proporção de todas as amostras para as quais o primeiro e segundo neurônio não são unidades adjacentes, medindo a preservação de topologia (Kohonen, 2001). O método foi realizado nos laboratórios do CEPETRO – UNICAMP, aos cuidados da Michelle Kuroda.

Tabela 1: Características texturais e tafonômicas a serem utilizadas para agrupamento por redes neurais.

Característica tafonômicas	Valor numérico	Explicação das variáveis Tafonômicas
Orientação das valvas	em %	Orientação da concavidade 5 categorias
Valvas articuladas	0-1	0: ausência de valvas articuladas 1: presença de valvas articuladas
Taxa de Fragmentação	0-2	0: baixa intensidade 1: média intensidade 2: Alta intensidade
Taxa de Abrasão	0-3	0: pouco sinal de abrasão 1: bioclastos com bordas lascadas 2: bioclastos arredondados 3: bioclastos arredondados e lascados
Granulometria	valor em mm	valor médio da granulometria
Seleção	0-2	0: bem selecionado 1: seleção bimodal 3: mal selecionado
Empacotamento	0-2	0: denso 1: frouxo 2: disperso
Laminação	0-2	0: sem laminação 1: laminação pouco expressiva 2: laminação bem expressiva
Ocorrência de grãos de quartzo	0-2	0: ausência de grãos de quartzo 1: presença de quartzo (<20%) 2: quartzo > 20% da matriz
Classificação de Dunham	0-4	0: mudstone 1: wackstone 2: packstone 3: grainstone 4: rudstone

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As camadas descritas no afloramento compreendem na sua maioria *rudstones*, *grainstones* e *packstones*, em menor quantidade *wackestones*, arenitos e folhelhos. A coluna estratigráfica pode ser observada na figura 4.

As coquinas do tipo *rudstones* estão presentes ao longo de todo perfil, podem se apresentar como camadas de bioclastos amalgamadas, laminadas com horizontes argilosos ou com pouca argila, fazendo contatos com diversos litotipos. A base desses *rudstones* quando em contato com folhelhos, apresentam superfícies erosivas com marcas onduladas (Figura 5-a/b). Os *packstones* são frequentes, podem se apresentar laminados com horizontes ora denso em bioclastos ora frouxo ou como pacotes espessos com bioclastos sem orientação. Geralmente essas rochas fazem contatos erosivos no topo com *rudstones* e na base com *wackestones* (figura 5-c), é comum a ocorrência de marcas de onda no topo de algumas camadas (figura 5-d). Coquinas do tipo *wackestones* são menos comuns, apresentam menores espessuras e geralmente estão presentes em camadas com gradação normal e inversa (figura 5-e). Quando em contato com *rudstones*, é comum observar superfícies com marcas de ondas (figura 5-f). Os folhelhos ocorrem ao longo de todo afloramento e variam com espessuras milimétricas a métricas, por último, os arenitos são os menos frequentes e geralmente apresentam um cimento carbonático entre os grãos de quartzo.

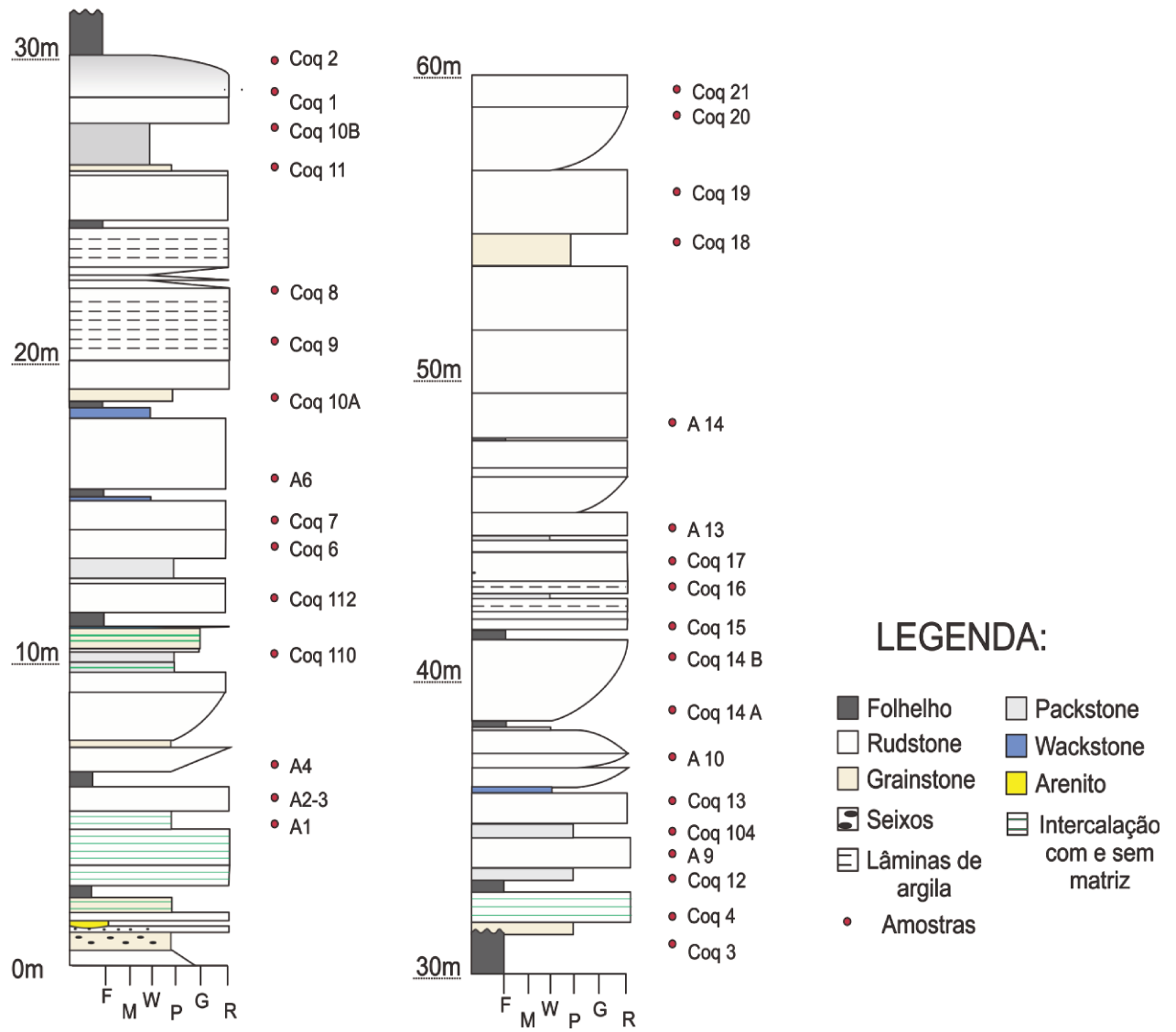


Figura 4: Perfil estratigráfico afloramento CIMPOR.

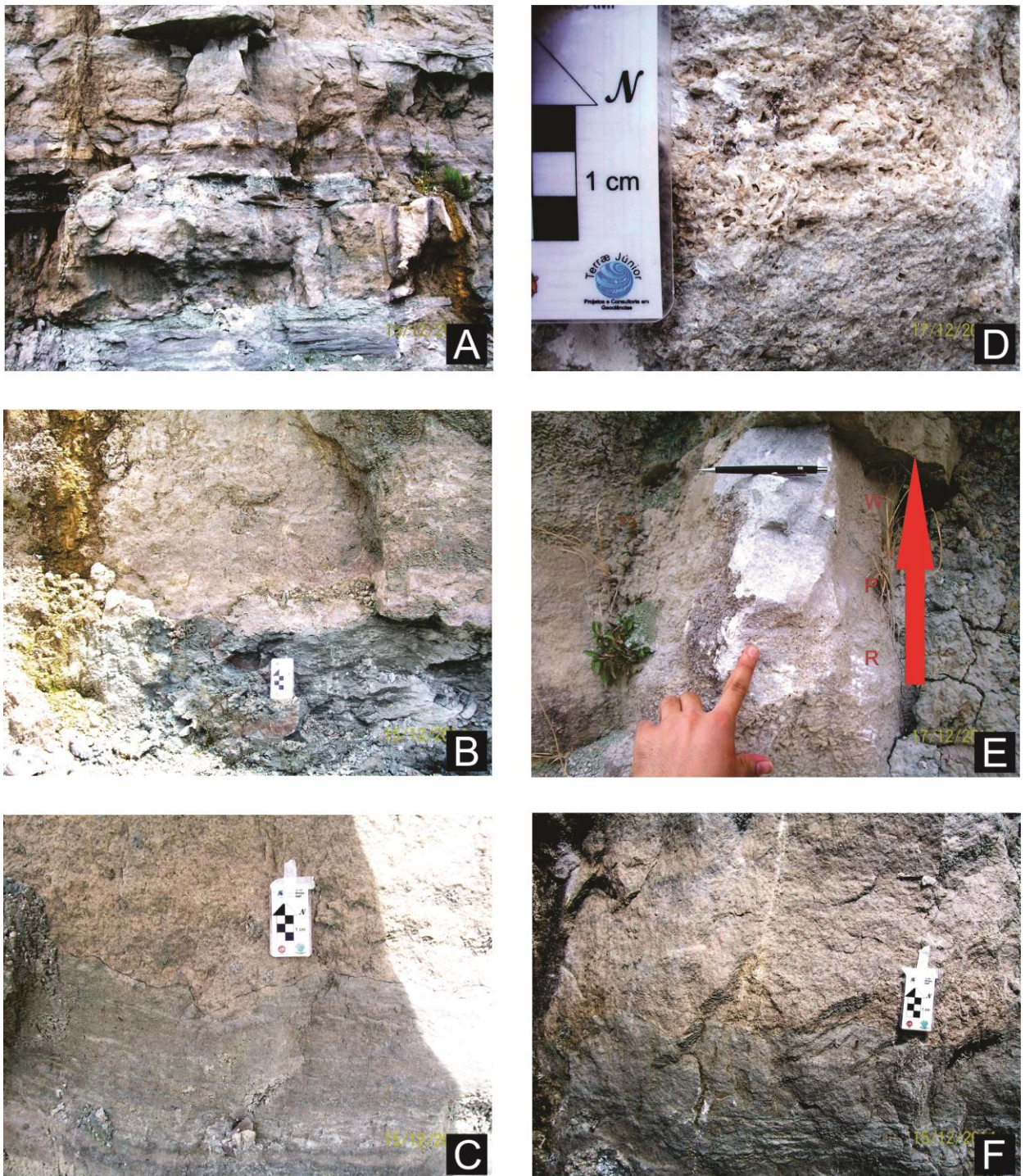


Figura 5: Tipos de contatos observados. A) Contato entre diversas litologias, na base folhelho com marcas erosivas no topo com packstone. B) Contato folhelho-packstone com marca erosiva de forma ondulada. C) contato wackestone laminado com packstone, exibindo estruturas erosivas. D) Contato packstone rudstones exibindo marcas onduladas. E) Transição rudstones (R)-packstone (P)-wackestone (W). F) Contato wackestone-packstone (base) packstone-rudstone.

Grupos Tafonômicos

Com base nas descrições de afloramento pode-se identificar 4 litologias distintas para as coquinas: *rudstones* e *grainstones*, sendo interpretados como depósitos de coquinas de maior energia e *packstones* e *wackestones* interpretados como depósitos de menor energia. As camadas de *rudstones* e *grainstones* foram interpretados como depósitos influenciado por ondas, pois as características tafonômicas como valvas desarticuladas, altas taxas de fragmentação e abrasão, sugerem constante retrabalhamento, assim como a ausência de material argiloso na matriz e a presença de estruturas sedimentares como marcas de ondas, estratificações cruzadas de baixo ângulo e camadas em forma tabulares que se estendem por todo afloramento.

As camadas de *packstones* e *wackestones*, são interpretadas como coquinas abaixo do nível de onda de tempo bom influenciadas por eventos de tempestade, possuem como principais características tafonômicas menores taxas de fragmentação e abrasão ocorrência de valvas articuladas, como também presença de material argiloso na matriz e estruturas sedimentares como superfícies erosivas tanto na base como no topo de suas camadas e formas lenticulares. As amostras coletadas das litologias mencionadas foram processadas pelo método SOM, dessa forma é possível gerar mais grupos com características distintas para uma descrição e interpretação mais detalhada.

Através do método SOM, foram gerados de cinco a dez agrupamentos, definidos pelo índice Davies-Bouldin. Dentre eles, foi escolhida a separação em sete grupos (G7), por representar uma melhor associação e diferenciação das amostras segundo o mapa de distribuição das variáveis envolvidas (Figura 6). Agrupamentos inferiores a esse modelo acabaram unindo amostras com diferentes características pronunciadas como por exemplo, a presença de argila de matriz em um grupo predominantemente sem matriz. Por outro lado, agrupamentos superiores também foram descartados pois a criação de diversos grupos geraram modelos com características semelhantes que pertenceriam a um mesmo modelo deposicional. Para o modelo selecionado, um mapa de dimensões 5x6 foi calculado e os erros do treinamento foram zero e 2.363 para os erros *te* e *qe*, respectivamente.

Como indício de resultado satisfatório, o mapa dos grupos e a matriz-U revelam que as classes foram definidas segundo similaridade ou disparidade entre a projeção das variáveis envolvidas, demonstradas pelas distâncias dos nós da matriz-U (Figura 6 i e ii). Destacam-se nesta aplicação os grupos cinco, com valores similares (em azul), e os grupos quatro e seis, de

amostras com valores de projeção anômalos (vermelho). A interpretação de cada uma das classes pode ser realizada segundo localização do grupo nos mapas das variáveis, permitindo a identificação dos respectivos valores por grupo. É possível ainda, analisar a correlação entre os mapas de distribuição das variáveis e a influência de cada uma na determinação do agrupamento.

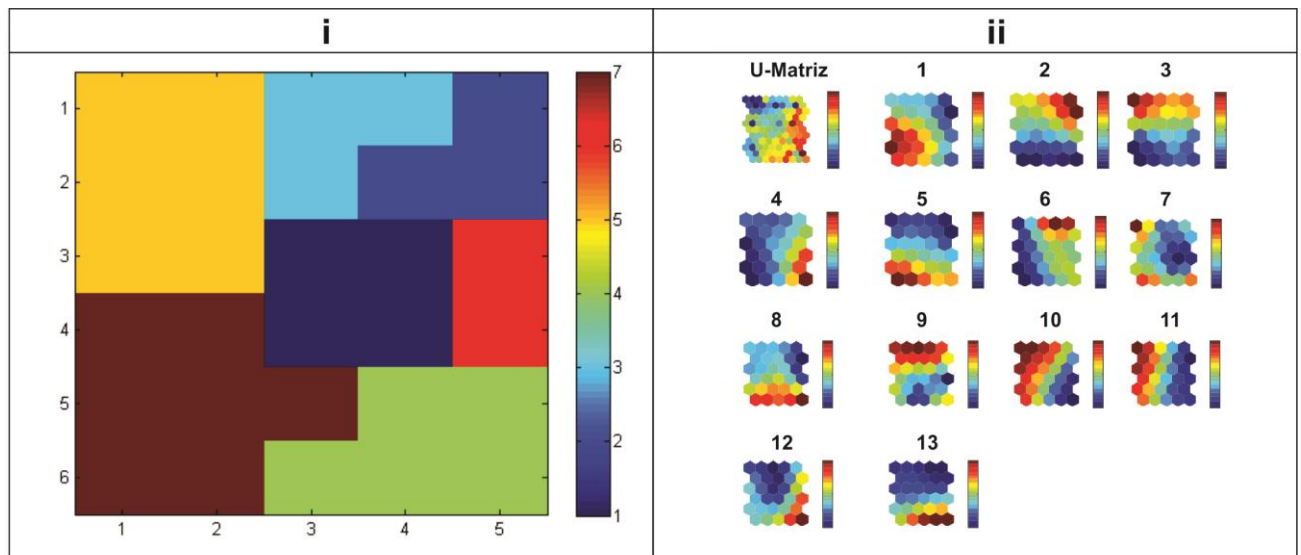


Figura 6: Resultado SOM. i) Mapa de separação de amostras em 7 grupos. ii) Distribuição das variáveis tafonômicas. 1- concavidade para cima, 2- concavidade oblíqua para cima, 3- vertical, 4- concavidade oblíqua para baixo, 5- concavidade para baixo, 6- valvas articuladas, 7- fragmentação dos bioclastos, 8- taxa de abrasão, 9- seleção, 10- densidade do empacotamento, 11- classificação de Dunham, 12- grãos de quartzo na matriz, 13- ocorrência de laminação.

Grupo 1: Rudstone/Grainstone bioclástico sem orientação preferencial

Descrição: as coquinas desse grupo apresentam granulometria média de 6 mm, os bioclastos não estão articulados e sua fragmentação varia entre média a alta. A seleção é bimodal e o empacotamento dos grãos é considerado denso. Esse grupo de rochas pode apresentar laminação e conter quartzo na matriz. As amostras são compostas predominantemente por rudstones (figura 7 G1). Em escala de afloramento algumas camadas apresentam estratificação cruzada de baixo ângulo, os contatos com outras litologias são bem marcados, ora planos com ausência de sinais de erosão na porção basal, ora com marca erosivas em forma ondulada quando em contato com folhelhos e packstones (figuras 5b-5d). As características tafonômicas dessas rochas podem ser observadas também em pacotes de coquinas que gradam de *packstones* na base para *rudstones* no topo. Geralmente esse tipo de rocha é pouco cimentada e friável.

Grupo 2: Rudstone/Grainstone bioclástico orientado

Descrição: as rochas que comportam esse grupo possuem bioclastos com tamanho médio de 5 mm, não apresentam conchas articuladas, sua taxa de fragmentação e abrasão/arredondamento é considerada média, as valvas estão predominantemente concordantes com o acamamento (figura 7 G2), a seleção é bimodal com empacotamento denso, com isso essas camadas foram classificadas como *rudstones*. As amostras desses grupos em sua maioria apresentam quartzo na matriz e possuem laminação pouco expressiva dentro dos pacotes em afloramento, onde ocorrem laminações de coquinas de maior granulometria intercaladas com laminações de coquinas de menor granulometria. Sua matriz é composta basicamente por grãos de quartzo e fragmentos de bioclastos e a micrita pode estar presente em pequenas quantidades (<10%). Essas camadas de coquinas possuem espessuras que variam de poucos centímetros a metro, apresentam um contato nítido com outras camadas, aparentemente tabulares, nos níveis de laminação dessas camadas há ocorrências de superfícies erosivas. Algumas dessas rochas podem variar lateralmente e verticalmente de acordo com a quantidade de matriz argilosa. Em algumas sequências é possível observar a transição de *rudstones* com pouca argila para *rudstones* sem argila.

