



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

https://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/T_V12_3.html

DOI: 0

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2015 by UNICAMP/IG. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

Arcabouço estratigráfico da Formação Rio Bonito na região centro-norte do Estado do Paraná

HELENA JATKOSKI¹, ALESSANDRO BATEZELLI¹

1- Geóloga pelo Inst. Geociências (IG), Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, SP, Email: lena.jatkoski@gmail.com

2- Prof. Inst. Geociências (IG), Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, SP, Email: abatezelli@ige.unicamp.br

ABSTRACT: The Rio Bonito Formation comprises the lower portion of Guatá Group, located on the Paraná Sedimentary Basin. This Lower Permian unit is part of the Gondwana I Supersequence, divided from bottom to top in Triunfo Member, Paraguaçu Member and Siderópolis Member. A study of the stratigraphic framework of north-central region of Parana State, based on data obtained from drill core, was carried out. 16 sedimentary facies were individualized, as: 1 conglomeratic facies, 1 conglomeratic facies gap, 6 sandy facies, 6 facies clay, and 1 coal facies and 1 coal carbonate facies. These facies defined four facies associations and a proposal of correlation by analysis of vertical stratigraphic profiles (considering grains size variations and gamaspectrometer log profiles). Results indicated a depositional environment: initially the area was an estuary associated with tidal channels (facies association 1), grading to the estuarine central zone, and later, a coastal system, with deposits of barrier islands (facies association 2). There was a breakthrough in the sea level, with the presence of typical sediment below the wave action limit (offshore) (facies association 3), and culminating in foreshore and shoreface deposits (facies association 4). Thus, the stratigraphic framework revealed that sediments deposited initially in the context of tracts of transgressive systems, evolving to a deep-sea system tract.

Manuscrito:

Recebido: 10/11/2015

Corrigido: 16/12/2015

Aceito: 16/12/2015

Citation: Jatkoski H., Batezelli A. Arcabouço estratigráfico da Formação Rio Bonito na região centro-norte do Estado do Paraná. *Terræ*, 12(1-2):36-48.

Keywords: Paraná Basin, Permian, Rio Bonito Formation, stratigraphic framework, marine systems tract.

Introdução

A Bacia do Paraná compreende uma área total de aproximadamente 1,7 milhões de km², localizada na porção sudeste da Plataforma Sul-Americana (Fig. 1), e segundo Zalán et al. (1990), contempla a parte meridional do Brasil, a metade oriental do Paraguai, a região mesopotâmica da Argentina e a metade ocidental do Uruguai, com idade Ordoviciano-Cretáceo.

A Formação Rio Bonito está inserida no Grupo Guatá definido por Gordon Jr. (1947) e está presente desde o Rio Grande do Sul até o nordeste de São Paulo (Schneider et al. 1974). Medeiros & Thomaz (1973) definiram três intervalos para esta formação, sendo eles: inferior, médio e superior, correspondendo, respectivamente, aos Membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

A unidade corresponde ao primeiro registro pós-glacial da Bacia do Paraná, tendo sido depositada diretamente sobre os depósitos glaciais do Grupo Itararé. Trata-se de unidade composta por siltitos e folhelhos cinza, com intercalações de camadas de arenitos (Schneider et al. 1974), com lentes de folhelhos carbonosos, argilitos, e níveis de cimentação carbonática.

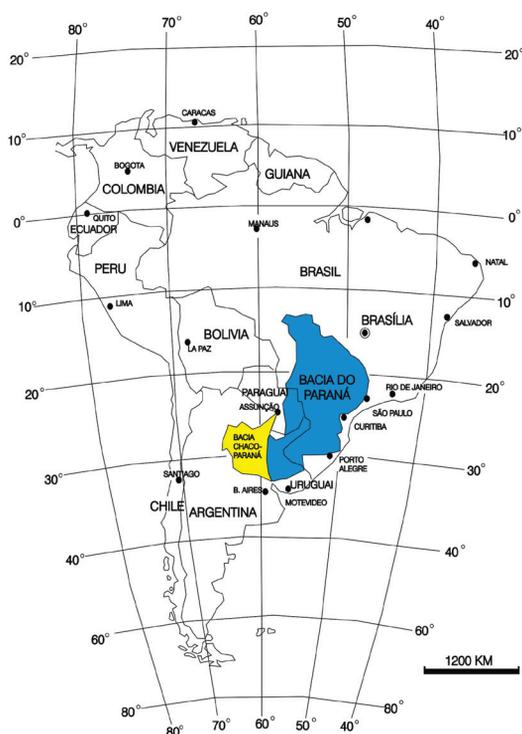


Figura 1. Localização da Bacia do Paraná na Plataforma Sul-Americana (adaptado de Milani & Thomaz Filho 2000)

Desde muito tempo a Formação Rio Bonito corresponde a um dos principais focos de estudo dentro da Bacia do Paraná devido aos seus recursos minerais energéticos, como reservas carvão nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, urânio na região de Figueira (PR) e o potencial em rochas-reservatório. Passou a ser estudada com mais ênfase nas décadas de 1970 e 80 por meio de projetos para estudo do carvão realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e para a prospecção de hidrocarbonetos pela Petrobras, e até hoje vem sendo alvo de estudos.

A integração entre as fácies sedimentares, empilhamento estratigráfico e perfis geofísicos, especialmente no que diz respeito a dados em subsuperfície, ainda é apresentada de forma modesta em trabalhos envolvendo a Bacia do Paraná. O grande número de testemunhos e perfis de poços (raio gama e elétrico), distribuídos pela margem leste da Bacia do Paraná, desde o Rio Grande do Sul até São Paulo, é tido como uma importante base de dados para pesquisas. Tendo em vista essa disponibilidade de informações de subsuperfície junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), foi selecionada a região de Sapopema, no Estado do Paraná, a fim de elaborar um modelo de evolução estratigráfica para a Formação Rio Bonito.

A individualização das fácies sedimentares, o agrupamento dessas em associações de fácies e o estabelecimento de sequências deposicionais a partir de dados de subsuperfície contribuem para um melhor entendimento da evolução dos sistemas deposicionais e do paleoambiente, permitindo, desta maneira, a elaboração de um modelo ambiental para a Formação Rio Bonito.

Localização da área de estudo

A área de estudo deste projeto está localizada na região centro-norte do Estado do Paraná, próximo às cidades de Sapopema, Figueira, Ibatí e Congonhinhas. Os quatro poços selecionados para a pesquisa pertencem a uma base de dados com aproximadamente 115 poços, localizados na litoteca da CPRM com sede em Araraquara (SP). A maioria desses poços foi perfurada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), estando distribuídos entre o centro-sul de Santa Catarina e o norte do Paraná, numa extensão de aproximadamente 550 km e integram os Relatórios Finais de Projetos, tais como *Projeto Rio Bonito – Fase 1* de

Medeiros et al. (1970), *Projeto Sapopema-Fase I*, de Yamamoto (1983), *Projeto Sapopema: relatório final de pesquisa* de Silva (1984), *Projeto borda leste da Bacia do Paraná integração geológica e avaliação econômica: relatório final*, de Aboarrage & Lopes (1986).

Ambos os poços selecionados são pertencentes ao Projeto Sapopema, realizados também pela CPRM a fim de identificar as possíveis e prováveis fontes minero-energéticas como o carvão nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, as jazidas de urânio do Paraná e o potencial dos intervalos areníticos em rochas-reservatório para hidrocarbonetos. Os poços escolhidos para descrição, possuem as denominações: SP-27-PR e SP-50-PR (Fig. 2). Os outros dois poços foram escolhidos para melhor interpretação de paleoambientes da região, sendo suas seções estratigráficas correlacionadas às outras duas seções confeccionadas com os dados obtidos neste trabalho. Os poços encontram-se descritos no trabalho *Projeto Sapopema: relatório final de pesquisa*, realizado pela CPRM (1983), sendo denominados SP-32-PR e SP-65-PR.

