Faciologia e contexto deposicional da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (PR)

Faciology and depositional setting of the Guabirotuba Formation, Curitiba Basin (PR)

Fábio Macedo de Lima¹, Luiz Alberto Fernandes^{1*}, Mário Sérgio de Melo², Ana Maria Góes³, Denise Alessandra Monteiro Machado¹

RESUMO: A Bacia de Curitiba situa-se na porção meridional do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil (SRCSB). Possui cerca de 3.000 km² de sedimentos cenozoicos com espessura preservada de até 80 m, denominados de Formação Guabirotuba. As pesquisas realizadas se ocuparam da caracterização sedimentológica e evolução da compartimentação tectônica da bacia. Porém, a distribuição das associações de fácies sedimentares e seu contexto deposicional não foram analisados de modo sistemático e, ainda hoje, prevalecem interpretações baseadas nos levantamentos das décadas de 1960 e 1980 ou em correlações com outras bacias do SRCSB. É nesta circunstância que este estudo investigou o contexto deposicional dos sedimentos da Bacia de Curitiba por meio da análise dos elementos arquitetônicos e sua distribuição em exposições de superfície. A arquitetura deposicional e os rumos médios de paleocorrentes permitem interpretar que as associações A, B, C e D são depósitos de transição entre as zonas proximais, intermediárias, e distais de sistemas distributários fluviais. Por outro lado, as associações E e F exibem características faciológicas e sedimentológicas distintas em relação às demais associações de fácies. Sua distribuição restrita sugere que sistemas fluviais contemporâneos aos demais, mas com sutis diferenças se formaram nos setores oeste e nordeste da bacia. Estes setores coincidem com aqueles onde foram descritas as formações Tinguís e Piraquara, interpretadas como unidades distintas da Formação Guabirotuba. A abundante quantidade relativa de lama e a ausência de fácies eólicas e/ou de feições sedimentares de exposição e ressecção, sugerem que tais sistemas formaram-se em condições de clima razoavelmente úmido.

PALAVRAS-CHAVE: rifte do sudeste do Brasil; Bacia de Curitiba; análise dos elementos arquitetônicos.

ABSTRACT: The Curitiba Basin is located on the southernmost portion of the Southeastern Brazil Cenozoic Rift System (SBCRS). It shows about 3,000 km² of Cenozoic sediments up to 80 m thick, the Guabirotuba Formation. Tectonic evolution and sedimentology are fairly well known, but sedimentary facies distribution and depositional context are not well understood. Current interpretations are still based on 1960's and 1980's surveys or correlations with other basins of the SBCR. In this context this study investigated sedimentation in the Curitiba Basin using the architectural elements analysis. Depositional architecture and paleocurrent directions allow to interpret six different facies associations: A, B, C and D are transitional deposits between the proximal, medial and distal zones of a fluvial distributary system; E and F associations show different sedimentological and faciological features compared to the other facies associations. Its restricted distribution suggests contemporary river systems with slight differences were formed in the western and northwestern sectors of the basin. There occur the Tinguís and the Piraquara Formations, described and interpreted as distinct units of the Guabirotuba Formation. The relative abundant amount of mud, the absence of aeolic facies and exposure or resection structures suggest that sedimentation took place under reasonably wet climate conditions.

KEYWORDS: southeast Brazil rift; Curitiba Basin; architectural elements analysis.

¹Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba (PR), Brasil. E-mails: receba@gmail.com, lufernandes@ufpr.br, denise.amm@hotmail.com

²Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa (PR), Brasil. E-mail: msmelo@uepg.br

³Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), Brasil. E-mail: anagoes@usp.br

*Autor correspondente

Manuscrito ID 25946. Recebido em: 15/02/2012. Aprovado em: 06/02/2013

INTRODUÇÃO

A Bacia de Curitiba situa-se na porção meridional do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil (Fig. 1). Seus sedimentos caracterizam um compartimento de relevo suave alongado na direção NE-SW, sobre o qual se desenvolveram Curitiba e parte dos municípios da região metropolitana. Os depósitos distribuem-se por cerca de 3.000 km² e sua espessura máxima preservada é de até 90 m.