Grupo 3: Rudstone/Grainstone bioclástico com intercalação argilosa

Descrição: A granulometria das conchas varia entre 2 mm a 4 mm, os bioclastos não estão articulados, sua taxa de fragmentação varia de média a alta, e as conchas encontram-se muitas vezes lascadas e/ou arredondados. A densidade do empacotamento varia, pois essas rochas apresentam laminações com maior ou menor concentração de conchas, variando seu empacotamento de denso a frouxo (Figura 7 G3), e há ocorrência de quartzo na sua matriz. Os pacotes apresentam espessuras variadas de centímetros a metros e são um dos litotipos mais frequentes no afloramento e geralmente fazem contatos com *packstones* e *rudstones*, quando em contato com *packstones* é possível observar estruturas em forma de onda na porção basal (figura 5f).

Grupo 4: Rudstone/Packstone bioclástico sem orientação preferencial

Descrição: esse grupo de amostras é caracterizado por apresentar conchas de granulometria média de 4 mm, apresentam baixa taxa de abrasão/arredondamento, baixa fragmentação e seleção pode ser unimodal/bimodal, de forma geral os bioclastos estão dispostos de maneira dispersa na rocha, sem orientação preferencial (Figuras 7 G4). A densidade do empacotamento varia de denso a disperso, ora matriz suportado ora bioclasto suportado. Nesse grupo de amostras não é visível a ocorrência de laminações e grãos de quartzo estão ausentes na matriz. A quantidade de micrita nessas rochas são moderadas e existe cimento de esparita que bordejam os bioclastos, sendo classificadas como *packstones* e *rudstones* com ocorrência de matriz composta por fragmentos de bioclastos e argila. Em escala de afloramento essas rochas apresentam uma continuidade lateral superior a dezenas de metros e tanto o contato superior quanto inferior das camadas são bem marcados, com sinais de erosão na base e no topo. Algumas dessas rochas apresentam contatos com folhelhos milimétricos no topo e podem gradar verticalmente para rudstones.

Grupo 5: Packstone e Wackestone bioclástico sem orientação preferencial

Descrição: corresponde a um conjunto de litologias que variam de *wackestone* a *packstone*, suas características tafonômicas são semelhantes as que foram observadas no grupo 4, no entanto esse grupo de amostras possui uma maior quantidade de matriz argilosa (Figuras 7 G5). Elas apresentam em menor quantidade fragmentos de grãos e sinais de abrasão/arredondamento, e há ocorrências de bioclastos com valvas articuladas tanto aberta quanto fechada. Essas camadas tem espessuras que variam de alguns centímetros a decímetros que podem diminuir lateralmente, fazendo contatos com *packstones* ou *grainstones/rudstones*. Essas rochas fazem contatos com *packstones* no topo, onde muitas vezes é possível observar superfícies erosivas (figura 5f – em amarelo). Quando em contato gradual com rudstones há ocorrências de marcas de onda no topo dos *packstones/wackestones* indicando uma transição da energia deposicional.

Grupo 6: Packstone e Wackestone bioclástico laminado

Descrição: as coquinas desse grupo apresentam granulometrias que variam predominantemente entre 2 mm a 4 mm, há raras ocorrências de valvas articuladas tanto aberta quanto fechada e a taxa de fragmentação varia em cada amostra, mas é classificada predominantemente como médio. Quanto abrasão e arredondamento, os bioclastos encontram-se levemente lascados e levemente arredondados. A quantidade de matriz arenosa nessas amostras é considerável (>10%), sua seleção varia entre bimodal a não selecionada devido a presença de bioclastos com granulometrias próximas a um cm localizados dispersamente. De forma geral esse grupo apresenta uma laminação milimétrica entre horizontes com maior quantidade de conchas e horizontes com menor quantidade de conchas (Figura 7: G6) que se repetem de forma cíclica durante todo pacote, com variação de espessuras. Há predomínio das conchas orientandas concordante ao acamamento geralmente com a concavidade voltada para baixo. Os pacotes desse tipo de rocha geralmente apresentam espessuras que variam de centímetros a poucos decímetros, e também são observados no topo de camadas de rudstones ou packstones indicando variação da energia do ambiente deposicional (figura 5e), é comum observar superfícies erosivas na transição dos horizontes laminados (figura 5c- linha vermelha fina).

Interpretação

Os grupo G1 a G3 de maneira geral, exibem uma alta taxa de fragmentação dos bioclastos, ausência de valvas articuladas e altas granulometrias que chegam a superar a um cm, caracterizando ambientes de alta energia que tendem a fragmentar as conchas e transportar bioclastos maiores. Na classificação de fácies proposta por Tavares et al (2015), os grupos G1-G3 se enquadram no grupo de fácies “Cf” e “Cfi” com altas taxas de fragmentação de conchas, pouca ocorrência de micrita e ocorrência de grãos de siliciclastos. Essas litologias podem apresentar contatos erosivos no topo de algumas camadas, porém é comum observar camadas dispostas de forma tabular em escala de afloramento com o limite bem marcado.

Ambientes localizados na zona de ondas de tempo bom apresentam como principais características alta taxa de fragmentação, alta abrasão/corrosão, alta desarticulação, predominância de bioclastos orientados com a concavidade para baixo e ausência de posição em vida (Yesares-Garcia e Aguirre, 2004). Furshich e Oschmann (1993) assumem que depósitos de coquinas próximos a ondas de tempo bom e praia apresentam como principais

características tafonômicas a abrasão e fragmentação, além disso, eventos de retrabalhamento como tempestades e mudanças no nível de água ocorrem frequentemente em ambientes rasos, aumentando a chance de fragmentação comparados com ambientes profundos (Wani, 2003). Depósitos atuais com essas características tafonômicas são observados em barras de coquinas na praia de Shark Bay - Austrália (Jahnert et al., 2012) e nas praias do lago Tanganyika - África (Mcglue et al., 2010).

Os grupos G2 e G3 diferem do grupo G1 devido a ocorrência de bioclastos orientados de acordo com o acamamento (figura 7 G2-G3), essa orientação dos bioclastos indicam um ambiente com energia constante e suficiente para orientar as valvas e se enquadram nas características de ambientes rasos. Jahnert et al., (2012) afirma também que ambientes de praia podem apresentar grãos orientados de acordo com a intensidade das tempestades.

Depósitos localizados no limite do nível de onda de tempo bom podem apresentar pequenas quantidades de matriz argilosa que depositam-se junto as conchas, como discutido por Monaco (2000). Há ocorrência de matriz argilosa nos grupos G2 e G3, em G2 é possível observar em algumas amostras a ocorrência em pequena quantidade de matriz argilosa ao redor das valvas enquanto no grupo G3 há ocorrência de finas laminae de coquinas com matriz argilosa que se intercala com rudstones sem argila. As oscilações tanto do nível do lago quanto da energia das ondas e tempestades podem estar relacionadas a essas alternâncias em G3, onde a alta taxa da fragmentação pode estar relacionada a eventos de tempestade que levam a fragmentação dos grãos próximos a ondas de tempo bom.

Todas essas características levam a uma interpretação de que esses grupos (G1-G3) foram depositadas acima do nível de onda de tempo bom. Tavares et al. (2015) afirmam que as fácies “Cf” e “Cfi” são considerados depósitos de bivalves alóctones localizados acima do nível de base de onda de tempo bom, onde a alta taxa de fragmentação das valvas e baixa ocorrência de micrita indicam ambientes de alta energia e de constante retrabalhamento. Ambientes localizados abaixo do nível de onda de tempo bom influenciados por tempestades podem apresentar grãos sem orientação preferencial em presença de matriz argilosa, (Fursich & Oschmann, 1993, El-Ayyat & Kassab, 2004) e ocorrência de bioclastos bem fragmentados quando há acumulações de conchas (Simões et al., 2000).

Ambientes de tempestade podem apresentar uma grande variação de acordo com a proximidade do seu nível de base como apresentado por Fursich & Oschmann, (1993). Os autores mostram que eventos de tempestade que se formam abaixo a ondas de tempo bom

geram retrabalhamento das conchas, levando a sua fragmentação e uma distribuição aleatória dos bioclastos em relação ao acamamento devido a movimentação de fluxos turbulentos e fluxos combinados, são compostos predominantemente por *packstones* e *grainstones*. Simões & Torello (2003) propuseram um modelo de tafofácies de tempestitos em bivalves, em sua descrição (Tafofácies 1) os depósitos apresentam concentrações fossilíferas suportadas por bioclastos, fragmentados, densamente empacotados e caoticamente orientados, onde o contato basal é erosivo. Rico-Garcia et al. (2008) caracterizam depósitos de tempestade que apresentam uma alta concentração de fósseis, sem orientação preferencial e ocorrência de base erosiva.

Diversos autores afirmam também que depósitos de menor energia apresentam como principais características uma boa preservação das conchas com pouco sinal de abrasão e fragmentação e muitas vezes são preservadas *in situ* como valvas fechadas (Furschich & Oshmann 1993, Radley & Michael, 2000, Simões & Torello, 2003, Yue Li et al., 2007). Fácies de tempestade distal podem ser consideradas ambientes onde há predomínio de baixa energia, onde apenas durante as tempestades há influência de correntes de maior energia. El-Ayyat & Kassab (2004), Furschich & Oshmann (1993) e Simões & Torello (2003) mostram que nessas condições é possível observar uma base erosiva nas camadas e ocorrência de intercalações laminares de esqueletos e planos argilosos, mesma característica observada nas amostras no grupo G6 (figura 7 G6) além do fato das conchas estarem concordantes com o acamamento.

As coquinas do grupo G4 e G5 (figura 7 G4-G5) foram interpretadas como depósitos acumulados abaixo do nível onda de tempo bom devido a moderada taxa de fragmentação, baixos índices de abrasão/arredondamento, ausência de orientação dos bioclastos e rara presença de valvas articuladas abertas e fechadas. A presença de argila na matriz sugere um ambiente de baixa energia, porém a ocorrência de bioclastos fragmentados de seleção moderada induz que esses depósitos sofreram influência de retrabalhamento, como por exemplo de tempestades. Os bioclastos não apresentam uma orientação preferencial, o que indica que esses depósitos não foram submetidos a uma corrente preferencial com energia constante para organizar os bioclastos e carregar a lama para fora da matriz nos *packstones*. No modelo de Tavares et al. (2015) os grupos G4 e G5 corresponderiam as fácies “Cm”, são depósitos de bivalves parautoctones localizados em ambientes lacustres profundos, entre o nível de onda de tempo bom e de tempestades. Nesse ambiente ocorrerem depósitos de materiais finos nas porções mais distais e colonização de bivalves, que se hospedariam nesse

assoalho abaixo do nível de onda de tempo bom. Com a chegada de tempestades ocorre o retrabalhamento desses sedimentos ocasionando a mortandade dos bivalves além de uma mistura de depósitos finos, explicando a ocorrência de algumas valvas articuladas abertas e fechadas em pequenas quantidades.

Depósitos próximos a onda de tempo bom podem ser transportados para junto desse ambiente devido ao refluxo de correntes de tempestade, transportando algumas vezes conchas de ambientes mais rasos para mais profundos, explicando a ocorrência da grande quantidade de fragmentos de conchas na matriz dessas rochas junto a conchas muitas vezes intactas.

Os depósitos do grupo G5 são semelhantes ao grupo G4, no entanto o grupo G5, apresenta maior quantidade de matriz argilosa e valvas de menor granulometria. Esse grupo foi descritos como tempestitos formados próximos ao nível de onda de tempestade, sendo um tempestito proximal como proposto por Simões & Torello (2003) como tafofácies 2.

O grupo de rochas G6 (figura 7 G6) foi interpretado como fácies de tempestade distal. Nesse tipo de depósito é comum observar valvas dispostas com a concavidade voltada para baixo e concordantes com o acamamento, além de valvas articuladas. A preservação desses bioclastos com valvas articuladas abertas e fechadas indicam que nesse ambiente havia durante um curto período energia de corrente suficiente para remover os organismos do substrato que em seguida sofreram uma rápida deposição ou que não sofreram mais ações de correntes dessa forma preservando-o. Os intervalos de horizontes rico em conchas e rico em argila indicam as oscilações de energia do meio, ou seja, em períodos de tempestade depositam finas lâminas de conchas e a medida que essa tempestade perde força depositam sedimentos finos. Com a chegada de uma nova tempestade as lâminas argilosas podem ser erodidas e deposita-se novamente camadas de conchas podendo levar a uma mistura de bioclastos já depositados, o que explicaria a presença de bioclastos fraturados. Também a presença de terrígenos como quartzo, pode levar a uma destruição dos bioclastos quando retrabalhados juntos (Zuschin & Hohenegger, 1998). O Grupo G6 se assemelha as características observadas como fácies “Cmi” no modelo de Tavares et al. (2015), onde há maior preservação no estado de conservação das valvas, ocorrência de micrita e grãos de quartzo na matriz.

Grupo G7

Esse grupo de amostras se comportou atipicamente, são 3 amostras com características distintas e em todos os cluster de separação se enquadraram em um grupo único. Essas amostras compreendem coquinas com muitos grãos de quartzo (> 20%), packstones com conchas sem orientação e com alta taxa de destruição de conchas e rudstones sem orientação. Desconsideraremos esse grupo no modelo de classificação de tafofácies.

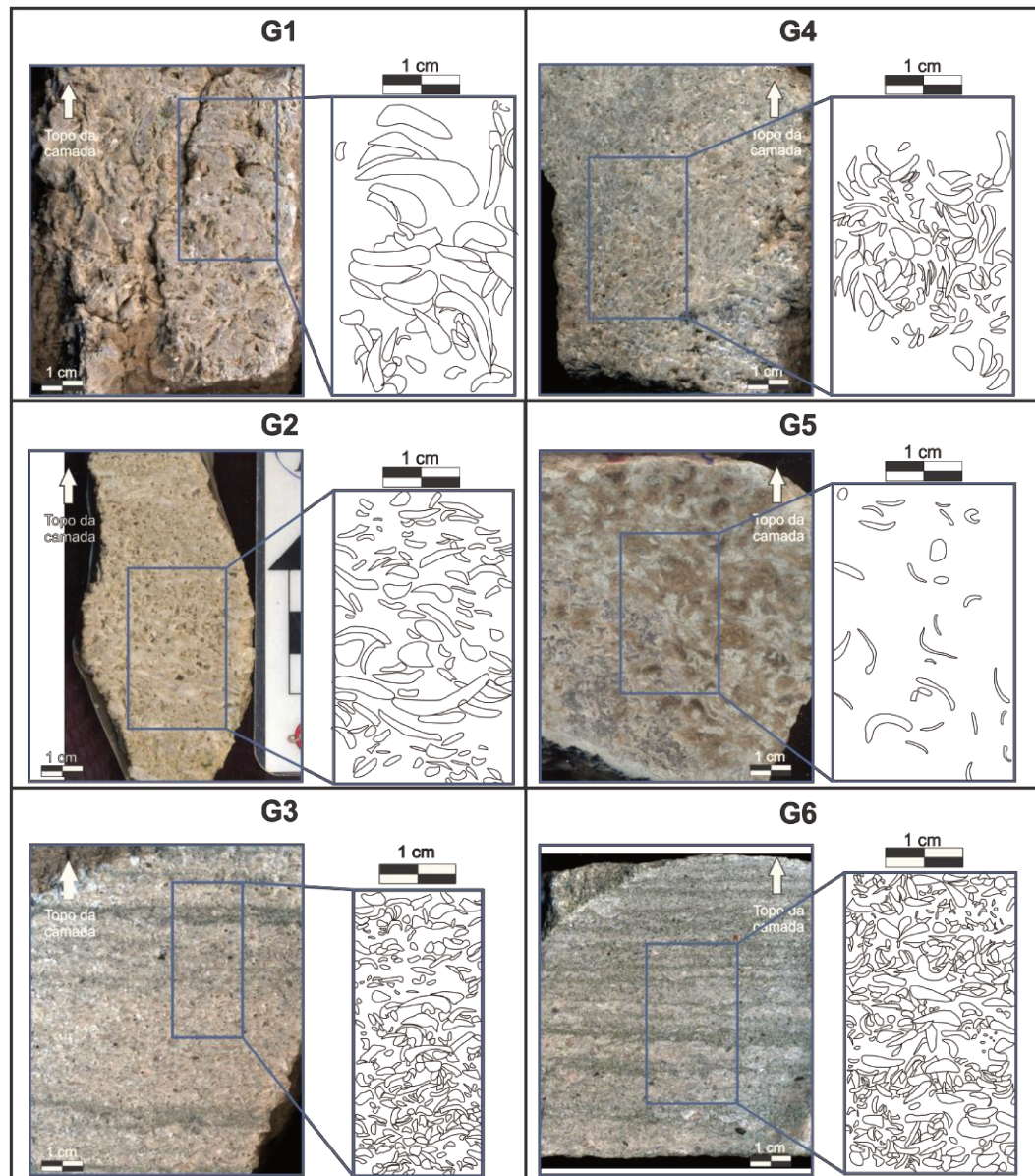


Figura 7: Exemplos de amostras dos grupos G1 a G6. G1 - Coq 19) rudstone bioclástico com aparente organização preferencial das valvas. G2 - A 13) rudstone bioclástico com valvas orientadas. G3 - Coq 9) rudstones bioclástico com horizontes argilosos. G4 - Coq 6) packstone bioclástico sem orientação preferencial de valvas. G5 - A 2) wackestone bioclástico com valvas dispersas em matriz argilosa de pseudo esparito. G6 - Coq 17) packstone bioclástico laminado com valvas orientadas.