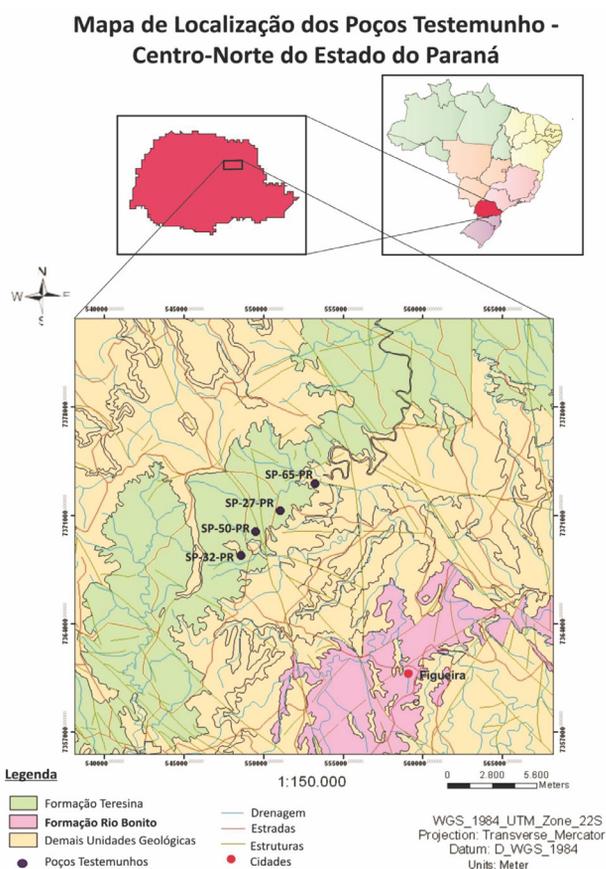


Figura 2: Mapa de localização dos poços no Estado do Paraná e mapa geológico simplificado da área estudada (fonte: IBGE e Mineropar)

Materiais e métodos

A fase inicial da realização deste trabalho envolveu a construção de um embasamento teórico a respeito da Formação Rio Bonito, envolvendo a consulta a trabalhos clássicos sobre a Bacia do Paraná, artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado e trabalhos de conclusão de curso relacionados à formação. O levantamento bibliográfico constituiu a base para a escolha dos testemunhos de sondagem mais representativos da Formação Rio Bonito no Estado do Paraná. Destes foram escolhidos quatro poços pertencentes ao Projeto Sapopema, especificados como: SP-27-PR, SP-50-PR, SP-32-PR e SP-65-PR. A revisão bibliográfica se estendeu por toda a realização deste trabalho, sendo de extrema importância para comparação dos resultados obtidos com outros já existentes.

Foi realizada a análise sequencial de dois dos testemunhos, SP-27-PR e SP-50-PR, por meio de descrição de litofácies, estruturas sedimentares e contatos litológicos. Também foram feitos registros fotográficos. No poço SP-27-PR, a Formação Rio Bonito apresenta espessura de 103,60 m (base em 331,10 m e topo em 228,20 m), enquanto que, no poço SP-50-PR, a mesma formação apresenta espessura de 97 m (base em 435,00 m e topo em 338,00 m).

Também foi realizada a coleta de dados com gamaespectrômetro. Os elementos que compõem as rochas possuem radioatividade natural, fornecendo diferentes respostas para cada parâmetro analisado. Em perfilagem de poços, podem fornecer dados para interpretações de litotipos, profundidades e espessuras de camadas.

A descrição e interpretação de fácies foi baseada nos procedimentos descritos por Walker (1984) e Miall (1990). O conjunto de feições em uma camada delibera uma fácies sedimentar. O conceito de fácies sedimentar compreende o caráter descritivo e interpretativo da rocha, que é distinguida por seus atributos físicos: composição, cor, tamanho do grão, esfericidade, seleção, ocorrência ou não de fósseis, além de características do acamamento e das estruturas sedimentares (Miall 1985).

As rochas sedimentares são formadas em determinadas condições de sedimentação, refletindo um processo deposicional particular e um ambiente de sedimentação (Reading 1996). Cada uma das fácies deve ser interpretada, em nível ambiental, com relação às fácies vizinhas, que são agrupadas como associações de fácies, relacionadas ambiental

ou geneticamente (Miall 1990).

A individualização de fácies neste trabalho foi baseada no código de fácies proposto por Miall (1985), na qual o tipo litológico é indicado por letra maiúscula (C = conglomerado, A = arenito, S = siltito, F = folhelho, Cl = calcilutito, CA = carvão), seguida por letras minúsculas que indicam as estruturas e arranjos sedimentares de maior relevância.

Fácies sedimentares

A Formação Rio Bonito está depositada sobre os estratos sedimentares do Grupo Itararé, representados por diamictitos oriundos das influências do sistema permocarbonífero glacio-marinho. Nos testemunhos de sondagem SP-27-PR e SP-50-PR (Figs. 3 e 4) analisados, foram encontrados, no intervalo da Formação Rio Bonito, essencialmente, arenitos de texturas variadas, siltitos e conglome-

Tabela 1. Fácies sedimentares individualizadas e suas respectivas siglas

Sigla	Fácies Sedimentares
Cm	Conglomerado Maciço
Agm	Arenito Médio a Grosso Maciço
Afm	Arenito Muito fino a Fino Maciço
Agp	Arenito Grosso com laminação plano-paralela
Afp	Arenito Fino a Muito Fino com laminação plano-paralela
Agc	Arenito Fino a grosso com laminação/estratificação cruzada
Afc	Arenito Fino a muito fino com laminação cruzada
Sl	Siltito Laminado
Sm	Siltito Maciço
Sa	Siltito com intercalações de areia
F	Folhelho
A	Argilito
Cl	Calcilutito
CA	Carvão
Fc	Folhelho Carbonoso
Bc	Brecha carbonática

Poço SP-27-PR

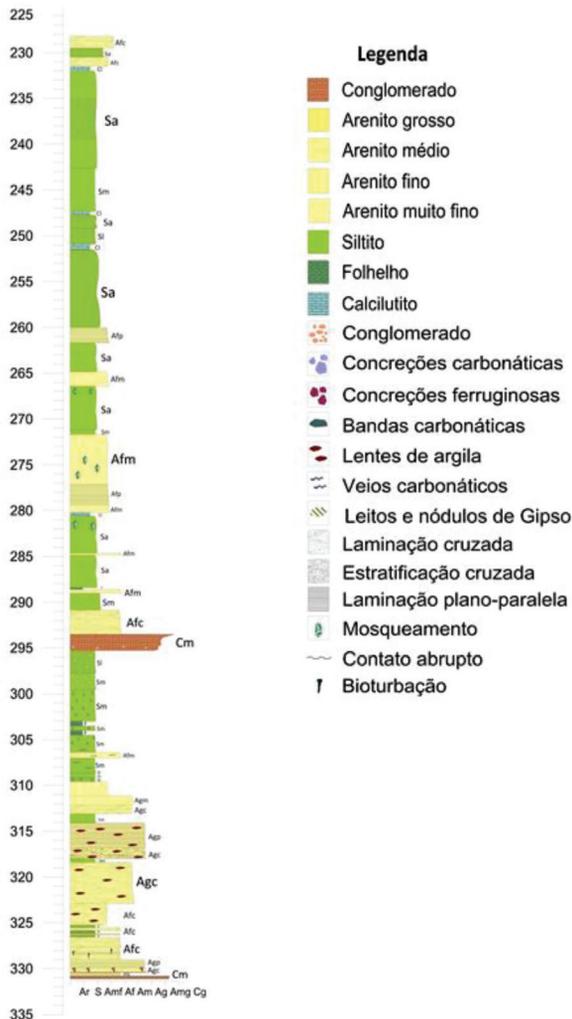


Figura 3. Perfil estratigráfico vertical da Formação Rio Bonito no poço SP-27-PR com indicação das principais fácies sedimentares. Código de fácies na tabela 1

rados. Secundariamente foram encontrados folhelhos, argilitos e carbonatos. As principais estruturas observadas foram: laminações e estratificações cruzadas, laminações plano-paralelas horizontais, gradações normal e inversa. Feições pós-depositivas como bioturbações, nódulos e leitões de argila, carbonatos (dolomita e gipsita), concreções e bandas carbonáticas e ferruginosas também foram encontradas. Uma camada centimétrica de carvão ocorre próximo à base da Formação Rio Bonito apenas no testemunho de sondagem SP-50-PR.