A ausência de dados cronológicos dificulta o estabelecimento de relações estratigráficas precisas entre os sedimentos da Bacia de Curitiba. Almeida (1952) e Coutinho (1955) correlacionaram-nos com depósitos pliocênicos da Bacia de São Paulo, enquanto Bigarella & Salamuni (1962) atribuíram-lhes idade plio-pleistocena. Contudo, a palinoflora identificada nas unidades basais da Bacia de São Paulo (Melo, Vincens & Tucholka 1985, Lima, Melo & Coimbra 1991, Santos *et al.* 2010) indica idades entre Eoceno e Oligoceno, o que permite supor, também por correlação, esta idade para os depósitos sedimentares da Bacia de Curitiba.

Até os dias atuais, as interpretações sobre a evolução da bacia basearam-se em dados litoestratigráficos, sedimentológicos, modelos de evolução tectônica e dados de perfis de perfurações para poços de água. Todavia, a existência de superfícies erosivas menores e sua relação genética com a sedimentação em ambientes fluviais não foi discutida. Assim, este estudo investigou o contexto deposicional dos sedimentos da Bacia de Curitiba, mediante perspectiva aloestratigráfica baseada na análise dos elementos arquitetônicos e sua distribuição em exposições de superfície.

Contexto geológico regional: o Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil

Almeida (1976) denominou o alinhamento de vales de origem tectônica com extensão coincidente com a Serra do Mar (1.200 km) de Sistema de Riftes da Serra do Mar. Nele preservaram-se remanescentes de bacias sedimentares continentais formadas no Cenozoico, tais como a de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda. Melo *et al.* (1985) identificaram similaridade evolutiva e destacaram sua origem a partir de

Figura 1. Localização da Bacia de Curitiba no contexto do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. Modificado de Zalán & Oliveira (2005).

semigrábens assimétricos com assoalho basculado para NW, condicionados por estruturas regionais NE-SW e, secundariamente, NW-SE. A tal concepção acrescentaram o registro da ocorrência de sedimentos deformados por atividades tectônicas sin e pós-deposicionais, correlação faciológica e estratigráfica, assim como idade do conteúdo palinológico, situando a evolução das bacias entre Eoceno Superior e Oligoceno.

Riccomini (1989) e Riccomini, Sant'Anna & Ferrari (2004) consideraram que o conjunto de bacias, renomeado de "Rift Continental do Sudeste do Brasil", constituiria um único e extenso compartimento, que em função da tectônica deformacional posterior adquiriu a atual conformação. Segundo estes autores, o rifte subdivide-se em três segmentos principais: a) segmento ocidental, que corresponde à Bacia de Curitiba, formações Pariqueira-Açú e Alexandra, os grábens de Guaraqueçaba, Cananéia e Sete Barras; b) segmento central, que reúne as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende, Volta Redonda e depósitos da região de Bom Fim e do Cafundó; e c) segmento oriental, onde situam-se as bacias de São José de Itaboraí, do Macacu e o gráben de Barra do São João.

Zalán & Oliveira (2005) caracterizam o Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil (SRCSB), como entidade tectônica única, formada por corredores de depressões tectônicas continentais e suboceânicas associados a planaltos residuais. Tal sistema caracteriza uma notável sucessão de horstes e grábens escalonados, assimétricos, com bordas falhadas e flexurais, com zonas de acomodação e falhas transferentes que os segmentam em subgrábens (Fig. 1). Esses autores estabelecem três segmentos continentais para o SRCSB: a) rifte Paraíba do Sul, que inclui os grábens de São Paulo, Taubaté, Resende, Volta Redonda e o baixo Paraíba do Sul; b) rifte Litorâneo, que engloba os grábens assimétricos de Barra do São João, Guanabara, Ubatuba, Santos, Ribeira do Iguape, Cananéia e Paranaguá; e c) rifte Ribeira, que compreende os grábens de Sete Barras e Alto Ribeira.

Contudo, Zalán & Oliveira (2005) consideram a Bacia de Curitiba uma "depressão topográfica com possível tectônica somente nas bordas, situada a meio caminho dos riftes Litorâneo (gráben de Paranaguá) e Ribeira (gráben Alto Ribeira)", interpretação esta baseada no fato da bacia não configurar um gráben nos perfis morfotectônicos em escala regional.

Embasamento neoproterozoico e evolução tectônica

O embasamento da Bacia de Curitiba é constituído por rochas gnáissico-graníticas e associadas do Complexo Atuba. As áreas adjacentes são compostas por rochas

granitoides da Província Graciosa, a leste, e pelas rochas metamórficas do Grupo Açungui, a oeste, todas de idade neoproterozoica (Fig. 2A).