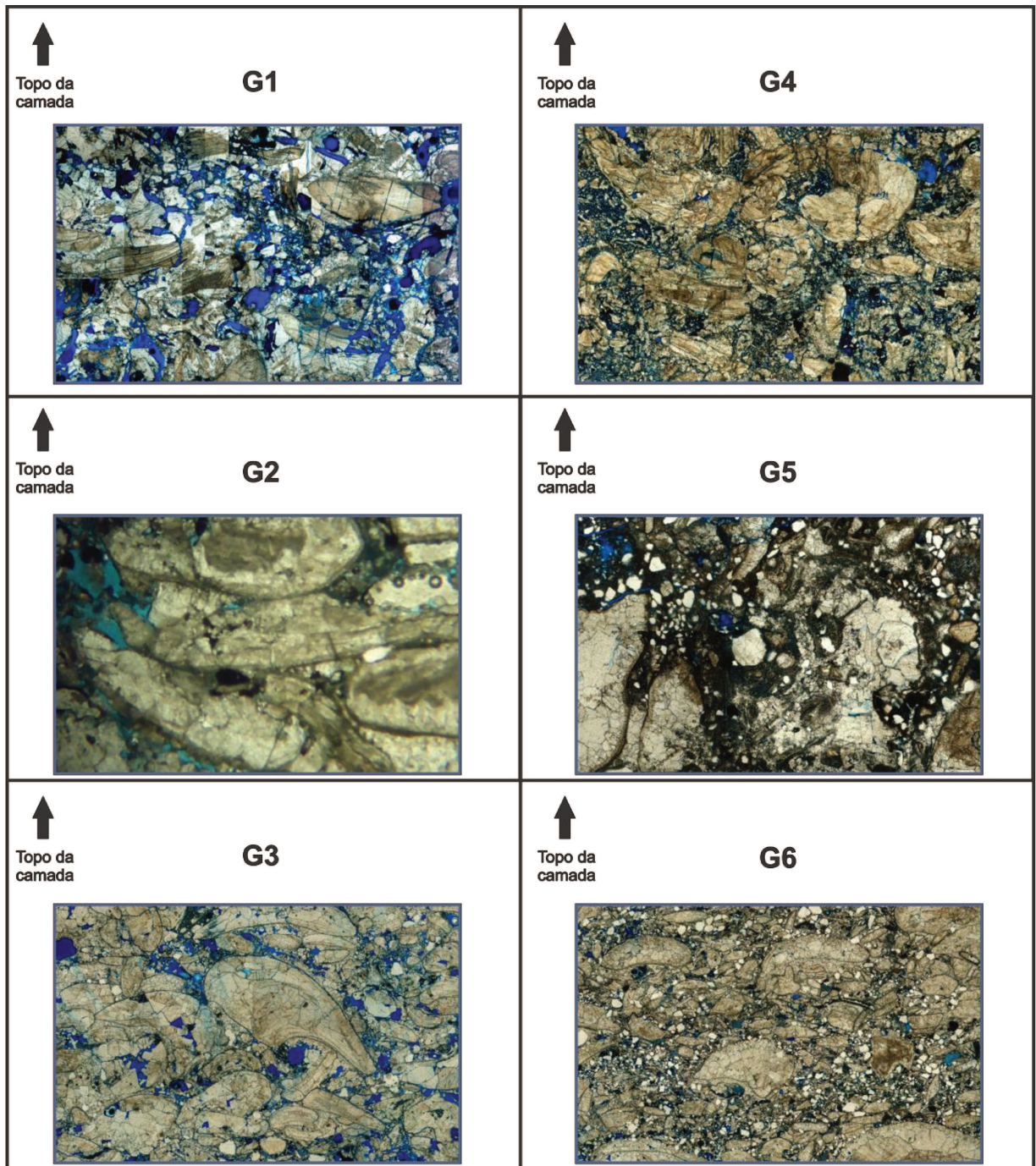


Figura 8: Fotos de lâminas dos grupos G1-G6.

Processos sedimentológicos dos grupos G1-G6

As etapas envolvidas durante a sedimentação desses grupos podem ser observadas na figura 9. Em G1 no primeiro momento (A), em períodos de tempo bom, as ondas retrabalham os sedimentos superficiais, causando a fragmentação e abrasão onde os bioclastos se arranjam sem orientação preferencial. Em épocas de tempestade (B), a energia das ondas é maior, durante esses períodos, o substrato é erodido, os bivalves colonizadores são removidos e transportados podendo se misturar com as conchas anteriormente depositadas (*time averaging*). Com o fim da tempestade (C) os bioclastos removidos são sedimentados e continuam a ser retrabalhados no nível de ondas de tempo bom, a superfície erosiva raramente é observada nos pacotes de coquinas, de maneira geral essas rochas se apresentam como camadas de conchas amalgamadas desorientadas como observado em (C-a).

Em G2 temos um ambiente cuja energia é capaz de organizar os bioclastos de forma concordante ao acamamento, com valvas predominantemente orientadas com a concavidade para cima e para baixo. Em (A) existe uma situação de ambiente de tempo bom, onde ocorre o retrabalhamento e a orientação das valvas, com a chegada de uma tempestade (B) o substrato pode ser erodido e as valvas removidas. Quando o tempo se estabiliza (C) novas valvas são transportadas e sedimentadas logo acima do nível erodido. Muitas vezes é possível observar as superfícies erosivas, elas comportam-se como níveis quase horizontais e são fortemente marcadas pelas transições com níveis de bioclastos de diferentes granulometrias. Em (D) há ocorrência de uma nova tempestade, erodindo novamente o substrato, com o fim da tempestade um novo tempo de calmaria se estabelece, ocorre a sedimentação de novas conchas, e muitas vezes é possível observar a transição dos diferentes empacotamentos com granulometrias distintas (níveis a-b-c) em (E).

O grupo G3 está localizado no limite do nível de onda de tempo bom, em períodos onde a energia é suficiente para orientar os bioclastos de acordo com o acamamento, como joeiramento do material mais fino (A). Com a diminuição da energia das ondas (B) seja pela ação dos ventos ou da oscilação do nível do lago em períodos chuvosos, ocorre a sedimentação de materiais finos como argila. Esse sedimento fino se deposita concomitantemente com as conchas, gerando horizontes mais argilosos (C). Com a chegada de uma tempestade (D) o material fino é removido do substrato e colocado em suspensão novamente, no entanto, horizontes argilosos podem permanecer de acordo com a intensidade da energia das ondas para erodir/joeirar o substrato. Após esse período de maior energia, um novo período de calmaria se estabelece (E), com energia suficiente para joeirar a lama e

orientar os bioclastos, como no caso (A) gerando diferentes níveis de acumulação (a-b-c). Assim como nos grupos anteriores, pode haver a mistura de bioclastos de diferentes idades (*time averaging*).

No grupo G4, durante períodos de calmaria (A), o substrato é colonizado por conchas. Com a chegada de uma tempestade (B), os bioclastos são removidos do fundo junto com o material mais fino e são retrabalhados, onde pode ocorrer a mistura de bioclastos anteriormente depositados com os mais recentes (*time averaging*), o que também explica quantidade considerável de conchas fragmentadas. Com o fim da tempestade (C) todo o material é depositado de forma caótica devido as correntes turbulentas, neste caso há uma rápida sedimentação, com ocorrência de valvas articuladas abertas e fechadas. Em (D) um novo ciclo de colonização do substrato é iniciado.

As etapas envolvidas durante a sedimentação do grupo G5 apresentam uma característica semelhante ao grupo anterior (G4), no entanto, como dito anteriormente, o G5 apresenta uma maior quantidade de material argiloso, pois esses litotipos se formariam em regiões mais profundas que G4. Em (A) o substrato é colonizado por bivalves, com a chegada de uma tempestade (B) esses bivalves são removidos e retrabalhados pela ação das ondas, com o fim desse período de maior energia, ocorre a sedimentação e uma nova colonização do substrato (C). Por estar próximo ao nível de onda de tempestade, é comum ação de correntes turbulentas e rápida deposição, de modo que os bioclastos depositem-se caoticamente sem orientação preferencial.

Em G6, durante períodos de calmaria (A), ocorre a colonização do substrato. Com a chegada das tempestades, os bivalves são removidos e retrabalhados (B). À medida que essa tempestade diminui, correntes de fundo podem organizar os bioclastos (C). Em um novo período de calmaria, os finos em suspensão são depositados formando lâminas argilosas que são futuramente colonizadas (D). Esse grupo apresenta energia inferior ao G5, depositando finos horizontes ora com conchas ora com argila.

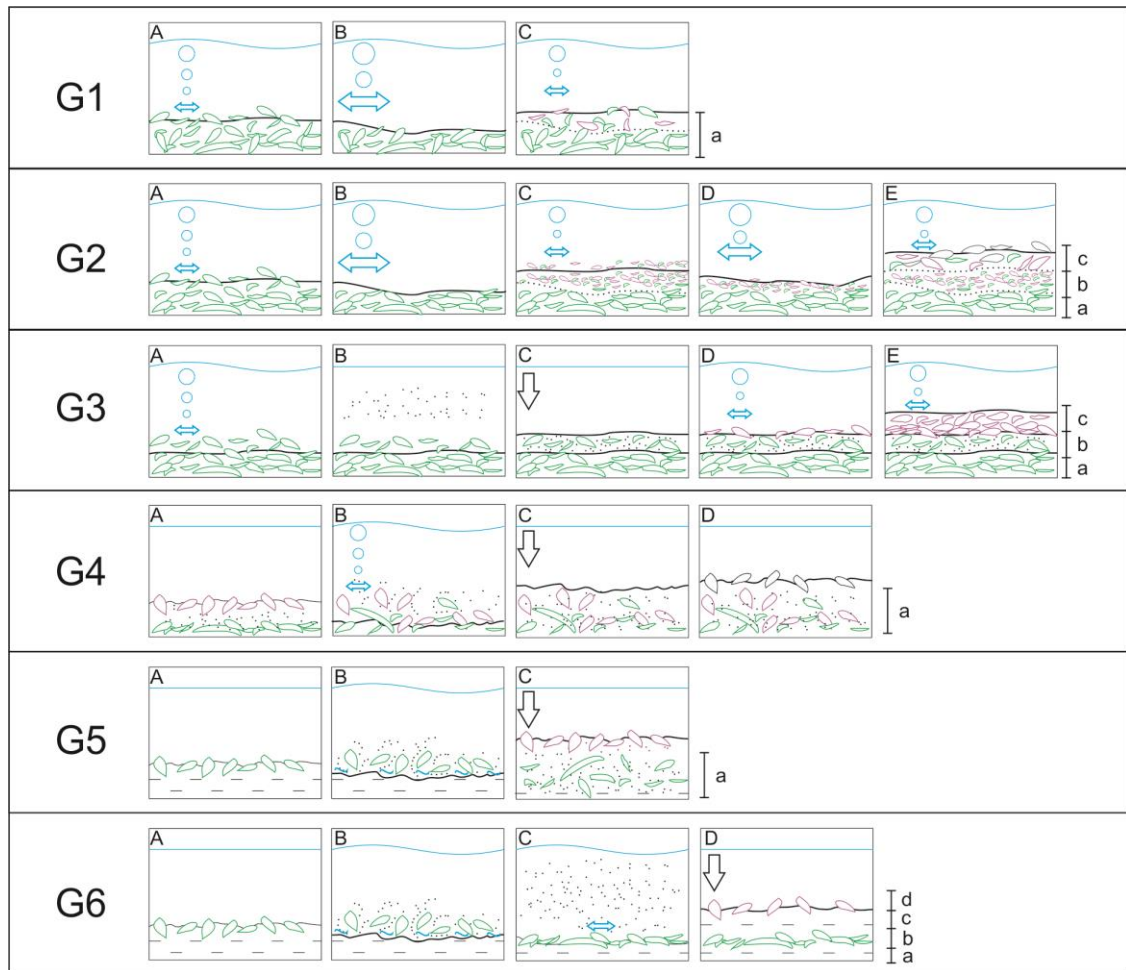


Figura 9: Modelo representativo dos processos sedimentológicos envolvidos nos grupos G1-G6. As valvas verdes representam uma primeira geração de conchas, roxas uma segunda geração e pretas uma terceira geração.

Deposição das coquinas e *background* sedimentar

Após a definição dos grupos, um modelo de tafofácies é proposto relacionando os grupos com os níveis de ondas de tempo bom e onda de tempestade. Os grupos G1 a G3 representam em sua maioria *rudstones*, esse grupo se encontra acima do nível de base de onda de tempo bom onde há o constante retrabalhamento por ondas com influência de tempestade. De maneira geral os bioclastos são fragmentados, desarticulados e a matriz é composta basicamente por fragmentos de conchas, onde matriz argilosa é encontrada no grupo G2 e G3, no nível basal de ondas de tempo bom, gerados em períodos de calmaria.

Os grupos G4 a G6 são compostos por *rudstones*, *packstones* e *wackestones*, são depósitos de tempestades, de maneira geral os bioclastos apresentam menor taxa de fragmentação e é possível encontrar ocorrências de valvas de bivalve articuladas indicando um evento de energia pontual com rápida deposição e ausência de retrabalhamento constante.

De acordo com a coluna estratigráfica levantada, pode-se observar a predominância de *rudstones*, *grainstones* e *packstones*, e em menor quantidade *wackestone*, folhelhos, arenitos. De forma geral, o contato entre as diferentes litologias é bem marcado e nítido, ora tabular ora com ocorrências de contatos erosivos no topo e base, com algumas ocorrências de superfícies onduladas.

Algumas dessas rochas foram interpretadas em ciclos de *shallowing-upward*, onde observou-se sucessões de *thickening-upward* e *coarsening-upward*. Os ciclos de *shallowing-upward* nas coquinas são caracterizados geralmente pela transição de rochas com maior quantidade de matriz (*wackestone* e *packstone*) para rochas com pouca ou nenhuma matriz (*grainstone* ou *rudstone*) com aumento de granulometria em direção ao topo. Kinoshita (2010) afirma que esses ciclos estão diretamente relacionados com a oscilação do nível do lago, onde há uma transição de ambiente profundo de menor energia para ambiente raso de maior energia. Em menores quantidades também ocorrem ciclos de *thinning-upward*, onde ocorrem transições de *grainstones* e *rudstones* para *packstones* e *wackestones* em direção ao topo, indicando uma transição de ambiente raso para profundo. Isso ocorre devido a oscilação do nível de água causado por influências climáticas ou tectônicas. Tavares et al. (2015) também menciona a ocorrência de ciclos de *shallowing-upward* levando em consideração os aspectos tafonômicos (grau de fragmentação das valvas), onde é comum a transição de fácies de ambientes de baixa energia (Cm e Cmi) para grupos de maior energia (Cf e Cfi) durante todo afloramento.

Buckovic et al. (2005), faz uma discussão referente a arquitetura deposicional de uma sequência *coarsening-upward* e afirma que a oscilação do nível d'água implica diretamente na mudanças texturais nas rochas carbonáticas e nas características deposicionais. Essas mudanças também são observadas nas coquinas, através das diferentes características tafonômicas observadas nos diferentes grupos definidos.

No entanto a oscilação no nível do lago não é o único fator associado as diferentes características texturais das coquinas. Outra relação associada a essa diferença é o *background* sedimentar, Kidwell (1986) relaciona o aporte sedimentar e taxa de produção biológica e conclui que a variação desses fatores também influencia de forma direta o tipo de acumulação de coquina (figura 10i). A autora apresenta um modelo com 4 situações, I e II estão relacionados a diminuição da taxa de sedimentação de terrígenos em direção ao topo o que leva a uma acumulação densa de bioclastos que pode apresentar estruturas erosivas, III e IV

são condições inversas a I e II. A figura 10ii relaciona os ambientes I-IV e suas características tafonômicas e intensidade para cada situação.

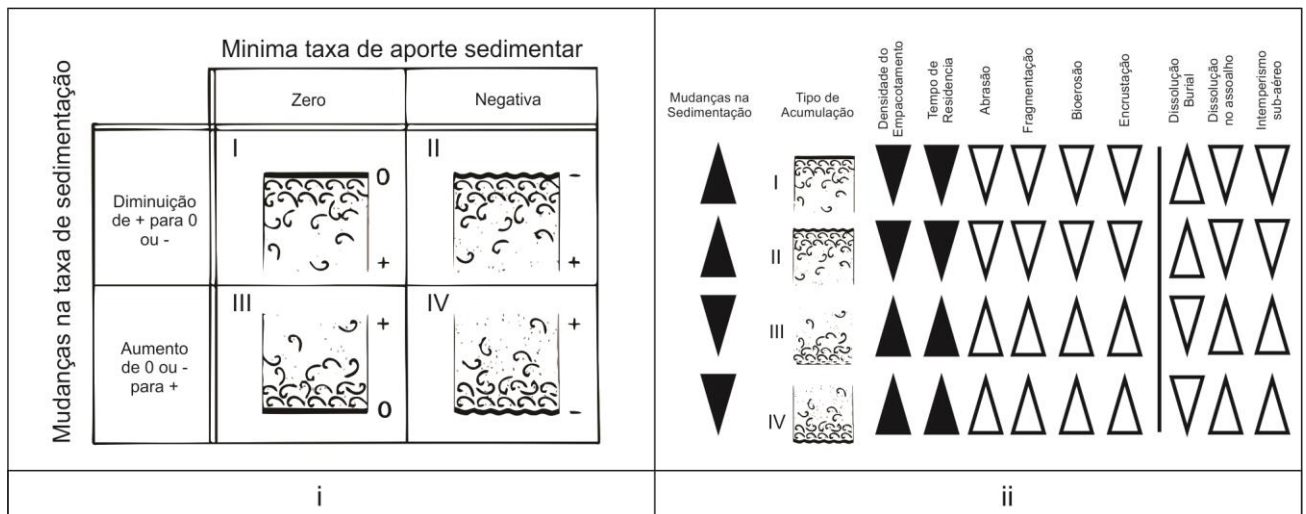


Figura 10: i) relação entre taxa de sedimentação e produção bioclástica.

ii) relação dos modelos de deposição e características tafonômicas de conchas.

(Modificado de Kidwell, 1986)

Esse modelo revela que ambientes com aporte de terrígenos maior que a taxa de produção bioclástica tendem a formar acumulações com bioclastos com contatos flutuantes (III e IV) com poucos sinais de abrasão, fragmentação, incrustação e bioerosão, enquanto em condições de bacias famintas com alta produção de bioclastos tendem a formar acumulações bioclásticas densas (I e II) com maior taxa de abrasão, fragmentação, bioerosão e incrustação.