Foram individualizadas 16 fácies sedimentares (Tab. 1), sendo 1 fácies conglomerática, 1 fácies de brecha conglomerática, 6 fácies arenosas, 6 fácies argilosas, 1 fácies carvão e 1 fácies carbonática.

Poço SP-50-PR

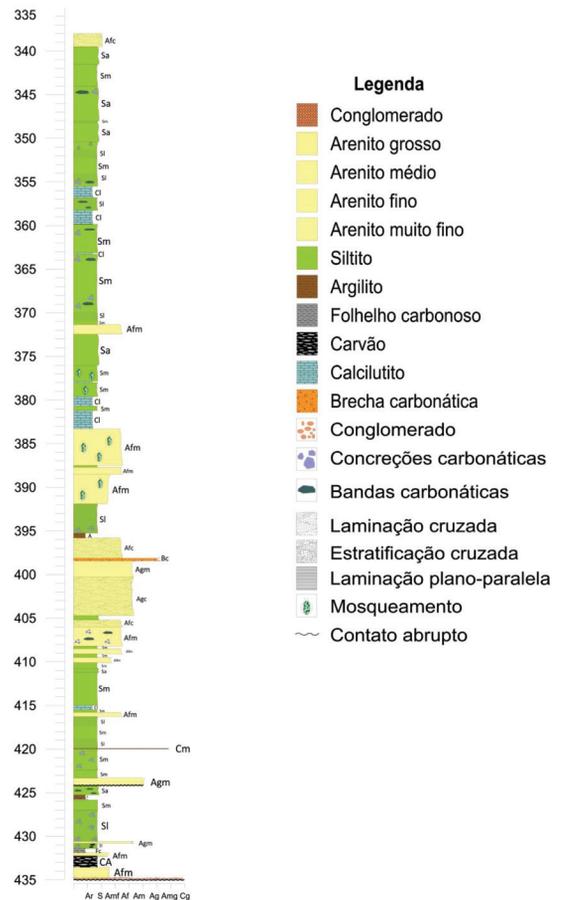


Figura 4. Perfil estratigráfico vertical da Formação Rio Bonito no poço SP-50-PR com indicação das principais fácies sedimentares. Código de fácies na tabela 2

Associação de fácies

As associações de fácies foram definidas com base na identificação de conjuntos de fácies geneticamente relacionadas, que se sucedem verticalmente. Foram distinguidas 4 associações de fácies, apresentadas a seguir.

Associação de fácies 1

Esta associação está presente em ambos os poços, correspondendo a 17 m no poço SP-27-PR e uma pequena sequência de 3 m no poço SP-50-PR. Compreende as fácies Cm, Afm, Agp, Afp, Agc, Sl. (Fig. 5).

O contato basal em ambos os perfis descritos é direto com o Grupo Itararé e se dá de forma abrupta. A base é composta por níveis de conglomerados maciços sustentados por clastos de composição

Associação de fácies 1

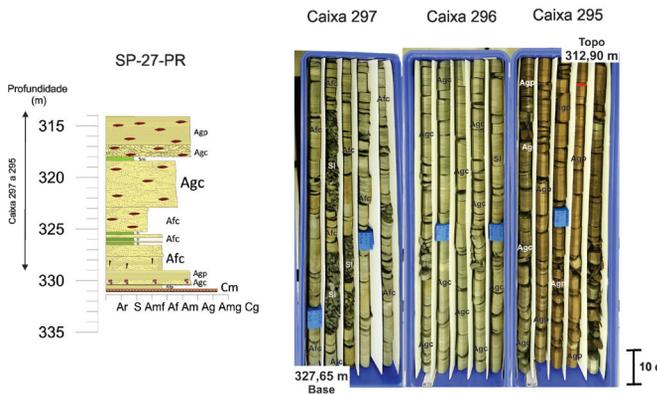


Figura 5. Fácies sedimentares da associação de fácies 1 (Código de fácies na tabela 1)

variada (quartzo, granito, gnaiss, filitos), subarredondados a subangulosos, ocorrem associados às camadas de arenitos finos a muito finos. Estes conglomerados implicam em depósitos de corrente de alta energia, como produto de transporte por tração, podendo ser clastos derivados dos diamictitos do Grupo Itararé, que foram erodidos e incorporados a estas camadas.

Predominantemente é composta por arenitos finos a grossos, maciços ou com estratificação cruzada ou plano-paralela, com coloração variando de cinza claro a escuro, e localmente variando de cinza esverdeado a avermelhado. Subordinadamente são encontrados siltitos laminados, de cor cinza escura e avermelhada/arroxçada.

Os arenitos podem apresentar *drapes* de argila, os quais seguem os *foresets* das estratificações cruzadas e plano-paralelas. Grande parte dos arenitos também apresenta cimentação carbonática, além de concreções e bandas carbonáticas. No poço SP-27-PR, a base dessa associação apresenta concreções ferruginosas e alto nível de bioturbação.

Interpretação: A presença das argilas nas camadas de arenito é atribuída à decantação, intercalada à fluxos oscilatórios normais.

Associação de fácies 2:

Esta associação abrange as fácies Cm, Agm, Afm, Sm, Sl, Sa, F, Fc, A, Cl e CA. No poço SP-27-PR apresenta uma espessura de 19 m, enquanto no poço SP-50-PR essa associação apresenta uma espessura de 28,5 m (Fig. 6).

A associação de fácies 2 se sobrepõem à associação 1 em contato suave, através de afinamento dos grãos.

É composta, predominantemente, por siltitos e arenitos finos a muito finos. Os siltitos apresentam coloração cinza clara, cinza esverdeada, cinza escura e avermelhada/roxeadada, maciços ou laminados, formando camadas contínuas com espessura de até 4 m. Intercalados aos siltitos ocorrem arenitos finos a muito finos com matriz lamítica, maciços ou com laminação plano-paralela, e em menor número, camadas de arenitos médios a grossos maciços, com coloração cinza clara, folhelhos de

Associação de fácies 2

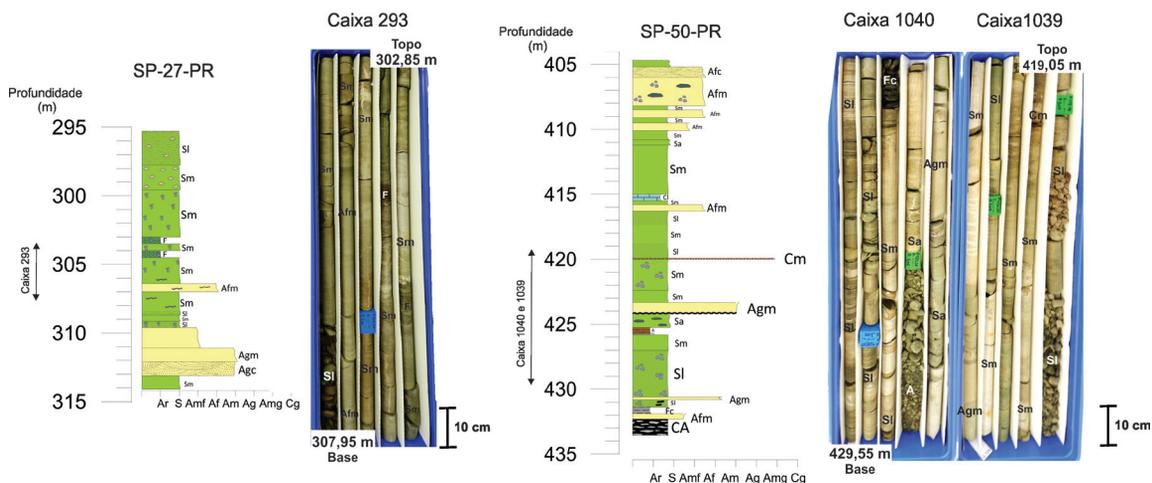


Figura 6. Fácies sedimentares da associação de fácies 2 (Código de fácies na tabela 1)

coloração cinza esverdeada a marrom e uma camada de conglomerado carbonático maciço. Também está presente a camada de carvão que grada para folhelhos carbonosos e argilitos cinza claro a cinza esverdeada, maciça, micáceos, com cimentação carbonática, ricos em matéria orgânica, presentes apenas no poço SP-50-PR. No topo desta sequência, apenas no poço SP-27-PR, os siltitos apresentam expressivo conteúdo de nódulos e leitos de gipsita.