A bacia possui estruturação em blocos basculados delimitados por falhas que seccionam o embasamento e parte dos sedimentos. As estruturas rúpteis-dúcteis mais antigas são de idade neoproterozoica e possuem orientação NE-SW e ENE-WSW; seguidas das do Cretáceo inferior, com orientação NW-SE. A geração mais recente, considerada de idade paleogênica tem registros na porção basal da Formação Guabirotuba e corresponde a falhas normais de direção NE-SW e N-S (Salamuni, Ebert & Hasui 2004).

Salamuni (1998) identificou regime tectônico inicial com distensão de W-E a WNW-ESSE seguido de inversão e rotação para NNE-SSW (Quadro 1), o que segundo ele, sugere atuação de um regime tectônico transtrativo, geralmente relacionado a bacias do tipo *pull apart*.

Estratigrafia da Bacia de Curitiba

A falta de levantamentos sistemáticos com ênfase no enfoque estratigráfico, aliada à natureza descontínua característica dos depósitos fluviais, implicaram discussões baseadas em modelos de sistemas deposicionais e correlações estratigráficas com outras bacias do SRCSB. Os principais estudos dessa ordem incluem os de Bigarella & Salamuni (1962), que atribuíram a deposição da Formação Guabirotuba a contexto de sistemas de leques aluviais marginais; os de Becker (1982), que denominou os sedimentos sobrejacentes a inconformidade erosiva com a unidade supracitada de Formação Tinguís; e por fim, os de Coimbra, Sant'Ana & Valarelli (1995) que descreveram depósitos de sistemas de rios meandantes e os denominaram Formação Piraquara. Com base em modelo de evolução tectônica e revisão regional, Salamuni (1998) propôs a seguinte organização estratigráfica para a bacia: a) Formação Guabirotuba, b) Formação Tinguís e c) depósitos alúvio-coluviais de fundo de vale. O Quadro 2 sintetiza as propostas estratigráficas para a Bacia de Curitiba.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos e técnicas empregados na pesquisa sucederam-se conforme apresentado na Fig. 3. Os levantamentos de campo incluíram a elaboração de perfis e seções transversais, medidas das atitudes de estruturas sedimentares, amostragem e documentação fotográfica de afloramentos. Além da procura por novas exposições, foram visitadas localidades citadas nos trabalhos de Becker (1982) e de Coimbra, Sant'Ana & Valarelli (1995).

Figura 2. (A) Distribuição das associações de fácies (superior) e (B) rumos médios de paleocorrentes na Bacia Sedimentar de Curitiba (inferior).

Nota: o número no interior do círculo corresponde ao local de afloramento estudado.

Quadro 1. Síntese da evolução tectônica e sedimentar da Bacia de Curitiba, segundo Salamuni *et al.* 2003

Evento	Natureza	Duração	Síntese	Implicações deposicionais
D ₂	D ₂ ⁻	Mioceno (?)	Reativação de falhas sob regime transtensivo, movimentação destral, melhor registro nos sedimentos	Deposição da Formação Tinguis, subsequente desenvolvimento da bacia hidrográfica do rio Iguaçu
	D ₂ ⁺		Reativação de falhas transcorrentes sob regime transpressivo, melhor registro no embasamento	
D ₁	Distensiva (EW a WNW)	Até final do Oligoceno	Reativação de falhas NE-SW com movimentação normal	Deposição inicial e deformação da Formação Guabirubá

Quadro 2. Síntese das propostas litoestratigráficas para a Bacia de Curitiba

Unidade	Autor	Idade	Origem	Clima
Formação Boqueirão	Becker (1982)	Pleistoceno superior (?)	Sedimentos arenosos do fundo de vales fluviais	Úmido
Formação Tinguis	Becker (1982)	Plioceno superior a Pleistoceno inferior (?)	retrabalhamento fluvial da Formação Guabirubá	Semiárido
Formação Piraquara	Coimbra <i>et al.</i> (1995)	Oligoceno a início do Mioceno (?)	Depósitos de contexto fluvial meandrante	Úmido
Formação Guabirubá	Salamuni (1998)	Eomioceno a Mesomioceno	Depósitos de leques aluviais	Semiárido
	Bigarella & Salamuni (1962)	Plio-Pleistoceno

Figura 3. Roteiro de métodos utilizados na pesquisa.