Tavares et al. (2015) apontam um aumento de aporte siliciclástico em direção ao topo do afloramento associado a entrada desse material por sistemas fluviais em períodos chuvosos com a ocorrência das fácies “Cfi” e “Cmi”. O maior aporte de material siliciclástico pode influenciar nos processos sedimentológicos, principalmente nas fácies mais distais como os grupos G4-G6, isso pode ser observado principalmente nas rochas que compõe o grupo G6, onde as laminações argilosas podem ocorrer na forma de finas lâminas milimétricas de argila (<1mm), ou de forma mais espessa (entre 2-4mm).

Associado a estes fatores existe o *time-averaging*, que implica na mistura de bioclastos com diferentes idades deposicionais. Isso pode ser observado nos grupos G5-G6 por exemplo, onde há a existência de conchas articuladas e fragmentadas em uma mesma camada, o que implica em períodos de acumulação com energias diferentes que foram misturados resultando em uma única camada. Esses grupos poderiam se enquadrar em situação do tipo IV, que associados a tempestades representam períodos em que ora depositam conchas, ora depositam

terrígenos, Kidwell (1986) afirma que depósitos do tipo II e IV dominam em situações *shoreline* e *offshore* pouco fundo (*offshore shoal environments*), enquanto I e III dominam em situações mais distais de baixa energia.

Com base nessas informações, é possível observar a predominância dos grupos II e IV para as coquinas da Formação Morro do Chaves. O modelo II representa as coquinas G1 a G3 dentro do modelo de tafofácies, onde o aporte siliciclástico é baixo, gerando acumulações densas de bioclastos, com altas taxas de abrasão e ocorrência de superfícies erosivas e onduladas. O grupo G4 seria uma transição entre II e IV onde o aporte de terrígenos é maior, gerando acumulações densas a frouxas, e os grupos G5 e G6 representariam acumulações do tipo IV com acumulações de bioclastos dispersas e contatos erosivos devido a ação de tempestades. A figura 11 mostra a associação do modelo de tafofácies com a concentração de sedimentos finos cuja granulometria inferior a areia fina, concentração de conchas e a taxa de fragmentação e abrasão.

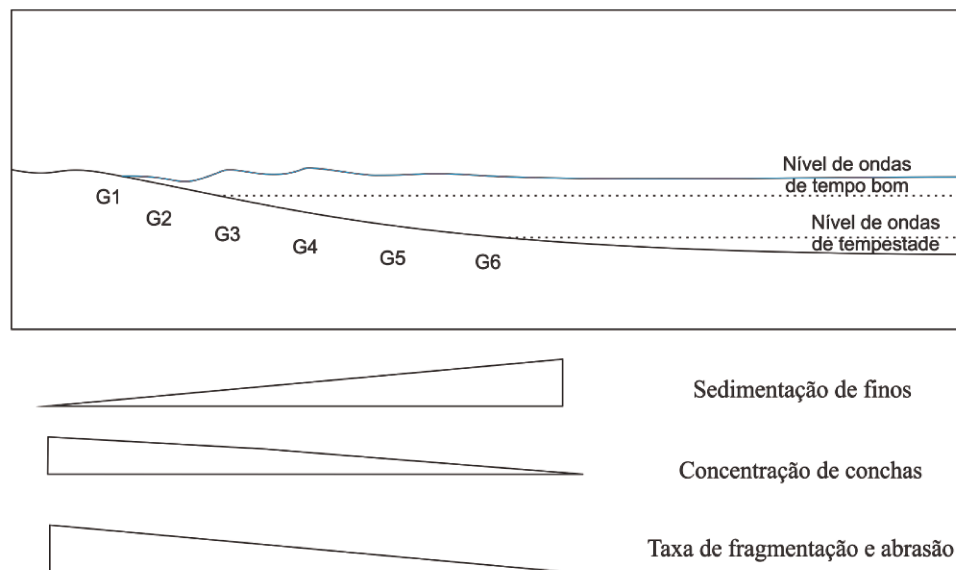


Figura 11: Relação do modelo de tafofácies com aporte sedimentar de terrígenos finos, concentração de conchas e taxas de abrasão e fragmentação.

CONCLUSÃO

Podemos concluir que as características tafonômicas estão diretamente relacionadas com a energia do ambiente deposicional para as coquinas pertencentes a Formação Morro do Chaves, seus diferentes estágios de preservação, orientação e presença de argila na matriz são indícios para diferenciar coquinas de tempestade e coquinas de ondas de tempo bom como abordado por Tavares et al (2015). Um total de seis grupos de coquinas foi identificado, sendo caracterizado como seis diferentes fácies, três para ambientes localizados no nível de onda de tempo bom e três para ambientes de tempestade.

De maneira geral, coquinas acima de ondas de tempo bom apresentam bioclastos fragmentados, desarticulados e ausência de matriz argilosa, são compostas principalmente por *rudstones*, enquanto coquinas depositadas abaixo desse nível apresentam uma menor quantidade de fragmentação dos grãos e há o aumento considerável de matriz argilosa que representam os *packstones* e *wackestones*.

É possível observar que a Formação Morro do Chaves apresenta uma oscilação entre os diferentes grupos, diversos pacotes de coquinas apresentam diferentes características tafonômicas diretamente ligadas ao ambiente deposicional e essa oscilação pode ocorrer em escala milimétrica a métrica no afloramento.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, D., WARME, J.E. Lacustrine and associated deposits in a rifted continental margin—Lower Cretaceous Lagoa Feia Formation, Campos basin, Offshore Brazil. In: Katz, B.J. (Ed.), Lacustrine Basin Exploration—Case Studies and Modern Analogs: AAPG Memoir 50. AAPG, Tulsa, Oklahoma, USA, pp. 287–305, 1990.
- AQUINO, G. S., LANA, M. C. Exploração na Bacia de Sergipe-Alagoas: O "Estado da Arte". Boletim Geociências PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 4(1), p 75-84, ano 1990.
- ASMUS, H. E., BAISCH, P. R. Geological Evolution of the Brazilian Continental Margin. Episodes, vol. 1983. n. 4., 1983.
- ASMUS, H. E., PORTO, R. Diferenças nos Estágios Iniciais da Evolução da Margem Continental Brasileira: Possíveis Causas e Implicações. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, Santa Catarina, V.1, pp. 225-239, 1980.
- BELILA, A. M. P. CARACTERIZAÇÃO PETROFÍSICA DOS CARBONATOS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2014.
- BUENO, G. V. Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 203-229, maio/nov. 2004.
- BUCKOVIC, D., TESOVIC, B. C., MEZGA, A. The origin of coarsening-upward cycle architecture; an example from Middle Liassic platform carbonates of mountain Velika Kapela (Croatia). Geologia Carpathica, October 2005, V 56, 5, p. 407-414.
- CAMPOS NETO, O.P.A.C, Lima, W.S., Cruz, F.E.G., 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, maio/nov. 2007.
- CASTRO, J. C. Evolução dos conhecimentos sobre as coquinas-reservatório da Formação Lagoa Feia no Trend Badejo-Linguado-Pampo, Bacia de Campos. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 25, n. 2, p. 175-186, 2006.
- CHANG, H. K., KOWSMANN, R. O., FIGUEIREDO, A. M. F., BENDER, A. A., Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. Tectonophysics, 213, p 97-138, 1992.
- ESTRELLA, G.O. O Estágio Rift nas Bacias Marginais do Leste Brasileiro. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia. v.3, p. 29-34, 1972.
- EL-AYYAT, A. M. E KASSAB A. S. Biostratigraphy and facies analysis of the upper Cretaceous oyster storm shell beds of the Duwi formation, Qusseir District, Red Sea Region, Egypt. Journal of African Earth Sciences v. 39, p. 421–428, 2004.

FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p 149-16, jan./mar. 1994.

FIGUEIREDO, A. M. F. Depositional Systems in the Lower Cretaceous Morro do Chaves and Coqueiro Seco Formations, and their Relationship to Petroleum Accumulations, Middle Rift Sequence, Sergipe–Alagoas Basin, Brazil. 275 p. Austin. Tese de Doutorado – The university of Texas in Austin, 1981.

FURSICH, F. T., OSCHMANN, W. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. Journal of the Geological Society, London, Vol. 150, 1993, pp. 169-185. 1993.

HORSCHUTZ, P. M. C., SCUTA, M. S., FÁCIES-PERFIS E MAPEAMENTO DE QUALIDADE DO RESERVATÓRIO DE COQUINAS DA FORMAÇÃO LAGOA FEIA DO CAMPO DE PAMPO. B. Geoci. PETROBRÁS. Rio de Janeiro. 511/21 :45-5B. jan./jun. 1992.

JAHNERT, R., PAULA, O., COLLINS, L., STROBACH, E., PEVZNER, R. Evolution of a coquina barrier in Shark Bay, Australia by GPR imaging: Architecture of a Holocene reservoir analog. Sedimentary Geology 281 (2012) 59–74.

KIDWELL, S.M. The stratigraphy of shell concentrations. In Taphonomy, Releasing the Data Locked in the Fossil Record (P.A. Allison & D.E.G. Briggs, eds.). New York: Plenum Press, p. 211-290, 1991.

KIDWELL, S. M. Models for fossil concentrations: paleobiologic implications. Paleobiology 12(1), p. 6-24, 1986.

KIDWELL, S.M., F.T. FURISCH, AND T. AIGNER. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. Palaios 1: 228-238, 1986.

KIDWELL, S.M., And HOLLAND, S.M. Field description of coarse bioclastic fabrics. Palaios 6(4): 426-434, 1991.

KINOSHITA, M. E. Modelagem sísmica-geométrica de fácies dos carbonatos lacustres da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas, B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 249-269, maio/nov. 2010.

KOHONEN, T. (Eds.) 2001. Self-Organizing Maps. 3 ed. Berlin: Springer, p.501.

LANA, M. C. Bacia de Sergipe-Alagoas: uma hipótese de evolução tectono-sedimentar. Em GABLAGIA, G. P. R. & MILANI, E. J. 1990. Origem e evolução das bacias sedimentares. Petrobrás. 2ª edição. P. 311-332

MCGLUE, MICHAEL M., ET AL. Environmental controls on shelf-rich facies in tropical lacustrine rifts: A view from Lake Tanganyika's littoral. Palaios, V. 25, p. 426-438, 2010.

MIDDLETON, G. V. The orientation of concavo-convex particles deposited from experimental turbidity currents, 1966.

MILANI, E.J., LANA, M.C. & SZATMARI, P. Mesozoic rift basins around the Northeast Brazilian microplate (Recôncavo-Tucano-Jatobá, Sergipe-Alagoas). In *Triassic-Jurassic rifting*, ed Manspeizer, W., pp. 833-858. Elsevier, Developments in Geotectonics 22, Amsterdam, the Netherlands, 1988.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta geológica, 2009, Folha Arapiraca, SC. 24-X-D. Escala 1:250000.

MONACO, P. Biological and Physical Agents of Shell Concentrations of Lithiotis Facies Enhanced by Microstratigraphy and Taphonomy, Early Jurassic, Trento Area (North Italy). *GeoResearch Forum* vol. 6, p. 473-486, 2000.

OJEDA, H. A. E FUGITA, A. M. Bacia Sergipe/Alagoas. *Geologia Regional e Perspectivas Petrolíferas*. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. v. 1, p.137-158, 1974.

PONTE, F.C. & ASMUS, H.E. The Brazilian Marginal Basins: Current state of knowledge. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48:215-239, 1976.

PONTE, F.C. & ASMUS, H.E. As bacias marginais brasileiras: estágio atual de conhecimento. *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 385-420, maio/nov. 2004

PONTES, N. V. Análise Estratigráfica e Geoquímica Através de Isótopos de Enxofre em Sequências Pelíticas e Mistas na Formação Morro do Chaves da Bacia Sergipe-Alagoas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, 2013.

RADLEY, J. D., BARKER M. J. Palaeoenvironmental significance of storm coquinas in a Lower Cretaceous coastal lagoonal succession (Vectis Formation, Isle of Wight, southern England). *Geological Magazine*, 137, pp 193-205. 2000.

RICO-GARCIA, A., AGUIRRE, J., GONZÁLEZ-DELGADO, J. A. Taphonomy and taphofacies models of the Pliocene deposits of Vejer de la Frontera (Cádiz, SW Spain). *Geobios* v. 41, p. 543–558, 2008.

SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. *Boletim técnico da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, (12) 1, p.21-86. Jan/mar 1969.

Simões, M. G., Kowalewski, M., Torello F. F., Ghilhardi, R. P., Mello, L. H. C., 2000. Early onset of modern-style shell beds in the Permian sequences of the Paraná Basin: Implications for the Phanerozoic trend in bioclastic accumulation. *Revista Brasileira de Geociências* V. 30(3), p. 499-503.

Simões, M. G., Torello, F. F. Modelo de Tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formação Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, V 33(4), p. 371-380, 2000.

SOUZA-LIMA, W.; ANDRADE, E. J.; BENGTON, P.; GALM, P. C. A Bacia de Sergipe-Alagoas: Evolução geológica, estratigráfica e conteúdo fóssil. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2002. 34 p. Edição especial.

TAVARES, Ana Carolina et al. Facies and depositional environments for the coquinas of the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin, defined by taphonomic and compositional criteria. **Braz. J. Geol.**, São Paulo, 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-48892015005030211&lng=en&nrm=iso>. access on 08 Nov. 2015. Epub Sep 08, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-488920150030211>.

TERRA, G. J. S., et al. Classificação das rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 9-29, nov. 2009/maio 2010.

VAN DER VEN, P. H., CAINELLI, C., FERNANDES, G. J. F. Bacia de Sergipe-Alagoas: Geologia e Exploração. *B. Geoci. PETROBRAS*, Rio de Janeiro; 3 (4):307-319, out/dez. 1989.

WANI, R. Taphofacies models for Upper Cretaceous ammonoids from the Kotanbetsu area, northwestern Hokkaido, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Volume 199, Issues 1–2, 15 October 2003, Pages 71–82.

YASERES-GÁRCIA, J., AGUIRRE, J. Quantitative taphonomic analysis and taphofacies in lower Pliocene temperate carbonate–siliciclastic mixed platform deposits (Almeri´a-Ni´jar basin, SE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, v 207 p. 83–103.

YUE LI, JINJENG SHA, QIFEI WANG, SIWEI CHEN. Lacustrine tempestite litho- and biofacies in the Lower Cretaceous Yixian Formation, Beipiao, western Liaoning, northeast China. *Cretaceous Research* 28 (2007) p. 194-198.

ZUSCHIN, M. AND HOHENEGGER, J. Subtropical Coral-reef Associated Sedimentary Facies Characterized by Molluscs (Northern Bay of Safaga, Red Sea, Egypt). *FACIES*, 38: 229-254. 1998.

Amostra	Concavidade (%)					Articulação	Fragment	abrasão	Seleção	Densidad
	Cima	Cima obliq	Vertical	Baixo Obliq	Baixo					
A 18	27,21	13,97	5,88	18,38	34,56	0	1	1	1	2
A 13	32,99	17,53	4,12	18,56	26,80	0	1	1	2	2
coq 101	27,03	11,71	17,12	17,12	27,03	0	0	2	1	2
coq 104	27,52	20,18	11,93	14,68	25,69	0	1	0	1	2
g33	21,19	13,56	16,95	19,49	28,81	0	1	1	1	2
Coq 13	17,07	9,76	20,73	21,95	30,49	0	1	1	2	1
Coq 16	12,79	18,60	6,98	29,07	32,56	1	1	2	2	1
Coq 17	24,47	17,02	10,64	21,28	26,60	0	1	1	0	1
A 9	13,95	2,33	12,79	41,86	29,07	0	2	3	1	1
coq 110	23,42	12,61	18,92	26,13	18,92	1	0	2	1	1
Coq 9	19,54	13,79	10,34	22,99	33,33	0	1	2	1	2
A 14	20,00	6,25	13,75	16,25	43,75	0	2	3	2	2
A 8	21,43	8,93	8,93	14,29	46,43	0	2	1	0	1
Coq 4	11,76	17,65	19,61	27,45	23,53	0	1	1	0	2
Coq 7	18,18	14,77	14,77	28,41	23,86	0	1	2	1	2
Coq 8	23,94	16,90	19,72	18,31	21,13	1	1	0	1	2
A 10	20,00	19,29	17,14	21,43	22,14	0	0	0	2	1
A 6	30,19	16,98	11,32	24,53	16,98	0	1	1	0	1
A1	27,68	16,07	16,96	15,18	24,11	1	1	2	1	1
Coq 1	22,00	22,00	20,00	26,00	10,00	0	1	1	2	2
Coq 14 a	19,70	22,73	24,24	22,73	10,61	0	2	1	1	2
Coq 14 b	10,53	22,81	29,82	22,81	14,04	0	2	1	1	2
Coq 15	28,85	24,04	17,31	14,42	15,38	0	1	2	1	2
Coq 18	16,35	17,31	18,27	26,92	21,15	0	1	1	2	2
Coq 19	15,79	14,47	27,63	15,79	26,32	0	1	2	2	2
Coq 20	16,22	20,27	28,38	17,57	17,57	0	1	1	2	2
Coq 22	15,91	18,18	23,86	20,45	21,59	0	1	0	2	2
coq 112	27,73	18,49	16,81	15,13	21,85	0	1	0	1	2
Coq 11	10,13	24,05	24,05	20,25	21,52	1	1	1	1	2
Coq 12	11,11	28,57	25,40	19,05	15,87	0	1	0	2	1
A 3	6,90	33,33	21,84	32,18	5,75	0	1	1	1	1
A 2	15,24	27,62	19,05	25,71	12,38	1	1	0	1	1
Coq 2	16,98	20,75	22,64	20,75	18,87	1	0	0	1	2
Coq 6	15,79	27,63	17,11	19,74	19,74	0	1	3	2	2
Coq 10 a	21,43	26,53	19,39	16,33	16,33	1	1	1	2	2
Coq 10 b	19,64	21,43	18,75	24,11	16,07	1	1	1	2	2
A 20	16,53	27,27	25,62	15,70	14,88	1	1	1	2	2
Coq 3	14,55	20,00	21,82	27,27	16,36	0	2	1	0	1
A 4	12,75	15,69	9,80	43,14	18,63	0	0	0	0	1
packstone	20,99	25,93	7,41	18,52	27,16	1	0	0	0	1

Tabela 2: Resultado final da obtenção dos dados tafonômicos

ANEXO II

ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA DAS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS

CHINELATTO, Guilherme Furlan, Vidal, Alexandre Campane

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP). R. Pandiá Calógeras, 51. CEP: 13083-970. Campinas, SP. Caixa Postal: 6152.
Endereços eletrônicos: guichinelatto@ige.unicamp.br; vidal@ige.unicamp.br;

RESUMO: Determinar o tipo de litologia em subsuperfície é um dos grandes desafios impostos para geólogos e geofísicos que atuam na indústria do petróleo. Como solução, através de ferramentas e técnicas específicas é possível aproximar-se a algumas das principais características litológicas essenciais para a determinação de um reservatório e sua qualidade. Alguma das ferramentas que ajudam na determinação litológica do substrato é o aparelho de medições de Raio-Gama, muito utilizada em perfis de poços, que mede as concentrações de isótopos de potássio (K), tório (Th) e urânio (U), que se concentram em diferentes porções para cada tipo litológico. A Formação Morro do Chaves da Bacia de Sergipe-Alagoas é composta basicamente por carbonatos e folhelhos depositados em um ambiente lacustre desenvolvido durante a fase rifte da separação do supercontinente Gondwana durante o Cretáceo Inferior, e se assemelham a depósitos contidos no pré-sal da Bacia de Campos depositados no mesmo intervalo geológico. Devido essa semelhança realizou-se o estudo de fácies de afloramento localizado na pedreira CIMPOR em São Miguel dos Campos – Alagoas, Brasil, resultando em um perfil estratigráfico relacionando o tipo de rocha encontrada e sua resposta com o raio gama através do gama espectrômetro portátil RS-230. Os dados ainda foram comparados com os perfis de dois poços disponibilizados pela ANP do Campo de Furado, perfurados próximo à região da pedreira a fim de verificar sua extensão lateral. Como resultado foi possível identificar ciclos shallowing-upward e deepening-upward das coquinas e como esses ciclos estão distribuídos no perfil, além de confirmar a extensão lateral de algumas litologias como no caso de folhelhos e rudstones devido a intensidade dos seus respectivos picos de intensidade gama. Um modelo 3D foi realizado levando em consideração a distribuição lateral das litologias.