Interpretação: Esses depósitos finos são interpretados como resultado de decantação e fluxos oscilatórios subordinados, com algumas entradas de fluxos tracionais com alta energia, depositando sedimentos mais grossos.

Associação de fácies 3

A associação de fácies 3 (Fig. 7) corresponde a um conjunto de fácies de granulação fina encontrado em ambos os poços, correspondendo às fácies Cm, Agm, Afm, Agc, Afc, Afp, Sm, Sl, Sa, F, A, Cl e Bc, tendo espessura de 63,5 m no poço SP-27-PR, enquanto no poço SP-50-PR apresenta uma espessura de 65 m.

O contato basal em ambos os quatro poços ocorre de forma abrupta com os sedimentos da associação de fácies 3, sendo observada uma linha de descontinuidade entre os sedimentos mais grossos sobrepostos aos sedimentos mais finos no caso dos dois poços analisados.

A associação é reconhecida pelos perfis dos poços que indicam um padrão de empilhamento granodrecrescente ascendente. No poço SP-27-

-PR, a base é constituída por camadas de conglomerados com grãos polimíticos de até 2 cm, localmente com leitos de gipsita, enquanto no poço SP-50-PR são arenitos grossos a finos com estratificação cruzada, ou maciços, intercalados a uma camada de brecha carbonática. Os pacotes arenosos são sucedidos por siltitos maciços ou laminados, siltitos com intercalações de arenitos, e secundariamente, arenitos finos a muito finos, calcilito, folhelhos e argilitos.

Os arenitos têm coloração cinza esbranquiçados a esverdeados, finos a muito finos, bem selecionados, quartzosos, com laminações cruzadas e plano-paralelas. Nas porções mais grossas encontra-se maciço. *Drapes* de argila podem acompanhar os *foresets* dos estratos cruzados. Os siltitos seguem a coloração dos arenitos, com algumas variações para coloração avermelhada, ora laminados, ora maciços. As camadas calcárias apresentam coloração bege, e granulação fina, sendo classificadas como calcilitos. Arenitos e siltitos podem apresentar cimento, concreções e bandas carbonáticas, especialmente em pacotes próximos à calcilitos, e também aspecto mosqueado.

Interpretação: A alta seleção dos arenitos e os corpos de conglomerados podem ser interpretados como produto de transporte por correntes de alta energia. Os siltitos com intercalações de camadas arenosas indicam uma diminuição da energia do sistema, com pequenas variações de aumento da mesma. Estruturas são interpretadas como produtos de fluxos oscilatórios normais e tracionais.

Associação de fácies 3

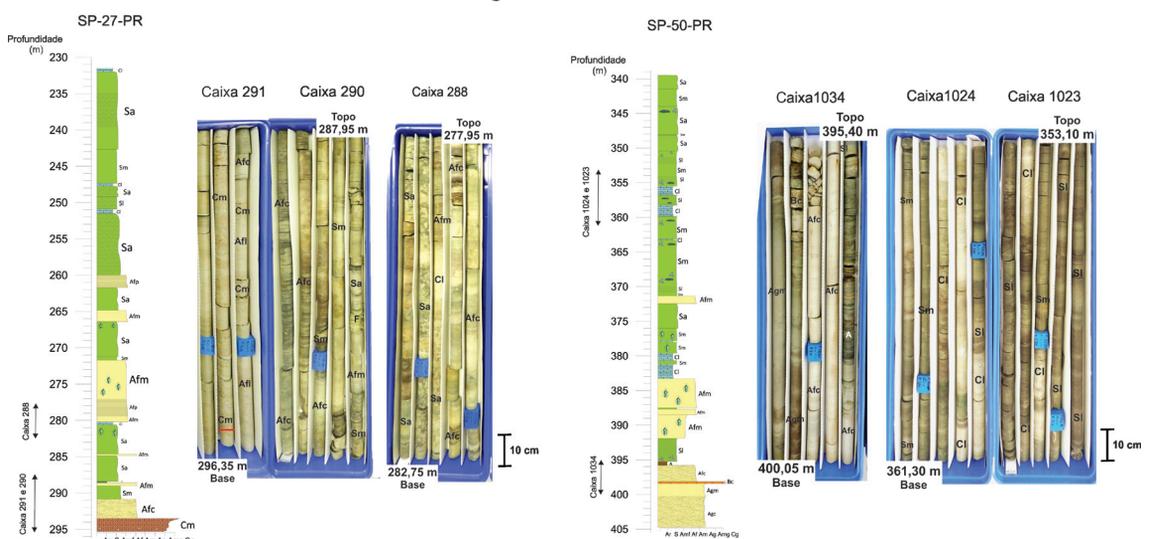


Figura 7. Fácies sedimentares da associação de fácies 3 (Código de fácies na tabela 1)

Associação de fácies 4

A associação de fácies 4 compreende as fácies Afc e Sa. Essa associação é constituída por de arenitos muito finos a finos, cinza esbranquiçados a esverdeados, finos, bem selecionados, quartzosos, com laminações cruzadas. No poço SP-27-PR, a espessura desta sequência é de 3,5 m, com intercalação de uma camada de siltito arenoso, enquanto no poço SP-50-PR, sua espessura é de apenas 2 m. Apesar da pouca espessura, esta associação tem sua importância por representar a parte superior da Formação Rio Bonito, sendo sobreposta pelos folhelhos da Formação Palermo. O contato com esta formação é abrupto.

Interpretação: A alta seleção dos arenitos e os corpos de conglomerados podem ser interpretados como produto de transporte por correntes de alta energia, e as estruturas como produtos de fluxos oscilatórios normais e tracionais.

Correlação entre os perfis dos poços testemunhos

As seções estratigráficas foram construídas a partir da identificação e correlação das associações de fácies caracterizadas nos dois perfis estratigráficos dos testemunhos de sondagem descritos junto aos dois perfis de poços testemunho vizinhos, pela CPRM (1983).

Como a principal linha de correlação dos perfis (*datum*) (Figura 8), foi utilizado o limite inferior da associação 3, uma vez que foram observados padrões semelhantes em ambos os poços, de granodrecência ascendente, passando de arenitos médios a grossos, para sedimentos finos.