Palavras chave: Morro do Chaves, Raio gama, gamaespectrometria, coquina.

ABSTRACT: Determine the type of lithology in subsurface is one of the great challenges for geologist and geophysicists that act in oil industry. As a solution, through specific tools it's possible to approach to some of the major lithological characteristics essential for determinate a reservoir and your quality. Some of these tools that aid at lithological determination is a Gamma Ray measures tool, widely used in well profiles, which measures the isotope concentration of Potassium (K), Thorium (Th) and Uranium (U) that concentrate in different portions for each lithological type. The Morro do Chaves Formation located at Sergipe-Alagoas Basin is compound basically by limestone and shale deposited in lacustrine environmental developed at rift phase of supercontinent Gondwana at Early Cretaceous, and they are similar to pre-salt reservoirs located at Campos Basin deposited at the same geological time. Owing this similarity, one study of facies outcrop at CIMPOR quarry located at São Miguel dos Campos in Alagoas state was made, resulting in a stratigraphic profile related the kind of rock and your response with gamma ray through the portable spectrometer RS-230. The data were also compared with the profiles of two wells provided by the ANP of Furado Field, drilled near the quarry area in order to verify the lateral extension. As a result it was possible to identify shallowing-upward cycles and deepening-upward of coquinas and how these cycles are distributed in profile, besides confirming the lateral extension of some lithologies as shales and rudstones because their intensity of the respective intensity peaks range. A 3D model was performed taking into account the lateral distribution of lithology.

Keywords: Morro do Chaves, gamma ray, coquina.

INTRODUÇÃO

A utilização do perfil de raios gama aplicado à interpretação geológica tem grande potencial na análise de afloramentos análogos à reservatórios de petróleo (Aigner et al, 1995; Fiet & Gorin, 2000; Correia et al, 2012). Diversos trabalhos utilizam o perfil de raios gama para a determinação e correlação de fácies, sendo possível interpretar o ambiente deposicional e a evolução dos depósitos dentro de uma bacia sedimentar (Fiet & Gorin, 2000; Keighley et al, 2003; Pawellek & Aigner, 2003; Radadi et al, 2005; Ehrenberg & Svana, 2008).

As Bacias de Campos e Santos possuem alguns campos petrolíferos onde as coquinas constituem as rochas reservatório (Castro, 2006). Essas rochas foram depositadas durante a fase rifte que resultou na separação das placas continentais Sul-Americana e Africana, essa separação gerou uma sequência de depósitos análogos em quase toda costa continental brasileira quanto africana (Asmus 1980; Brownfield e Charpentier 2006). As coquinas da Formação Morro do Chaves que pertencem a Bacia de Sergipe-Alagoas, são consideradas depósitos análogos aos observados na Bacia de Campos. As coquinas representam uma sequência de deposição com intercalações de folhelhos depositados em um ambiente lacustre durante o Barremiano-Aptiano.

Por esse motivo, para a compreensão das heterogeneidades em reservatórios constituídos por coquinas é de grande importância o entendimento das características geológicas da Formação Morro do Chaves. Vários autores utilizam os afloramentos das coquinas da Formação Morro do Chaves como análogos aos reservatórios da Bacia de Campos (Abrahão & Warme, 1990, Garcia et al., 2015, Tavares et al., 2015), porém poucos são os trabalhos que buscam correlações baseadas nas informações de raios gama.

Com isso, esse trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a variação das fácies levantadas em afloramento e sua resposta nas informações de Raios-Gama, delimitando dessa forma características relacionadas as propriedades de reservatório.

GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O afloramento estudado está localizado na Pedreira CIMPOR, situada cerca de 5km a noroeste da cidade de São Miguel dos Campos no estado de Alagoas, cujo acesso é pela Rodovia Governador Mario Covas (AL-220), km 135 (Figura 1). A pedreira está em atividade e conta com uma extensão de aproximadamente 1km de extensão e 70m de profundidade com diversos afloramentos disponíveis para o estudo.

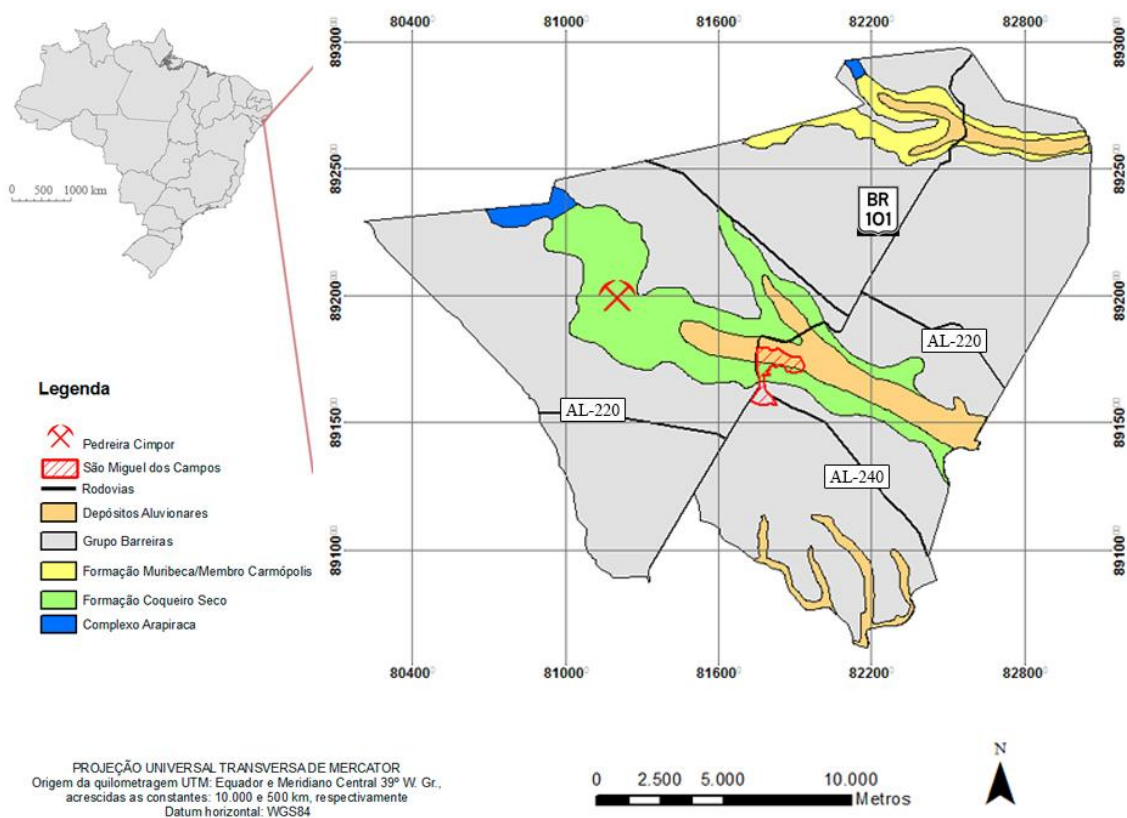


Figura 1: Mapa Geológico do Município de São Miguel dos Campos – AL. (Modificado de CPRM 2009)

A Bacia de Sergipe-Alagoas está limitada a norte pelo Alto de Maragogi com a Bacia de Pernambuco-Paraíba e a sul pelo sistema de falhas Vaza Barris com a Bacia de Jacuípe, ela ocupa uma faixa alongada na direção NE-SW entre os estados de Sergipe e Alagoas, e ocupa uma área de aproximada de 35.000 km² (Feijó, 1994). A Bacia é constituída por um conjunto de falhas N-S interceptados por falhas E-W e NE-SW, resultando em uma configuração NE-SW (Van Der Ven et al., 1989). Estruturalmente ela consiste em um meio graben mergulhando para sudeste (Ojeda & Fugita, 1976 apud Souza-Lima et al., 2002).

A origem da bacia está relacionada com a separação do supercontinente Gondwana e a consequente abertura do Atlântico Sul (Souza Lima et al 2002), ocasionando o preenchimento sedimentar com diferentes estágios evolutivos (Falkenhein et al 1986, Feijó 1994; Neto et al., 2007). Falkenhein et al. (1986) dividiu o pacote sedimentar em 4 megasequências, elas são separadas pelas suas discordâncias regionais, características deposicionais e estilos tectônicos, em estágios definidos como sequencia pré-rifte, rifte, transição e pós-rifte.

A Formação Morro do Chaves foi depositada durante o estágio rifte, fase que originou um ambiente de lagos profundos em clima árido, constituídos principalmente por coquinas e em menor quantidade folhelhos, arenitos e conglomerados (Figueiredo, 1981, Kinoshita, 2010, Teixeira, 2013, Tavares et al. 2015). De acordo com Neto et al. (2007), a Formação Morro do Chaves ocorre no intervalo de idade entre o Neojiquiá a Eoalagoas em diferentes estágios de pulso tectônico que se propagou para toda a bacia.

Segundo Figueiredo (1981), as coquinas formam depósitos que representam antigas plataformas carbonáticas lacustres depositados em águas rasas e altos estruturais (Figueiredo, 1981). Azambuja et al. (1998) afirma que esses depósitos são característicos de ambientes de alta energia periodicamente influenciados por tempestades. Dessa forma a acumulação de bioclastos ocorreu principalmente através de eventos que retiram do substrato os bivalves, os quais são transportados, retrabalhados e depositados na linha de costa em forma de barra de coquinas, leques de *washover* e praias.

Essas rochas foram depositadas concomitantemente a arenitos flúvio-deltaicos da Formação Coqueiro Seco (Figueiredo 1981, Lana, 1990; Chang et al., 1992), que em porções da bacia intercalam-se com os depósitos da Formação Morro do Chaves. O contato inferior da Formação Morro do Chaves é concordante com os depósitos da Formação Penedo e o contato superior com a Formação Coqueiro Seco é erosivo e gradacional na sub-bacia de Sergipe, enquanto na sub-bacia de Alagoas é marcado pela ocorrência de um calcário gredoso (*chalky*). Em direção a margem da bacia a unidade migra lateralmente para os depósitos da Formação Rio Pitanga (Schaller, 1969).

MATERIAIS E MÉTODOS

Levantamento do perfila gama

Os dados foram coletados a partir das rochas aflorantes na lavra da mina, o que possibilitou um levantamento vertical de aproximadamente 45 metros. O trabalho de campo consistiu na descrição geológica e construção do perfil estratigráfico, realizando o levantamento das características texturais e estruturas sedimentares de cada camada observada. As coquinas foram classificadas de acordo com Dunham (1964) e Embry & Klovan (1971) pois consideram o conteúdo de lama carbonática e a distinção entre o tamanho de grãos. A descrição foi realizada de forma concomitante a aquisição dos dados gamaespectrométricos.

O levantamento de raios gama foi realizado com o uso do aparelho RS-230, um medidor de intensidade gama portátil que possibilita uma análise espectral para os isótopos de potássio (K), tório (Th) e urânio (U), permitindo identificar como esses elementos estão distribuídos em diferentes litologias no afloramento.

A análise de radioatividade gama foi obtida através do gamaespectrômetro portátil RS-230, com contagem programada em 120 segundos por medida, nas quais foram realizadas em sequências de 10-15 cm em contato com uma superfície plana da rocha aflorante.

O espectrômetro exibe como resultado uma contagem de radiação por tempo em ciclos por minuto (cpm) para os elementos potássio (K), tório (Th) e urânio (U), que são convertidos em porcentagem (%) para o K e partes por milhão (ppm) para U e Th. O volume de rocha amostrada por esse aparelho é o equivalente a uma esfera de 103cm³.

A área da mina está sobre a área do Campo de Furado, onde os poços 3FU-0005 e 7FU-0107 estão posicionados muito próximos ao afloramento. Os perfis de raio gama desses poços foram disponibilizados pela ANP, dessa forma foi possível correlacionar os dados desses poços com os dados levantados em afloramento, determinando a distribuição lateral das camadas e as concentrações para os três isótopos.

A intensidade do sinal gerado pelo gamaespectrômetro foi convertida para a unidade API (unidade padrão de medida para indústria petrolífera), pois dessa forma é possível correlacionar o perfil de raio gama levantado no afloramento com os perfis de poços do Campo de Furado.

Descrição das coquinas

Os métodos para descrição das coquinas tiveram como base o trabalho de Kidwell et al. (1986), Kidwell e Holland (1991) e Kidwell (1991), eles consideram os aspectos tafonômicos, sedimentológicos e estratigráficos que auxiliam na interpretação de um sistema deposicional para coquinas. Furshich e W. Oschmann (1993) identificam, de acordo com a tafonomia e estruturas sedimentares, os principais processos de concentração de bioclastos como: ondas de tempo bom, ondas de tempestade, fluxo de tempestade proximal, fluxo de tempestade distal, correntes de longa duração e produtividade biológica.

Para a descrição tafonômica das valvas considerou-se as seguintes características propostas pelos autores mencionados: i) articulação das conchas, ii) seleção dos bioclastos, iii) intensidade de fragmentação, iv) abrasão/arredondamento, v) orientação das conchas, vi) densidade de empacotamento.

Preparação das argilas para análise em DRX

Algumas amostras foram selecionadas para identificar o tipo de argila presente na matriz, a separação dos argilominerais foi realizada da seguinte maneira: primeiramente as amostras foram moídas através de um moinho vibratório de ágata durante 5 a 10 minutos, em seguida 10 g de amostra seca e desagregada com granulometria inferior a 74 μ m foi misturada em 100 ml de água destilada em um béquer.

Para homogeneização, o béquer é levado ao ultrassom que agiu durante 20 minutos. Posteriormente a amostra é transferida para um tubo de ensaio onde adicionou-se 50ml de água destilada e em seguida foi levada para uma centrífuga a uma velocidade de 700rpm durante 7 minutos.

Após centrifugada, o material sobrenadante é retirado e colocado em um novo tubo de ensaio e colocados novamente na centrífuga a uma velocidade de 3000rpm durante 30 minutos. Novamente retira-se o material sobrenadante que é transferido para um novo tubo de ensaio. Feito isso, o material está pronto para realização de lâmina. Em alguns casos foi necessário realizar o processo várias vezes para a mesma amostra, devido à pouca quantidade de argila obtida.

O material no tubo de ensaio é coletado através de uma pipeta e transferido para uma lâmina de vidro, que é levado a uma estufa a uma temperatura de 40° até que esteja seca. Quando seca a lâmina é enviada para o DRX.

As amostras foram analisadas por difração de raios X pelo método do pó no Instituto de Geociências da UNICAMP. Foi utilizado um difratômetro de raios X fabricado pela

Bruker, modelo D2 Phaser, equipado com goniômetro de varredura vertical e tubo de cobre de 400 W de potência ($\lambda \text{ CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$), usando uma geometria de Bragg–Brentano no modo contínuo com uma velocidade de varredura de $0.25^\circ/\text{min}$, tendo como sistema de detecção um detector rápido também fabricado pela Bruker, modelo LynxEye. A tensão e corrente foram ajustados para 30 kV e 10 mA, respectivamente. Os difratogramas foram obtidos para um intervalo de exposição de 5° a 65° (2θ), com passos de $0,02^\circ$. As fases cristalinas foram identificadas usando o catálogo do Centro internacional para dados de difração, PDF-2 (International Center for Diffraction Data, ICDD)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Litologia

As principais litofácies observadas no perfil de afloramento são *rudstones/grainstones*, *packstones*, *wackestones* associados com folhelhos, arenitos e arenitos conglomeráticos, sendo todas as coquinas com predomínio de bivalves. A coluna estratigráfica levantada está representada na figura 3.

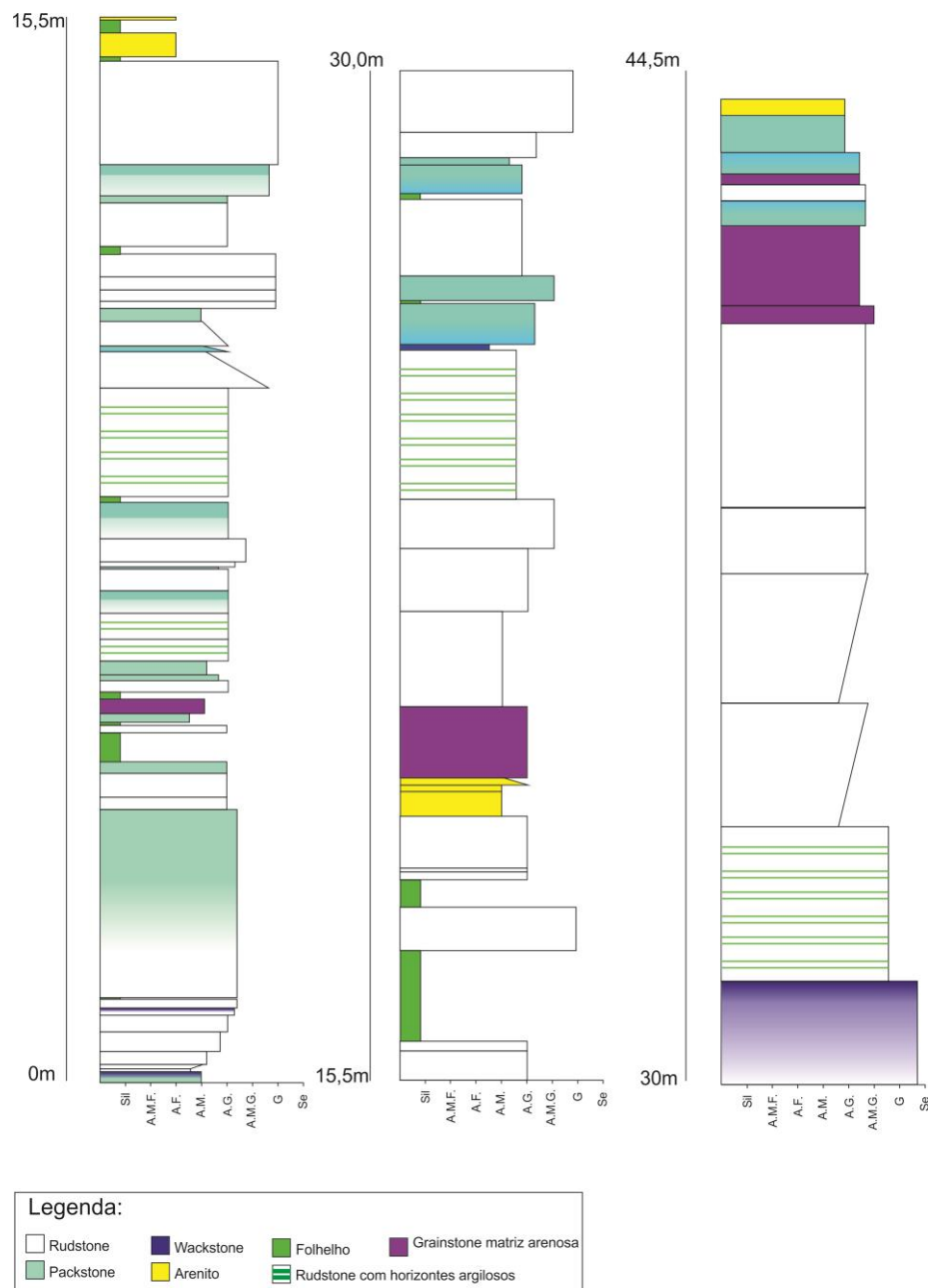


Figura 3: Perfil estratigráfico pedra CIMPOR.

Grainstones e Rudstones

As coquinas do tipo *grainstones/rudstones* são os litotipos mais frequentes no afloramento (Figura 4). A espessura dessas camadas apresentam grande variação, desde poucos centímetros a alguns metros e geralmente estão intercaladas com *packstones* e lâminas de folhelho. A base dessas camadas podem apresentar estruturas erosivas como marcas de ondas e contato planar. O topo de suas camadas podem apresentar estruturas erosivas e marcas de ondas.

As características tafonômicas dessas rochas sugerem um ambiente de alta energia e de longa duração, localizados geralmente acima do nível de ondas de tempo bom (Furshich e Oschmann, 1993), depositando camadas de coquinas em praias e barras. De maneira geral, as valvas encontram-se desarticuladas, bem fragmentadas, algumas vezes orientadas com o plano de acamamento (Figura 5 A-B), apresentam bioclastos com tamanhos que variam entre 2 a 8 mm cujo empacotamento é denso, características estas relacionadas a ambientes de alta energia (Fursich e Oschmann, 1993; Yesares-Garcia e Aguirre, 2004). Alguns *rudstones* podem apresentar dentro de seus pacotes a ocorrência de horizontes mais argilosos cujas espessuras podem variar de milímetros a alguns centímetros que se estendem lateralmente em toda camada.

Packstones

Litotipos do tipo *packstones* são frequentes, essas rochas estão presentes em sequencias onde ocorrem gradação de *packstone-rudstone* e de *rudstone-packstone*, indicando mudança na energia deposicional do ambiente. Também ocorrem camadas isoladas, que variam de poucos centímetros a decímetros (Figura 4C, 4E). Essas rochas apresentam grande variação no estado de conservação dos bioclastos cujo empacotamento pode variar desde frouxo a denso. As valvas são predominantemente desarticuladas, com moderada taxa de fragmentação, algumas vezes com sinais de abrasão e granulometria que varia entre 2mm a 6mm. A orientação das valvas pode variar desde concordante com o acamamento até aleatória (Figura 5C).

As características tafonômicas dessas rochas levam a crer que o ambiente em que foram formadas são de alta energia devido ao estado de preservação das conchas, no entanto a ocorrência de matriz argilosa indica ainda um ambiente com energia insuficiente para joeirar a lama. Ambientes de tempestade podem apresentar uma grande variação de acordo com a proximidade do seu nível de base como apresentado por Fursich & Oschmann, (1993). Esse

tipo de fácies foi interpretada como coquinas de tempestades, localizadas em ambientes abaixo do nível de onda de tempo bom.

Wackestones

Coquinas do tipo *wackestone* são menos frequentes, esse litotipo é observado em camadas com poucos centímetros a decímetros de espessura, possuem uma coloração cinza escura e geralmente ocorrem em camadas que gradam de *grainstones/packstones* para *wackestones* (Figura 4A-B). Essa gradação indica uma transição da energia do ambiente deposicional onde *packstones* e *grainstones* representam um ambiente de maior energia enquanto os *wackestones* representam um ambiente de menor energia. Quando não associada a essa variação vertical, as camadas apresentam contatos bem marcados com *packstones* e *grainstones/rudstones* (figura 4 A-B-C).

Os bioclastos de bivalves encontram-se desarticulados porém é comum a ocorrência de valvas articuladas abertas e fechadas, seu tamanho pode variar entre 1-4mm, são pouco fragmentadas, concordantes com o acamamento, geralmente dispostos com concavidade voltada para baixo, não possuem sinais de abrasão nem de bioerosão/incrustação. Algumas dessas rochas encontram-se laminadas, onde ocorrem intercalações milimétricas entre horizontes com conchas e horizontes argilosos (Figura 5-D-E). Com base nessas características, é possível determinar que essas rochas poderiam ser formadas em regiões de tempestade (Fursich e Oschmann, 1993), sendo depositadas próximo a base de ondas de tempestade. A gradação de *grainstones/packstones* para *wackestone* pode estar associada ao aumento do nível de base do lago em períodos de atuação tectônica ou variação climática, onde esses depósitos mais profundos se sobrepõe aos mais rasos.

Arenitos

Os arenitos observados em afloramento são menos frequentes e geralmente associados com o topo da seção, suas camadas variam de poucos centímetros a decímetros, possuem granulação média a fina, são mal selecionados, sub arredondados. Os arenitos estão parcialmente cimentados por calcita, apresentam uma boa porosidade e rara presença de bioclastos (Figura 5-F).

Folhelhos

Os folhelhos apresentam uma grande variação de espessura, variam desde milímetros a metros onde os mais representativos são aqueles com espessuras maiores que 20 cm, pois eles se estendem por todo afloramento. Essas camadas podem apresentar grãos de bioclastos,

restos de folhas e fragmentos ósseos de peixes fossilizados. Os folhelhos foram classificados como folhelhos negros e verdes e se intercalam com as camadas de coquinas de maneira aparentemente cíclica.

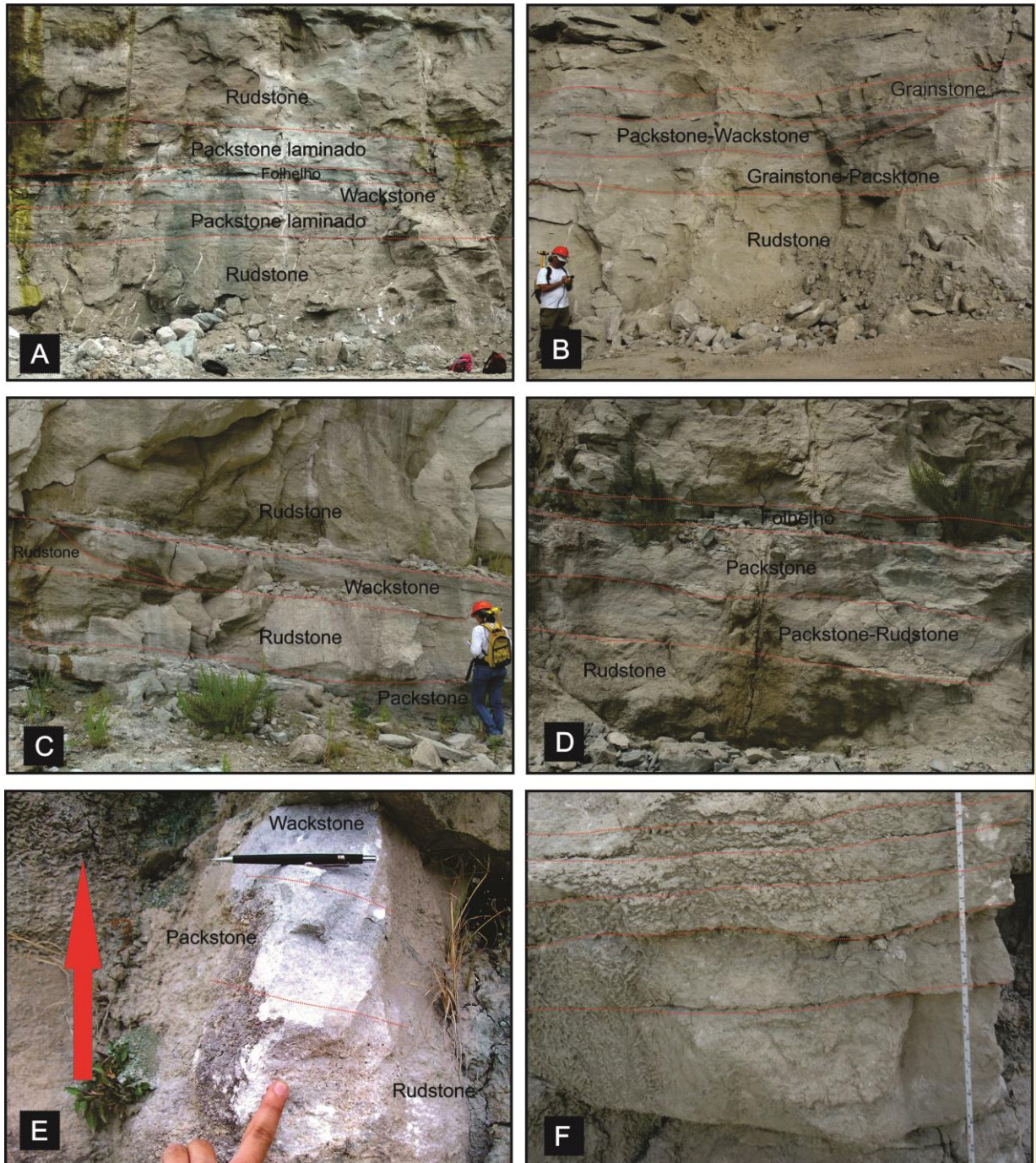


Figura 4: A-B-C) sequência de deepening-upward de rudstone para folhelho em A e de rudstones para wackstone em B e C. Em B é possível observar o contato lateral entre wackstone e rudstones já observado por Kinoshita (2010). D) Contatos entre rudstones para packstones com folhelho verde no topo. E) Transição Rudstone-Packstone seguido com thinning-upward. F) Sequência de coquinas em thinning-upward.

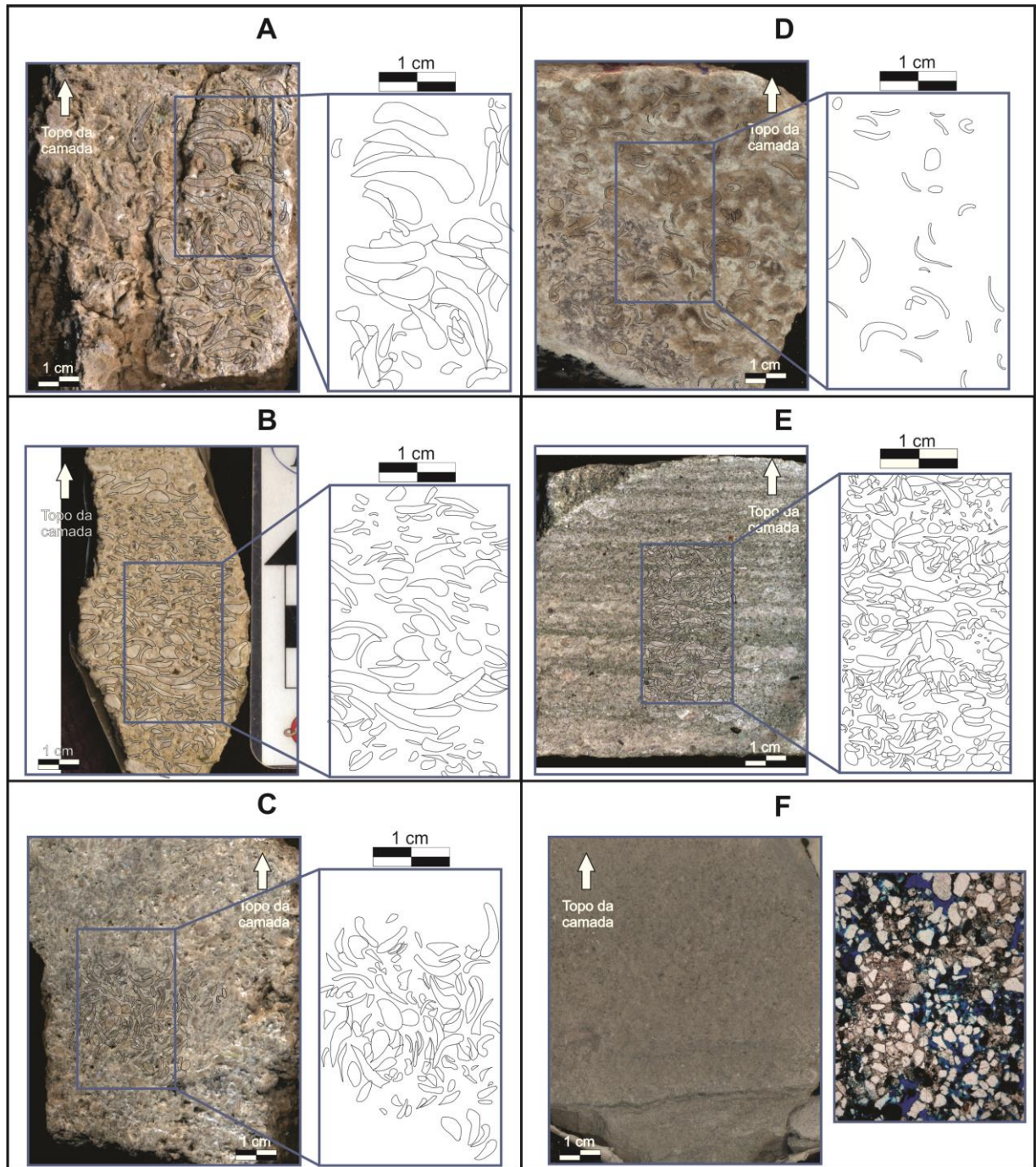


Figura 5: A-B) Rudstone bioclástico com empacotamento denso, pode apresentar valvas orientadas (B). C) Packstone bioclástico sem orientação preferencial das valvas. D) Wackestone bioclástico sem orientação preferencial das valvas. E) Wackestone bioclástico com horizontes rico em conchas e horizontes ricos em argila e fragmentos de conchas. F) Arenito fino com cimento carbonático de calcita.

Ciclicidade das rochas aflorantes e Espectrometria de Raios-Gama

As litofácies citadas geralmente são inter-relacionadas (Kinoshita 2010). Pode ser observado a ocorrência de ciclos de *coarsening-upward*, *shallowing-upward*, *thickening upward* e *thinig- upward*.

Os ciclos de *shallowing-upward* geralmente estão acompanhados com ciclos de *thickening-upward* e *coarsening-upward*, onde temos a transição de uma rocha com material mais fino e matriz suportado (*wackestones*), onde os bioclastos encontram-se menos danificados, para rochas mais grossas (*packstones-grainstones-rudstones*), com bioclastos fragmentados, desarticulados, indicando ambientes de maior energia. Os ciclos de *thinig-upward* são observados em menor frequência e, geralmente, apresentam na base *grainstones/rudstones* e no topo contato com lamina milimétricas de folhelhos, indicando uma diminuição da energia deposicional.

O resultado da espectrometria de raios gama levantado em afloramento pode ser observado na figura 6. Os picos de maior intensidade (P1 a P8) correspondem aos folhelhos verdes e negros. Alguns intervalos com menor espessura de folhelhos (inferiores a 50cm) apresentam baixos valores de radioatividade devido ao raio de pesquisa da ferramenta que registram outras radioatividade de outras litologias, esse resultado pode ser observado nos picos P2, P7 e P8 da figura 6.

A figura 6 exibe uma interpretação entre os ciclos de ambientes de maior energia e menor energia onde, os ambientes de maior energia estão indicados como um triângulo verde e em vermelho os ambientes de menor energia. Os ambientes de maior energia compreendem os *rudstones*, *grainstones*, *packstones* enquanto ambientes de menor energia compreenderiam *rudstones* laminados, *wackestones* e folhelhos.