No poço SP-32-PR, a Formação Rio Bonito apresenta espessura de 106 m, enquanto o SP-65-PR apresenta 95 m da mesma unidade. A associação de fácies 1 foi observada apenas o SP-32-PR, com uma pequena camada de arenito fino com laminação cruzada. Para a associação de fácies 2 são encontradas as mesmas fácies dos poços descritos, sendo que em ambos é possível encontrar a camada de carvão (CA). No poço SP-32-PR, predominantemente, há a alternância de siltitos a siltitos arenosos com calcários, intercalados a folhelhos, arenitos muito finos a finos, ora laminados, ora maciços, correspondendo a 45 m de espessura. Concreções e bandas carbonáticas são comuns. O contato basal se dá com a associação 1, sem mais informações sobre o mesmo. No poço SP-65-PR,

a associação corresponde a 18,5 m, com distribuição de fácies semelhante ao outro poço, mas com menos conteúdo calcífero. No topo, assim como o poço SP-27-PR, os siltitos também apresentam expressivo conteúdo de nódulos e leitos de gipso. Assim como o outro poço descrito pela CPRM, não há muitas informações sobre o tipo de contato, mas neste caso, o contato se dá diretamente com as rochas do Grupo Itararé. A associação de fácies 3 nesses poços segue novamente a disposição das fácies sedimentares descrita para os poços analisados, sendo que no poço SP-32-PR, a base da sequência é marcada por uma camada de conglomerados e o poço SP-65-PR, assim como o SP-50-PR, há uma camada de brecha carbonática intercalada aos pacotes de arenitos finos. O primeiro poço apresenta também uma pequena camada de 0,5 m de sílex, enquanto o outro poço, SP-65-PR apresenta concreções silicificadas, dadas pela provável diagênese tardia, que ocasionou a percolação de água com expressivo conteúdo de sílica. Por fim, ambos os poços apresentam a associação de fácies 4, em camadas pouco espessas de arenitos muito finos a finos com estratificação cruzada.

Discussão

O estudo de fácies sedimentares e suas respectivas associações permitem o entendimento dos processos sedimentares e, conseqüentemente, a interpretação dos sistemas deposicionais. A análise de fácies permitiu a observação de camadas resultantes de processos tracionais sobrepostas a camadas de depósitos gerados por suspensão e/ou decantação de sedimentos, evidenciadas pelo contraste entre texturas e as estruturas sedimentares, evidências de erosão e de exposição subaérea. A integração desses dados permitiu elaborar um arcabouço estratigráfico das sequências deposicionais da Formação Rio Bonito na região de Sapopema.

Fácies Sedimentares, Associação de fácies e Ambientes deposicionais

Segundo Miall (1990), a individualização de fácies indica características do ambiente de deposição. As fácies que compreendem a associação 1 de fácies demonstram um ambiente mais energético (fácies Cm, Agm, Afm, Agc, Afc, Agp) agitado, com aporte de sedimentos finos a grossos (areia fina a grossa), passando para um ambiente mais calmo, com pouca energia (fácies Sl, Sm), com aporte de

Correlação de Poços

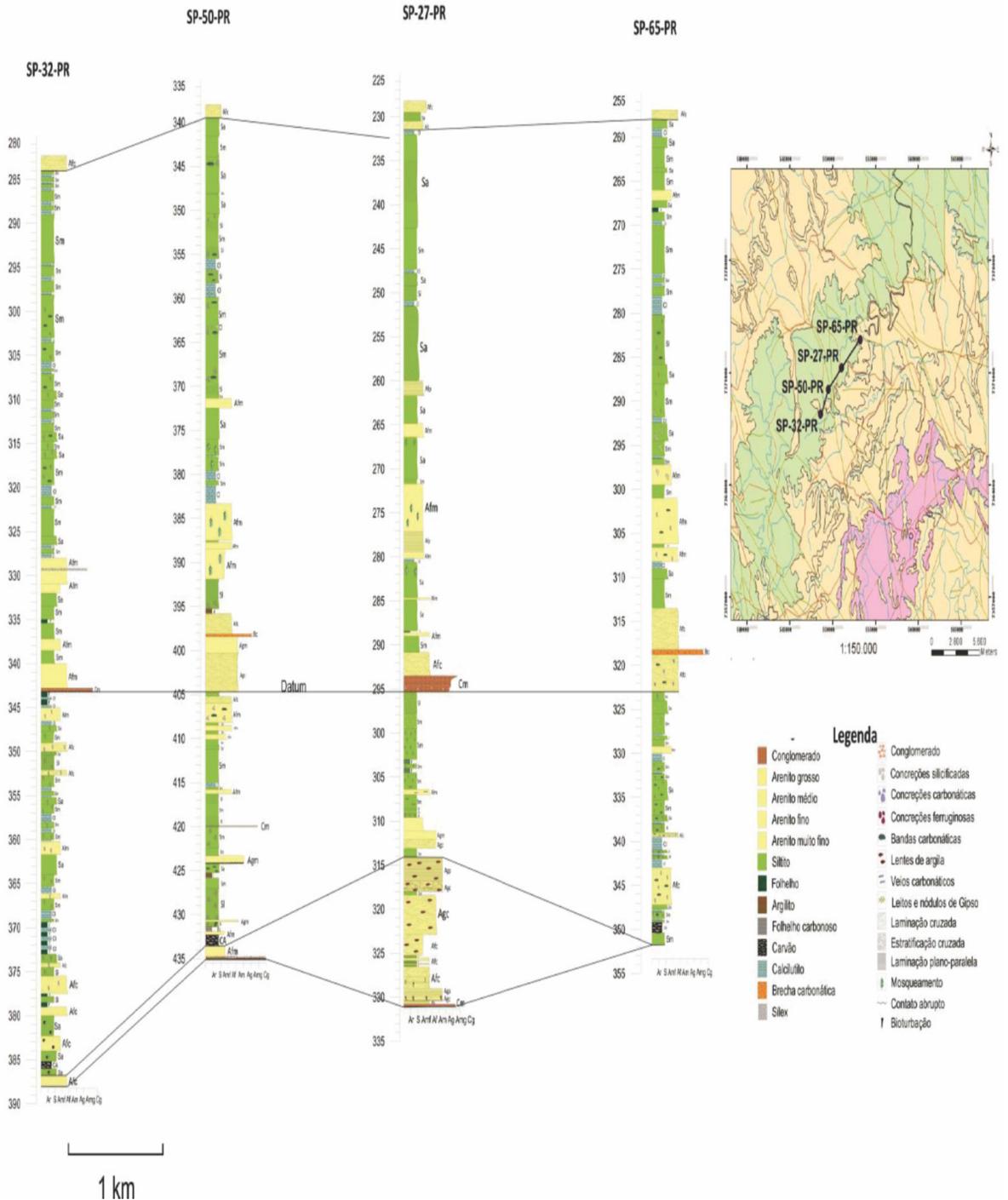


Figura 8. Correlação estratigráfica dos perfis verticais dos poços testemunhos SP-32-PR, SP-50-PR, SP-27-PR, SP-65-PR, respectivamente, da esquerda para direita

sedimentos finos (fácies Afm, F, A), e eventos de aumento de energia, com entrada de sedimentos mais grossos (Cm, Agm, Agc, Afm e Afc), correspondentes à associação de fácies 2. Em seguida, a associação de fácies 3 indica uma nova passagem para um ambiente mais energético (fácies Cm,

Agm, Afm, Agc, Afc, Afp) que gradou lentamente para um ambiente levemente a pouco agitado (Sl, Sm, Sa). No final, a associação de fácies 4 corresponde à um novo aumento da energia, com depósito de arenitos muito finos a finos (Afc). Estas fácies se intercalaram, de forma a indicar uma alternância

de momentos com baixa energia e momentos com maior energia no sistema. Isto também pôde ser comprovado devido à mudança de estruturas sedimentares observadas. Com o aumento da energia houve um aumento da complexidade da estrutura (laminações paralelas gradaram para laminações cruzadas assim como lentes de areia se transformaram em camadas de arenito fino a grosso).

A Formação Rio Bonito, nessa região, depositou-se sobre os sedimentos do Grupo Itararé de maneira abrupta, como foi observado em ambos os poços, por uma discordância entre as rochas pertencentes a cada grupo. Schneider et al. (1974), Soares & Cava (1982), Castro (1999) e Zacharias (2004) também descreveram contato abrupto entre os depósitos, sendo as primeiras camadas da Formação Rio Bonito depositadas em paleovales formados a partir de processos isostáticos relacionados ao recuo das geleiras e erosão do substrato subjacente. Holz (2003) confirmou que, no Estado do Rio Grande do Sul, o contato entre os dois grupos é discordante.