A interpretação de ciclicidade também foi realizada diretamente nos perfis gama. Respostas com intensidades inferiores a 15 API foram interpretadas como coquinas sem matriz siliciclástica (*rudstones* e *grainstones* bioclástico), enquanto sinais superiores são compostos por *packstones*, *wackestones*, arenitos e folhelhos (Figura 6).

Concentração de K e Th:

O perfil de K e Th para as coquinas varia entre 0,1% a 0,7% e de 1 ppm a 3 ppm ao longo de toda seção. Os valores acima de 0,5% e 2ppm de K e Th estão relacionados a coquinas do tipo *wackestones* enquanto valores inferiores estão relacionados a *grainstones/packstones*. Os picos que variam entre 2% a 4% de K e 5 ppm a 11 ppm de Th, são associados a folhelhos, valores intermediários entre 1% a 2% de K de 2 ppm a 4 ppm de Th a arenitos (Figura 6).

É possível observar em ambos os perfis de Th e K um aumento de suas concentrações em direção ao topo da seção. No caso do K essa ocorrência apresenta menor variação, na base da seção os valores variavam entre 0,1% a 0,5% e passam para 0,3% a 0,7% a partir dos primeiros 20 metros da seção. No perfil Th esse aumento é mais evidente, nos primeiros metros de seção os picos estão em 2ppm, enquanto no topo da seção os picos chegam a 3,6ppm. Esse aumento de concentração coincide com a presença de matriz argilosa e arenosa nas coquinas, como também a ocorrência de camadas de arenitos em direção ao topo da seção levantada. O Aumento do aporte siliciclástico também foi observado por Tavares et al. (2015), com aumento gradual de sua concentração na matriz das rochas em direção ao topo da formação.

Coquinas do tipo *packstone* e *wackestone* apresentam argila em sua matriz, dessa forma é possível utilizar a relação entre os elementos isotópicos de Th e K para a determinação mineralógica. A figura 7A apresenta o campo de composição de alguns minerais que podem conter Th e K mesmo que seja por adsorção (Schlumberger, 2009). A figura 7B representa o resultado coletado nas coquinas do tipo *grainstones*, *packstones* e *wackestones* e alguns folhelhos. Com base nos resultados, observa-se que a maioria dos minerais observados são ilita e montmorilonita e em poucos casos apresentam micas e glauconita.

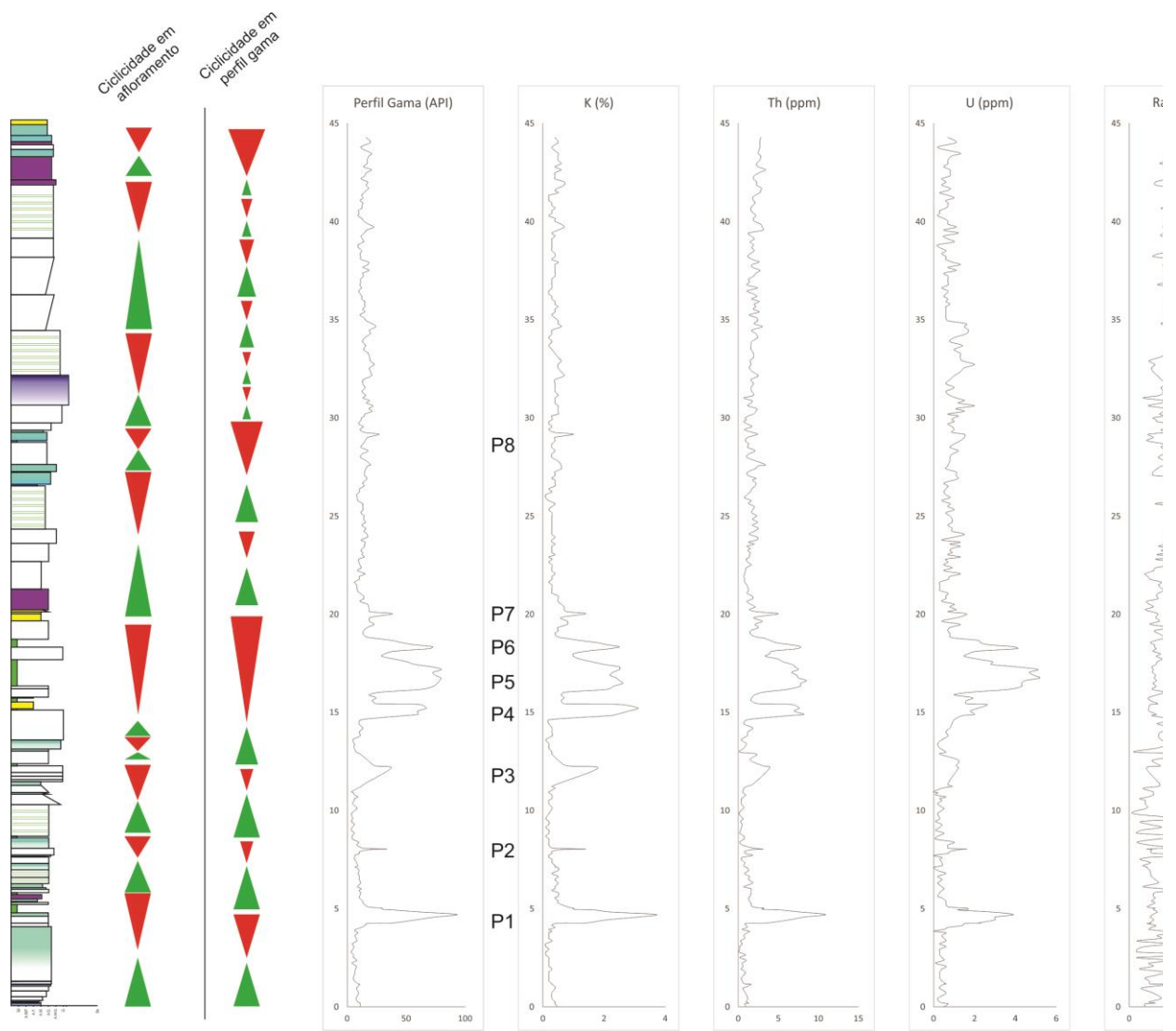


Figura 6: Perfis: estratigráfico, ciclicidades (triângulo verde = ambiente raso, vermelho = profundo) , Gama Total (API), K(%), Th(ppm) , U(ppm), razão Th/K, Razão U/K.

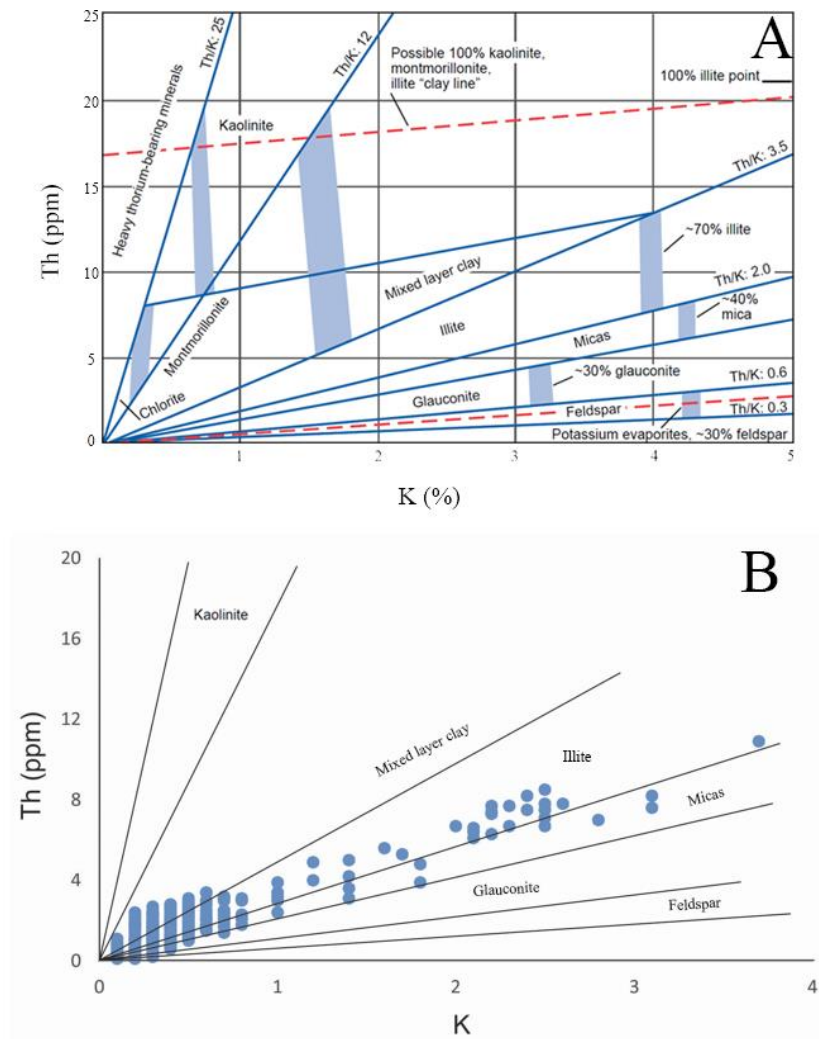


Figura 7: A) Relação Th/K e a distribuição de acordo com a mineralogia (Schlumberger, 2009). B).

Resultado da distribuição Th/K do perfil levantado.

Esse modelo é muito utilizado para a classificação de argilas em depósitos siliciclásticos, podendo ocorrer dúvidas de sua aplicação em rochas carbonáticas, dessa forma algumas amostras argilosas foram selecionadas e enviadas para o laboratório de Difractometria de Raios-X (DRX) no Instituto de Geociências da UNICAMP. Os resultados de algumas amostras podem ser observados na figura 8 A-C a seguir:

Pode-se observar que os principais picos correspondem a calcita, quartzo, illita, e micas (vermiculita, biotita, muscovita). Teixeira (2012) também realizou difratometria em alguns folhelhos e identificou a presença desses minerais. Esse resultado mostra que é possível relacionar a razão entre K e Th com as presenças dessas argilas nas coquinas tipo *packstone* e *wackestone* como observadas em afloramento.

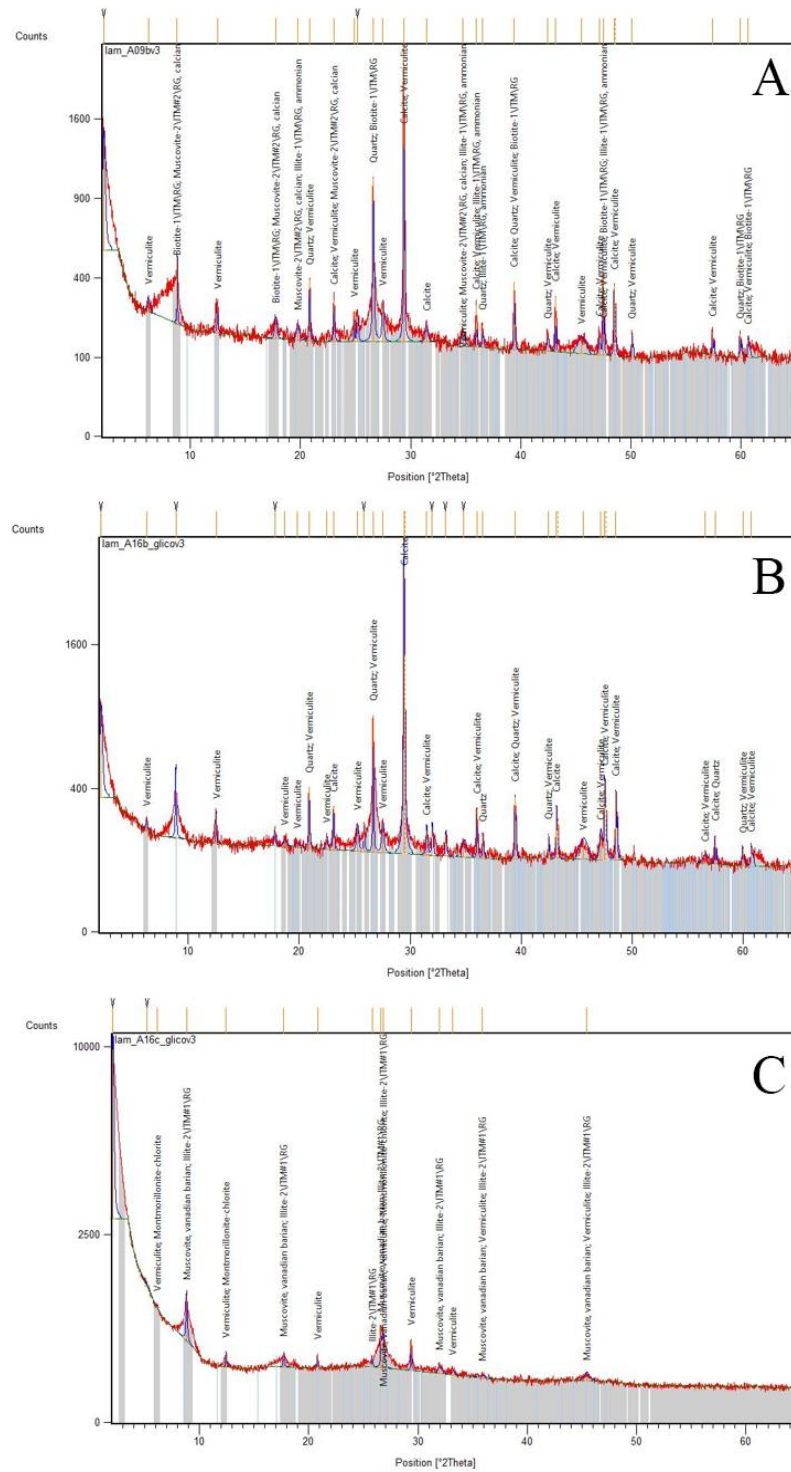


Figura 8: Resultado de DRX para argilas de algumas amostras de packstone e folhelhos. A) packstone com picos em vermiculita, calcita, illita e muscovita. B) wackestone com picos em vermiculita, quartzo e calcita. C) wackestone com picos em vermiculita, muscovita, illita.

Concentração de U:

O urânio não se correlaciona com Th e K e seu perfil apresenta grande variação para cada medida realizada. Os maiores picos correspondem a valores superiores a 2,5ppm e são associados a folhelhos. As coquinas normalmente apresentam valores entre 0,1ppm e 1,2ppm, e contatos entre camadas de coquinas e folhelhos apresentam maior concentração, próximos a 2ppm.

O que pode ser observado é que geralmente as camadas de coquinas possuem baixas concentrações de urânio, as camadas que apresentam valores pouco maiores que 0,5ppm estão relacionados à ocorrência de camadas com pirita, matriz argilosa e estilólitos.

Relação Th/K e U/K:

Relacionando o perfil litológico com os perfis de Th/K e U/K, observa-se que as regiões onde ocorrem *packstones*, *wackestones*, arenitos e folhelhos, tem-se uma menor oscilação da razão dos valores. Dessa forma é possível identificar por esses gráficos as regiões onde existe maior aporte de material argiloso/arenoso, como observado no intervalo entre 4,5 m a 7,0 m e 15 m a 20 m, enquanto as coquinas mais limpas, sem ocorrência pronunciável de quartzo e argila apresentam oscilações maiores.

Relação com os poços da Petrobras

Com o resultado obtido do perfil gama, foi possível realizar a comparação com os perfis de Raio Gama de dois poços perfurados para o Campo de Furado, localizados próximos à pedreira. O resultado é apresentado a seguir (Figura 9):

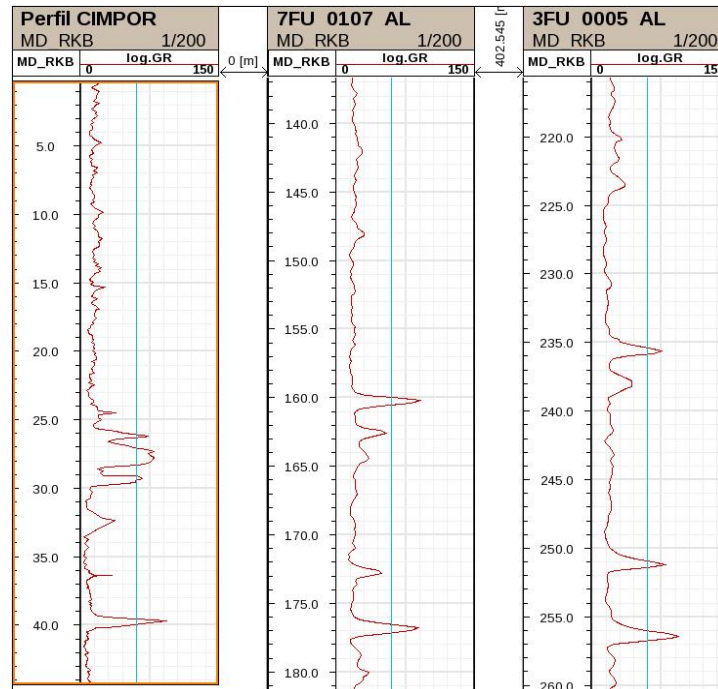


Figura 9: Perfil Gama dos poços da ANP e do perfil levantado na pedreira CIMPOR.

O resultado nos mostra que os folhelhos de maior espessura são correlacionáveis com os poços do Campo de Furado, isso devido ao maior raio de investigação dos perfis de poço, que não registram camadas inferiores a 0,5m. As camadas mais pronunciadas de folhelhos podem estar relacionadas a períodos de lago baixo como apresentado por Azambuja et al. (1998).

A comparação do perfil de campo com os perfis de poços da Petrobras apresentaram boa correlação com exceção dos picos entre 25-30m (Pico P4 e P7) realizados na pedreira. Isso pode ser explicado pelo fato da litologia observada naquele intervalo não se estender até os poços perfurados. Esse intervalo corresponde a uma sequência de arenitos, folhelhos e coquinas bem cimentadas.

Intensidade API vs Ciclos de *shallowing-upward* e *deepening-upward*

Como pode ser observado, os intervalos que apresentam uma diminuição de raios gama em direção ao topo geralmente são sequências onde temos a diminuição de argila na matriz, ou seja quando temos a gradação de *wackestone*, *packstone* para *grainstones* e *rudstones*. Essa transição demonstra ciclos de *shallowing-upward*, o que pode indicar uma região boa para formação de reservatório, com maiores valores de porosidade e permeabilidade como apresentado por Kinoshita (2010).