O termo estuário é utilizado para descrever vales fluviais incisos, onde há a interação de processos fluviais e marinhos, resultando em um preenchimento por sedimentos marinhos e continentais (Dalrymple 1992). Assim, a análise comparativa com as associações de fácies levou a um modelo de estuário dominando por marés, com eventos de dominação por ondas, podendo ser considerado como estuário misto, característico de regiões de alta energia. Essa mesma interpretação foi feita nos trabalhos de Holz (2003) e Zacharias (2004).

A associação de fácies 1, correspondente à base da Formação Rio Bonito no testemunho SP-27-PR é marcada por uma camada de conglomerados (fácies Cm) com clastos sustentados de composição diversa, subarredondados a subangulosos, e cimentação carbonática, em contato abrupto com o Grupo Itararé (lamito cinza escuro com clastos polimíticos). Sobre a camada encontram-se arenitos muito finos a finos com laminação plano-paralela, laminação cruzada (fácies Afp e Afc), matriz lamítica, nódulos ferruginosos, intercalados com camada

de arenito grosso com seleção moderada a boa, laminação cruzada e plano-paralela (fácies Agc e Agp), que pode conter clastos e *drapes* de argila associados às estruturas. Os arenitos apresentam ciclos de granodecrescência ascendente. Acima destas camadas há uma sucessão com aproximadamente 2 m de siltitos escuros laminados (fácies Sl) interpostos a arenitos finos a muito finos com laminações cruzadas (fácies Afc). Acima há uma extensa deposição arenosa (aproximadamente 11 m) com coloração cinza-esverdeada a avermelhada (devido às diferenças nos teores de oxidação), com granulometrias variando de muito finas a grossas (fácies Agc, Agp, Afc e Afp), com camadas e *drapes* de argila intercalados, laminações cruzadas e plano-paralelas, entremeadas a uma camada de siltito maciço (Sm) com coloração avermelhada e cimentação carbonática, e com camadas de arenitos avermelhados maciços. Já no poço SP-50-PR, a base da Formação Rio Bonito é composta por arenitos muito finos, maciços (fácies Afm), com conglomerado basal de 2 cm em contato abrupto com o diamictitos da Formação Itararé.

Os níveis de conglomeráticos e arenitos médios a grossos da associação de fácies 1 são interpretados como depósitos de canais de maré com influência fluvial. Esses depósitos indicam a migração das formas de leito, dentro de um ambiente subaquoso de alta energia, seguido por redução e dissipação do fluxo, o que ocorre quando há a influência das correntes de maré, com o regime de marés alta e/ou baixa (Dalrymple 1992). De, aproximadamente 316 a 314 m, os arenitos passam a ter uma coloração avermelhada a arroxeadada, indicando períodos de exposição aérea desses sedimentos (Pedón et al. 1997). Interpretações semelhantes foram feitas para sequências estuarinas recentes são encontradas nos trabalhos de Pedón (*op. Cit.*), Zacharias (2004). Representa, portanto, depósitos de cabeceira do estuário, sob influência tanto das correntes de maré como das correntes fluviais.

A porção intermediária da Formação Rio Bonito no poço SP-27-PR, correspondendo a associação de fácies 2, compreende um bloco, com aproximadamente 15 m, de camadas de siltitos cinza-esverdeado a avermelhado/arroxeadado, ora maciços com camadas argilosas, ora laminados (fácies Sm e Sl), ambos com expressivo conteúdo carbonático, incluindo concreções, vênulas e veios dolomíticos e nódulos e leitões de gipsita, além de um trecho com 30 cm com alto nível de dissolução. A ausência de carvão neste poço também é relatada no relatório

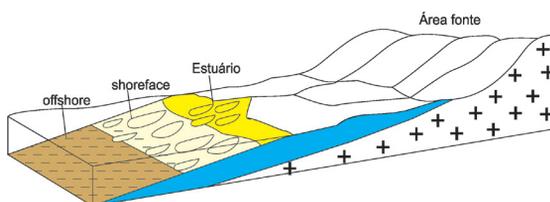


Figura 9. Modelo paleogeográfico do ambiente deposicional da Formação Rio Bonito, proposto para a área de estudo

de Silva (1984). Trata-se de uma faixa restrita, no sentido N-S, ao leste do Paraná, com sequências arenosas preenchendo o mesmo nível correspondente ao carvão.

Para o poço SP-50-PR, as camadas seguintes à associação de fácies 2 correspondem à camada de carvão (fácies CA), seguida por uma camada de arenito semelhante ao anterior, e outra de folhelho carbonoso (fácies Fc) ricos em matéria orgânica vegetal sobreposta por siltito cinza escuro, com laminações (fácies Sl), fragmentos de carvão e concreções e bandas irregulares de carbonatos, estas com até 7 cm. Acima há uma porção de arenito grosso, cinza claro, maciço (fácies Agm), com cimentação carbonática, seguida por uma extensa camada com 5 m de siltitos cinza escuro, predominantemente laminados (fácies Sl), com poucas porções maciças (fácies Sm) e pequenos nódulos carbonáticos irregulares variando de 0,12 cm até 7 cm. Acima desta há outra camada de folhelho carbonoso (fácies Fc) seguida por uma pequena camada de argilito cinza claro, maciço (fácies A), coberta por siltitos arenosos, com características semelhantes ao anterior (fácies Sa). A porção final da base desta formação compreende três ciclos de sedimentação, com variação textural da mais grossa para mais fina. O primeiro ciclo encontra-se em discordância com a camada inferior, compreendendo uma camada de arenito médio a grosso (fácies Agm), cinza claro e maciço seguida por uma camada de siltito esbranquiçado a cinza esverdeado, com aproximadamente 4 m de espessura, maciço (fácies Sm) ou com lâminas bem deformadas, sendo também encontradas, concreções carbonáticas irregulares. O segundo ciclo inicia com conglomerados (fácies Cm) de coloração vermelha, com clastos carbonáticos variando de 0,2 a 2 cm, seguidos por siltitos, com espessura também de 4 m, coloração avermelhada, maciço (fácies Sm), a siltitos esverdeados laminados (fácies Sl). O terceiro ciclo, com aproximadamente 6 m de espessura, se inicia com arenito fino, maciço (fácies Afm) gradando para siltito esverdeado maciço (fácies Sm), seguidos por uma camada carbonática e um siltito com intercalações de arenito muito fino (Sa), cinza esverdeado a avermelhado, maciço. Os níveis arenosos seguintes apresentam feições de acamamento e gradação normal, e estão intercalados a camadas de siltitos maciços, e podem apresentar concreções e bandas carbonáticas (fácies Afm, Afc, e Sm) .

A interpretação para as camadas basais descontínuas de carvão que passam para folhelhos e siltitos

ricos em matéria orgânica vegetal da associação de fácies 2, foi de um ambiente costeiro de baixa energia, como planícies de maré e regiões marginais pantanosas (Dalrymple 1992, Reading 1996). São áreas correspondentes à porção central do estuário, mais exatamente nas planícies de inundação, onde podem se desenvolver planícies de maré argilosas (*muddy tidal flat*) e pântanos (Zacharias 2004). Em seu trabalho, Holz et al. (2002), descreveu as camadas de carvão como de origem estuarina na Formação Rio Bonito, no Estado do Rio Grande do Sul. A base da associação de fácies 2, composta por sedimentos finos ricos em matéria orgânica. Os depósitos finos seguintes desta associação representam um ambiente marinho de plataforma rasa siliciclástico-carbonático.

Ricardi – Branco & Rosler (2004) e Ianuzzi (2010) associaram os depósitos das camadas de carvão a áreas de mangues, recobertas por vegetação e conseqüentemente, depósitos de matéria orgânica, intercalados a ilhas-barreiras capazes de proteger as áreas pantanosas, favorecendo a formação do carvão. A elevação do nível do mar condiz com um período de transgressão marinha, resultante do derretimento das calotas glaciares.

Ainda na associação de fácies 2, há as intercalações de siltitos a camadas de arenitos grossos a médios e subordinadamente bancos de calcários, os quais indicam condições de baixa energia onde predomina a decantação de sedimentos. Trata-se de um ambiente marinho de plataforma rasa siliciclástico-carbonático. Os depósitos de gipsita encontrados corroboram a interpretação, uma vez que os carbonatos estão associados a ambientes salinos e rasos (Suguio 2000). Zacharias (2004) indica esta como sendo a fase de colmatação do estuário.

Em seguida, tem-se a associação de fácies 3, que no poço SP-27-PR apresenta uma intercalação de camadas de conglomerados com grão polimíticos (fácies Cm), sendo que as duas primeiras apresentam granodrecrescência ascendente e a mais superior, granocrescência ascendente, com camadas de arenito muito fino laminado (fácies Afp), com coloração cinza claro. A porção intermediária da Formação Rio Bonito no outro poço, SP-50-PR, corresponde a um pacote de arenitos com gradação para siltitos. Os arenitos têm variação textural de muito fino a grosso, maciços ou com laminação/estratificação cruzada ou laminação plano-paralela (fácies Agm, Afm, Agc, Afc), sendo que algumas porções apresentam lâminas de argila, aspecto mosqueado e/ou cimentação, concreções e bandas

carbonáticas. Subordinadamente, há uma camada de brecha carbonática (fácies Bc), uma de argilito (fácies A) e siltitos laminados (fácies Sl).

As camadas métricas de arenitos com laminações cruzadas presentes na base da associação de fácies 3, foram interpretados como como fácies de depósitos litorâneos, semelhantes às ilhas-barreira descritas por Reading & Collinson (1996). Alguns desses arenitos apresentam lâminas de argila podendo estar relacionados à redistribuição de sedimentos pela costa afora através da ação das ondas (Silva 1984) ou dos depósitos de canais de maré (Favera 2008).

A associação de fácies 3 é marcada por um padrão de granodecrescência ascendente, e estas camadas representam os sedimentos finos depositados. No poço SP-27-PR, foi observada, primeiramente, com uma camada de arenito médio a fino, cinza esverdeado, com laminação cruzada, gradando para camadas de siltitos a siltitos arenosos cinza claro a cinza esverdeados, ora laminados, ora maciços, com aspecto mosqueado em algumas porções (fácies Sm, Sl e As) intercalados a finas camadas de arenitos finos a muito finos (fácies Afm e Afp), com coloração cinza esverdeada, com laminação plano-paralela, sendo esta mais sutil nas porções mais grossas e localmente, camadas de calcários finos e folhelhos esverdeados (fácies Cl e F, respectivamente). No poço SP-50-PR, acima dos arenitos citados acima, ocorrem siltitos ora maciços, ora laminados (fácies Sm e Sl), alguns com granulação maior (fácies Sa), esbranquiçados a esverdeados, intercalados a calcilitos (fácies Cl) de coloração esbranquiçada a esverdeada. Em alguns pontos pode haver cimentação carbonática, com variação na quantidade de carbonato. Bandas e concreções carbonáticas e aspecto mosqueado também são comuns. Esses sedimentos caracterizam um ambiente marinho costeiro, abaixo do limite de ação de ondas (*offshore*) (Favera 2008). Soares & Cava (1982), interpretaram estes mesmo depósitos, também como costeiros transgressivos.

O topo de ambos os poços é marcado por camadas de arenito fino, com laminações cruzadas, correspondentes a associação de fácies 4. No caso do poço SP-27-PR, há uma intercalação de camadas de arenitos muito finos a finos intercalados a uma camada de silito arenoso, ambos com laminações cruzadas, e coloração cinza clara (fácies Afc e Sa). Essas camadas refletem depósitos formados a partir de fluxo oscilatório de alta energia no ambiente marinho, composta por depósitos de antepraia

(*foreshore*) e face praial superior (*shoreface*) (Silva 1984). Essa associação ocorre de forma descontínua ao longo do interior da Bacia do Paraná, especialmente nos Estados do Paraná e São Paulo, sendo interpretada como resultado do soerguimento do Arco de Ponta Grossa, o qual teve seu arqueamento máximo durante o Permiano (Northfleet et al. 1969), afetando os depósitos do topo da Formação Rio Bonito (Schneider et al. 1974, Aboarrage & Lopes 1986, Tognoli 2006).

Outra alteração relacionada ao Arco de Ponta Grossa são as carbonatações encontradas nos arenitos e siltitos, que podem estar relacionadas a processos de paleoalteração freática (Tognoli 2006). Os depósitos descritos acima estavam inseridos em um contexto de paleovales associados a falhamentos, relatados nos trabalhos de Soares & Cava (1982), Rebelo et al. (1984) e Zacharias (2004). Santos et al. (1996) e Holz et al. (2002) também reconheceram depósitos inseridos em paleovales no Rio Grande do Sul.

A sedimentação permocarbonífera da Bacia do Paraná teve ligação direta com influência tectônica. Segundo Assine & Perinotto (2001) e Milli et al. (2013) o período glacial que antecedeu os depósitos da Formação Rio Bonito foi responsável pelo aprofundamento de canais fluviais e pela exposição da plataforma continental, por meio da formação dos vales incisos, em um contexto de trato de sistemas de mar baixo. Outro fator que controlou a sedimentação foram as condições climáticas da época, que contribuíram para o aumento da descarga de rios e de sua capacidade de erosão, influenciando o desenvolvimento de canais mais amplos para a descarga (Suguio 2000).

Os depósitos fluviais do início do preenchimento do vale, dados no trato de sistema de mar baixo, não foram encontrados nos poços analisados. A ação da maré foi observada na associação de fácies 1, e segundo Miall (1990), em sistemas estuarinos, indica um contexto de trato transgressivo, com a subida no nível do mar e aumento do espaço de acomodação (Wakefield & Mountney 2013). Os conglomerados encontrados na base da associação de fácies 1 podem estar relacionados a retrabalhamento por ondas e correntes de maré (Zacharias 2004).

Dalrymple (1992) indicou que o preenchimento do vale está relacionado com o trato de sistema transgressivo. O padrão textural encontrado na associação de fácies 3, de granodecrescência ascendente, indica que, na base, os depósitos ainda estão

em um trato de sistema transgressivo. Em dois poços, um descrito como objetivo deste trabalho e outro descrito pela CPRM foram encontradas camadas conglomeráticas que podem representar superfícies de retrabalhamento por ondas (Walker 1984).

Segundo Miall (1990), o limite máximo de transgressão de um sistema é marcado pelo fim da sedimentação carbonática. Dessa forma, pode-se interpretar o topo da associação de fácies 3 como superfície de inundação máxima, indicando o início de um sistema de mar alto, sendo os arenitos da associação de fácies 4 depositados durante a elevação do nível do mar.

Conclusão

A análise de fácies a partir de dados de poços da porção norte do Estado do Paraná permitiu o entendimento do arcabouço estratigráfico da Formação Rio Bonito. Suas fácies foram agrupadas em quatro associações de acordo com a interpretação dos mecanismos de deposição e a correlação entre elas identificou uma complexidade de processos associados a ambiente costeiro.