Intervalos onde é observado o comportamento inverso da curva de raio gama, ou seja, onde o sinal aumenta em direção ao topo, ocorre gradação de *grainstone* para *packstone/wackestone*, e consequentemente o aumento da quantidade de matriz argilosa que pode atuar diretamente na diminuição da porosidade e permeabilidade.

O intervalo onde isso pode ser observado claramente é o intervalo “base-P1”. No início a curva do espectro gama comporta-se como uma sequência de *shallowing-upward* até o momento em que a camada de *grainstones* são sobrepostas por *packstones* (intervalo 2,5 m), dando início a uma sequência de *deepening-upward* terminando com o folhelho no topo.

Apesar de diferentes valores em API, é possível determinar através do comportamento do perfil gama, em quais períodos o lago passou por progradação e retrogradação, identificando assim possíveis regiões de reservatório.

Variação da intensidade em API nas coquinas

É possível notar o aumento da intensidade do sinal gama nos carbonatos a medida em que partimos do pico P4, esse aumento se deve ao aumento das concentrações de K, Th e U, que podem ser observados na figura 6. A descrição das rochas do campo e imagens de lâmina delgada revelam que a partir do pico P4 temos a ocorrência de maiores concentrações de quartzo e argilas nas amostras e algumas ocorrências de minerais máficos intemperizados. Esse aumento também foi observado por Tavares et al. (2015), que ao descreverem as coquinas no mesmo afloramento, notaram um aumento na concentração siliciclástica em direção ao topo da formação.

De acordo com Hurst & Milodowski (1996) minerais pesados podem ocorrer dentro de grãos de quartzo detrítico, que pode levar a um pequeno aumento do sinal de Th em arenitos. Dessa forma, um dos motivos para o aumento da concentração de Th nas amostras pode ser explicado pela maior concentração de grãos de quartzo e o aumento do aporte siliciclástico em direção ao topo da formação, como observado na coluna estratigráfica (figura 3).

MODELO 3D Á PARTIR DA ANÁLISE GAMA

Utilizando o software de modelagem *RMS 2013 – Roxar*, foi possível realizar um modelo tridimensional (3D) da distribuição das coquinas. Foi discutido anteriormente que coquinas com baixo sinal API representam em sua maioria *rudstones/grainstones* e *packstones*, e altos valores a *wackestones*, folhelhos e arenitos.

Com base nessa informação, aplicamos esses limites para inferir a distribuição dessas rochas no perfil gama. Coquinas do tipo *packstones* e *rudstones* com sinal API menor/igual a 18 nos poços da Petrobras tiveram valor atribuído igual a dois 2, as outras litologias observadas onde o sinal API é maior que 18 (*wackestones*, arenitos e folhelhos), o valor atribuído foi 1.

A relação entre o poço de “Furado 005” com o levantamento de perfil litológico está apresentado na figura 10, onde é possível verificar a continuidade de algumas litologias e sequências litológicas no perfil gama do poço.

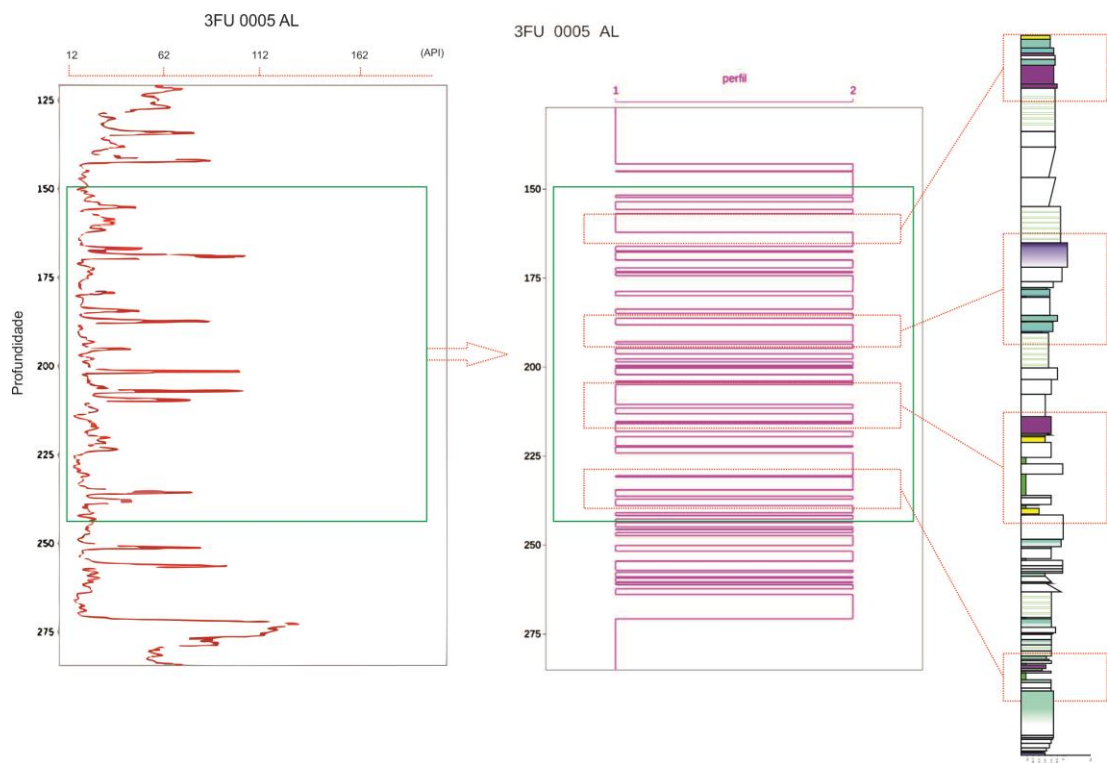


Figura 10: Relação perfil gama do poço de furado, tratamento do dado para litotipos 1 e 2 e perfil levantado em campo.

Os picos P1 a P8 foram utilizados como camadas guia para delimitar as zonas para a geração de um modelo estrutural, com isso obteve-se o seguinte modelo a seguir (figura 11-A). Após a geração do modelo estrutural, criou-se o grid que representaria esse modelo. Esse grid foi preenchido com os dados de litologia (litotipos 1 e 2) do perfil gama através da interpolação dos dois poços. Esse resultado pode ser observado na figura 11-B.

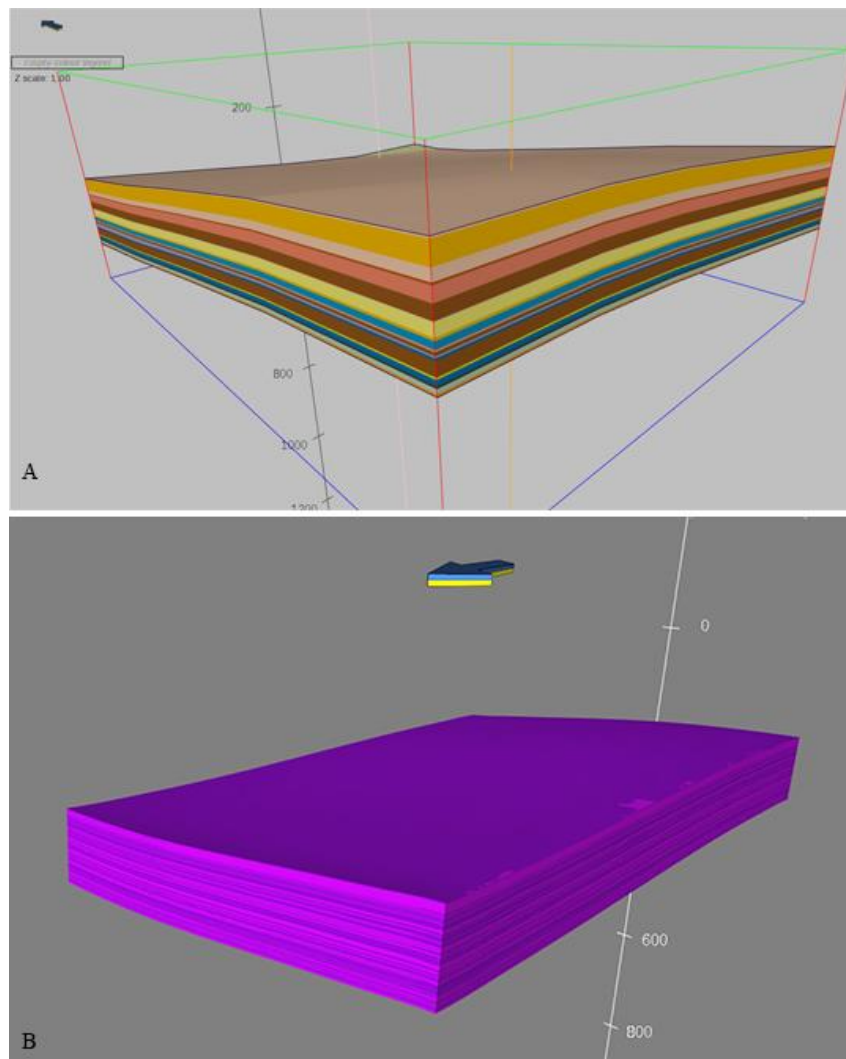


Figura 11: A) Modelo estrutural das camadas gerado pela continuidade do perfil gama. B) Resultado da distribuição litológica 1 e 2 com base no modelo estrutural e raios gama.

O modelo mostra que a distribuição lateral das coquinas pode ser contínua respeitando a orientação espacial dos folhelhos. Em afloramento as coquinas apresentam uma continuidade lateral extensa, geralmente tabular e com contatos bem marcados entre as diferentes litologias (figura 12). A figura 12 mostram os diferentes pacotes de coquina, tabulares, onde as linhas amarelas representam os contatos entre as camadas. Esse contato as vezes pode ser erosivo, uma característica comum para depósitos de tempestade.



Figura 12: foto de afloramento localizados na pedreira CIMPOR. Em amarelo os contatos mais evidentes, aparentemente tabulares, que se estendem por todo afloramento.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados é possível concluir que as rochas carbonáticas do tipo *wackestone*, *packstone* e *grainstone* apresentam diferentes respostas para as concentrações de U, Th e K, no entanto essas concentrações não são distribuídas de maneira fixa para cada uma dessas rochas. Dessa forma, classificar o tipo de coquina utilizando apenas a intensidade do sinal gama pode ter alto grau de incerteza devido à variação das concentrações desses elementos.

Apesar de possuírem um intervalo amplo de valores para cada litotipo, o comportamento do sinal gama pode auxiliar na interpretação geológica de carbonatos, pois mostrou-se eficiente no que se diz da transição de fácies entre *grainstones/rudstone* – *packstone* – *wackestone* e folhelhos nos intervalos observados, possibilitando determinar ciclos de sedimentação diferentes ao longo da evolução da Formação Morro do Chaves.

A alta intensidade dos raios gama nos carbonatos estão diretamente relacionadas com a presença de sedimentos siliciclásticos, quando temos a ocorrência de coquinas com matriz argilosa e/ou com grãos de quartzo, é possível observar uma maior concentração dos elementos de Th, U e K. Os perfis de poços próximos a pedreira foram uteis para correlacionar lateralmente as litologias e gerar um modelo 3D, cujo resultado foi o mesmo que observado nas camadas afloramento, respeitando sua extensão lateral e direção.

REFERÊNCIAS

- AIGNER T. et al. Outcrop gamma-ray logging and its applications: examples from the German Triassic. *Sedimentary Geology* Volume 100, Issues 1-4, December p. 47-61, 1995.
- ASMUS, H.E. Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. *Anais do XXXI Congresso brasileiro de geologia*, Balneário de Camboriú, Santa Catarina, 1980, v.1.
- AZAMBUJA FILHO, N.C., ARIENTI, L.M., CRUZ, F.E.G. Guidebook to the Rift-Drift Sergipe-Alagoas Passive Margin Basin, Brazil. AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, pp. 1-113, 1998.
- BROWNFIELD, M.E. E CHARPENTIER, R.R. Geology and Total Petroleum Systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa. U.S. Geological Survey Bulletin 2207-B, 2006.
- CASTRO, J. C. Evolução dos conhecimentos sobre as coquinas-reservatório da Formação Lagoa Feia no Trend Badejo-Linguado-Pampo, Bacia de Campos. São Paulo , UNESP, *Geociências*, v. 25, n. 2, p. 175-186, 2006.
- CHANG, H. K., KOWSMANN, R. O., FIGUEIREDO, A. M. F., BENDER, A. A., Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. *Tectonophysics*, 213, p 97-138, 1992.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2009: Mapa Geológico: Folha SC.24-X-D Arapiraca.
- CORREIA, G.G. et. Al. Outcrop gamma-ray spectrometry: Applications to the Sinemurian–Pliensbachian organic-rich facies of the Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Iberian Geology* 38 (2), p. 373-388, 2012.
- EHRENBERG, S.N., SVANA, T.A, SWART, P. K. Uranium depletion across the Permian–Triassic boundary in Middle East carbonates: Signature of oceanic anoxia. *AAPG Bulletin*, v. 92, no. 6, pp. 691–707, June 2008.
- FALKENHEIN, F. U. H.; FERNANDES, G.; CAINELLI, J. A. Análise da Bacia de Sergipe-Alagoas. Rio de Janeiro, Depex/Sedoc/ Petrobrás. Relatório Interno, 220p, 1986.
- FEIJÓ, F.J. Bacia de Sergipe e Alagoas. *Boletim de Geociências. PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 8 (1): 149-161, jan/mar, 1994.

FIET, N. E GORIN, G.E. Gamma-ray spectrometry as a tool for stratigraphic correlations in the carbonate-dominated, organic-rich, pelagic Albian sediments in Central Italy. *Eclogae geol. Helv.* 93 (2000) 175-181, 2000.

FIGUEIREDO, A. M. F. Depositional Systems in the Lower Cretaceous Morro do Chaves and Coqueiro Seco Formations, and their Relationship to Petroleum Accumulations, Middle Rift Sequence, Sergipe–Alagoas Basin, Brazil. 275 p. Austin. Tese de Doutorado – The university of Texas in Austin, 1981.

FURSICH, F. T., OSCHMANN, W. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 150, 1993, pp. 169-185. 1993.

HURST, A & MILODOWSKI, A. Thorium distribution in some North Sea sandstones: implications for petrophysical evaluation. *Petroleum Geoscience*, Vol. 2, pp.59-68, 1996.

KEIGHLEY et al. Sequence stratigraphy in lacustrine basins: a model for part of the Green River Formation (Eocene), southwest Uinta Basin, Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 73, no. 6, p. 987–1006, november, 2003.

KIDWELL, S.M. The stratigraphy of shell concentrations. In *Taphonomy, Releasing the Data Locked in the Fossil Record* (P.A. Allison & D.E.G. Briggs, eds.). New York: Plenum Press, p. 211-290, 1991.

KIDWELL, S. M. Models for fossil concentrations: paleobiologic implications. *Paleobiology* 12(1), p. 6-24, 1986.

KIDWELL, S.M., And HOLLAND, S.M. Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios* 6(4): 426-434, 1991.

KINOSHITA, M. E. Modelagem sísmica-geométrica de fácies dos carbonatos lacustres da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas, B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 249-269, maio/nov. 2010.

LANA, M. C.; MILANI, J. A microplaca do nordeste brasileiro – um elemento dinâmico no rifteamento cretáceo inferior. Goiânia, Soc. Bras. Geologia, XXXIV Congresso (Anais) XXXIV Congresso (Anais) XXXIV Congresso (Anais), v. 3; 1131-1144, 1986.

- LANA, M. C. Bacia de Sergipe-Alagoas: uma hipótese de evolução tectono-sedimentar. Em GABLAGIA, G. P. R. & MILANI, E. J. 1990. Origem e evolução das bacias sedimentares. Petrobrás. 2ª edição. P. 311-332
- MILANI, E.J., LANA, M.C. & SZATMARI, P. Mesozoic rift basins around the Northeast Brazilian microplate (Recôncavo-Tucano-Jatobá, Sergipe-Alagoas). In *Triassic-Jurassic rifting*, ed Manspeizer, W., pp. 833-858. Elsevier, Developments in Geotectonics 22, Amsterdam, the Netherlands, 1988.
- NETO, O. P. A. C, SOUZA LIMA, W., GOMES CRUZ, F. E. Bacia de Sergipe-Alagoas. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, maio/nov. 2007.
- PAWELLEK, T. & AIGNER, T. Stratigraphic architecture and gamma ray logs of deeper ramp carbonates (Upper Jurassic, SW Germany). *Sedimentary Geology*, volume 159 p. 203–240, July 2003.
- RADADI, M.C. et al. Interpretation of gamma-ray logs: The distribution of uranium in carbonate platform. *C. R. Geoscience* (337) p. 1457–1461, 2005.
- SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. Boletim técnico da PETROBRAS, Rio de Janeiro, (12) 1, p.21-86. Jan/mar 1969.
- SCHLUMBERGER. Log Interpretation Chart, edição 2009.
- SOUZA-LIMA, W.; ANDRADE, E. J.; BENGTSON, P.; GALM, P. C. A Bacia de Sergipe-Alagoas: Evolução geológica, estratigráfica e conteúdo fóssil. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2002. 34 p. Edição especial.
- TAVARES, Ana Carolina et al. Facies and depositional environments for the coquinas of the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin, defined by taphonomic and compositional criteria. **Braz. J. Geol.**, São Paulo, 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-48892015005030211&lng=en&nrm=iso>. access on 08 Nov. 2015. Epub Sep 08, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-488920150030211>.
- TEIXEIRA B.F.L. Coquinas da Formação Morro do Chaves (Cretáceo Inferior), seção Rifte da Bacia Sergipe-Alagoas. Trabalho de conclusão de curso, Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 107 p, 2012.

TERRA, G. J. S., et al. Classificação das rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 9-29, nov. 2009/maio 2010.

VAN DER VEN, P. H., CAINELLI, C., FERNANDES, G. J. F. Bacia de Sergipe-Alagoas: Geologia e Exploração. B. Geoci. PETROBRAS, Rio de Janeiro; 3 (4):307-319, out/dez. 1989.