Os perfis estratigráficos tornaram possível observar um padrão de espessamento dos estratos da porção intermediária da seção até o topo. A associação de fácies 1 é composta por arenitos finos a grossos com laminações cruzadas e plano-paralelas e drapes de argila, intercalados a siltitos e conglomerados, depositados em sistema estuarino influenciado por correntes de maré. A associação de fácies 2 compreende depósitos finos, laminados, ou maciços, com intercalações de camadas de arenito e camadas de carvão, estando relacionadas a zona central do estuário, com influência das correntes de maré. A associação de fácies 3 compreende em sua base, depósitos arenosos, com laminações sendo interpretados como depósitos de ilhas-barreira, indicando a influência das ondas no sistema. A porção superior desta associação é essencialmente composta por siltitos, ora arenosos, ora laminados, ora maciços, intercalados a carbonatos finos, depositados fora de contexto estuarino, em ambientes costeiros abaixo do limite de ação de ondas (offshore). A associação de fácies 4, com depósitos arenosos com laminação cruzada, representando depósitos de antepraia (*foreshore*) e face praial superior (*sho-reflect*). As baixas espessuras desta associação estão relacionadas ao soerguimento do Arco de Ponta Grossa. O limite inferior com o Grupo Itararé é

discordante bem como o limite superior com a Formação Palermo, sendo este marcado por uma superfície erosiva. Com essas informações, os sedimentos das associações de fácies 1, 2 e base da associação de fácies 3, foram interpretados em um contexto de tratos de sistemas transgressivos, e a porção restante da associação de fácies 3, e associação de fácies 4, como tratos de sistemas de mar alto em condições estuarinas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por ceder suas instalações para descrição dos testemunhos de sondagem, ao Instituto de Geociências da Unicamp pela infraestrutura de análise e o Prof. Dr. Emilson Pereira Leite pela ajuda na aquisição dos dados de raios gama.

Referências

- Aboarrage A.M. & Lopes R.C. 1986. *Projeto borda leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica: rel. final*. Porto Alegre, CPRM. vol. 1, 40p.
- Assine M.L. & Perinotto J.A.J. 2001. Estratigrafia de seqüências em sistemas deposicionais siliciclásticos costeiros e marinhos. In: Ribeiro H.J.P.S. ed. 2001. *Estratigrafia de Sequências: fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, Unisinos. p. 305-339.
- Castro J.C. 1999. *Estratigrafia de Sequências das formações Campo Mourão (parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, e do Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, no leste da Bacia do Paraná*. Rio Claro, IGCE/UNESP. 64p. (Tese Livre Doc.).
- Dalrymple R.W. 1992. Tidal depositional systems. In: James N.P. ed. 1992. *Facies models: response to sea level change*. Stittsville, Geol. Assoc. Canada. p. 195-218.
- Gordon Jr M. 1947. *Classification of the gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, Depto. Nac. Prod. Min., Div. Geol. Miner. p. 1-20. (Notas Prelim. Est., 38).
- Holz M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the early Permian Rio Bonito Formation, Parana Basin, Brazil. In: Góes A.M. ed. 2003. *3º Latinamerican Congress of Sedimentology*, Belém, Abstracts, p.125-126
- Holz M., Kalkreuth W., Banerjee I. 2002. Sequence stratigraphy of paralic coalbearing strata: an overview. *Coal Geology*, **48**:147-179.
- Martinelli G.R. 2006. *Arcabouço cronoestratigráfico do Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, no norte de Santa Catarina*. Rio Claro, IGCE/UNESP. 39p. (Trabalho de Formatura).
- Medeiros R.A., Thomaz Fº A., Roncaratti H. 1970.

- Projeto Rio Bonito – Fase 1. Relatório Interno. PETROBRAS/DESUL-SERSTRA*, vol. 402, 24p.
- Medeiros R.A. & Thomaz F.º A. 1973. Fácies e Ambientes Depositionais da Formação Rio Bonito. In: Congr. Bras. Geol., 27, Aracaju, SE. *Anais...*, SBG, vol. 3, p. 3-12.
- Miall A.D. 1985. Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth Science Reviews*, 4(22):261-300.
- Miall A.D. 1990. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. 2nd ed., New York: Springer-Verlag. 668p.
- Milani E.J., Thomaz F.º A. 2000. Sedimentary basins of South American. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. eds. 2000. *Tectonic Evolution of South America*. In: Intern. Geol. Congr., 31, Rio de Janeiro. p. 389-449.
- Milli S., D'ambrogi C., Bellotti P., Calderoni G., Carboni M.G., Celant A., Di Bella L., Di Rita F., Frezza V., Magri D., Pichezzi R.M., Ricci V. 2013 The transition from wave-dominated estuary to wave-dominated delta: The Late Quaternary stratigraphic architecture of Tiber River deltaic succession (Italy). *Sed. Geol.*, 284-285:159-180.
- Northfleet A., Medeiros R. A., Muhlmann H. 1969. *Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná*. B. Técn. Petrobras. Vol. 12, p. 291- 346.
- Reading H.G. & Collinson J.D. 1996. Clastic coasts. In: Reading H.G. ed. 1996. *Sedimentary environments: process, facies and stratigraphy*. 3th ed., Osney Mead, Blackwell Sci. p. 154-231.
- Santos P.R., Rocha-Campos A.C., Canuto J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 125:165-184.
- Schneider R.L., Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon, R.F., Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, RS. *Anais...*, SBG. vol. 1, p. 41-65.
- Silva L.M. 1984. *Projeto Sapopema: relatório final*. São Paulo. CPRM. Vol. 1, 52p.
- Soares P.C. & Cava, L.T. 1982. Faciologia e potencial carbonífero da Formação Rio Bonito no norte do Estado do Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, BA. *Anais...*, SBG, vol. 3, p. 1189-1203.
- Suguio K. 2000. *Rochas sedimentares: Propriedades, Gênese e Importância Econômica*. 3 ed. São Paulo, Blücher. p. 370-378.
- Tognoli F.M.W. 2006. *Estratigrafia das seqüências deposicionais do Grupo Guatá, borda leste da Bacia do Paraná*. Rio Claro, IGCE/UNESP. 112p. (Tese Dout.).
- Yamamoto K. 1983. *Projeto Sapopema-Fase I: relatório final*. São Paulo. CPRM. 52p.
- Walker R.G. 1984. General introduction: facies, facies sequences and facies models. In: Walker R. G. (ed.) 1984. *Facies Models*. 2 ed. Toronto, Geoscience Canada. p. 1-9.
- Zacharias A. 2004. *Preenchimento de vales incisivos por associações de fácies estuarinas, Formação Rio Bonito no norte do estado do Paraná*. Rio Claro, IGCE/UNESP. 112p. (Dissert. Mestrado).
- Zalán P.V., Wolff S., Conceição, J.C., Marques A., Asstolfi M.A.M., Vieira I.S., Appi V.T. 1990. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia G.P. & Milani E.J. eds. 1990. *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: Petrobras. p. 135-168.

Resumo: A Formação Rio Bonito de idade Permiana superior está posicionada na porção inferior do Grupo Guatá, na Bacia do Paraná. Esta unidade faz parte da Superseqüência Gondwana I e é dividida, da base para o topo, em Membro Triunfo, Membro Paraguaçu e Membro Siderópolis. Com base em dados de subsuperfície foi identificado o arcabouço estratigráfico da região centro-norte do Estado do Paraná. Foram individualizadas 16 fácies sedimentares: 1 fácies conglomerática, 1 fácies de brecha conglomerática, 6 fácies arenosas, 6 fácies argilosas, 1 fácies carvão e 1 fácies carbonática. Estas foram combinadas em quatro associações de fácies, sendo possível propor uma possível correlação para os perfis estratigráficos. Também foi realizada a perfilagem dos poços com o gamaespectrômetro. A partir desses resultados foi interpretado o ambiente deposicional, inicialmente de caráter estuarino associado a canais de maré (associação de fácies 1), evoluindo para a zona central estuarina, e posteriormente, um sistema costeiro, com depósitos de ilhas de barreira (associação de fácies 2) seguido de um avanço no nível do mar, com sedimentos característicos de abaixo do limite de ação de ondas (*offshore*) (associação de fácies 3). Por fim se identificou depósitos de antepraia (*foreshore*) e face praial superior (*shoreface*) (associação de fácies 4). Dessa forma, o arcabouço estratigráfico revelou que sedimentos foram depositados, inicialmente em um contexto de tratos de sistemas transgressivo, evoluindo para um trato de sistema de mar alto.

Palavras-chaves: Bacia do Paraná, Permiano, Formação Rio Bonito, arcabouço estratigráfico, tratos de sistemas.