A classificação das fácies sedimentares seguiu a nomenclatura proposta por Miall (1996) e consistiu na identificação e interpretação dos elementos de arquitetura deposicional em exposições de superfície.

O estudo de paleocorrentes baseou-se na atitude de planos de estratificações cruzadas e orientação de clastos, conforme técnicas aplicadas por Coimbra *et al.* (1992). Os rumos de paleocorrentes foram interpretados com base no contexto deposicional das fácies, para que variações internas nos elementos arquitetônicos fluviais como as citadas por DeCelles & Langford (1983) não fossem negligenciadas.

RESULTADOS

Em geral, os sedimentos da Bacia de Curitiba são constituídos por lamas e areias imaturas com intercalações de cascalhos em volume mais restrito, sobretudo nas bordas. Além de fácies sedimentares clásticas (Figs. 4A a F), ocorrem feições eo/telodiagênicas que constituem intervalos tabulares com cimentação carbonática (calcretes laminares, *Plc*; Fig. 4G) ou concreções alongadas a subesféricas isoladas ou aglutinadas (calcretes nodulares, *Pnc*; Fig. 4H). Algumas acumulações estratiformes delgadas de óxidos e hidróxidos de ferro ocorrem junto a superfícies de contato entre fácies de diferente porosidade, ou junto a horizontes pedogenéticos/intempéricos atuais. As fácies sedimentares e feições pedogenéticas adaptadas para este estudo são apresentadas no Quadro 3.

A associação das fácies sedimentares aliada à hierarquia das superfícies limitantes conduziram a identificação dos elementos arquitetônicos, que, segundo Miall (1996), constituem a unidade primordial para a interpretação da dinâmica deposicional. O Quadro 4 apresenta elementos arquitetônicos identificados e as associações de fácies que os contextualizam.

Associações de fácies sedimentares

Associação A

Descrição

A Associação A é composta essencialmente por fácies cascalhosas Gmm, Gt e Gp, que possuem espessuras

Figura 4. Principais fácies sedimentares identificadas em campo: (A) fácies Gmm, cascalho maciço sustentado por matriz arenosa; (B) fácies Gp, cascalhos de matriz areno-lamosa com estratificação cruzada tabular; (C) fácies Sm, areia grossa com matriz argilosa maciça; (D) fácies Sp, areia grossa com estratificação cruzada salientada pelo alinhamento concordante de clastos; (E) fácies Fm, lama maciça; (F) fácies Fh, lama com laminação plano-paralela; (G) feição eodiagenética de calcrete laminar em areias maciças da fácies Sm; (H) calcretes nodulares eodiagenéticos (Pnc) que conferem aspecto concrecionado a lammas maciças da fácies Fm.

Quadro 3. Características texturais e composicionais das fácies sedimentares identificadas na Bacia de Curitiba

Fácies sedimentares				
Código	Denominação	Textura	Estruturas	Formas e dimensões
Gmm	Cascalho sustentado por matriz (Fig. 4A)	Clastos polimíticos em matriz lamosa	Maciça; imbricação de clastos mal definida	Tabular ou lenticular com espessura máxima de 3 m, eventualmente com largura superior a 10 m
Gcm	Cascalho sustentado pelo arcabouço	Clastos polimíticos em matriz arenosa	Gradação normal; imbricação de clastos	Tabular com espessura máxima de 1m, eventualmente com largura superior a 10 m
Gp	Cascalho estratificado sustentado por matriz (Fig. 4B)	Clastos polimíticos em matriz areno-lamosa	Estratificação cruzada tabular	Lenticular com topo convexo, tabular com espessura máxima de 1 m e largura de até 5 m
Sm	Areia maciça (Fig. 4C)	Granulação fina a grossa; pode conter grânulos e seixos	Maciça; aumento de lama para o topo	tabular e secundariamente lenticular, espessura e largura variadas
Sp	Areia com estratificação cruzada tabular (Fig. 4D)	Granulação média a muito grossa; pode conter grânulos e seixos	Estratificação cruzada tabular	Tabular ou lenticular com espessura máxima de 1 m e largura de até 12 m
Sr	Areia com marcas onduladas	Granulação muito fina a grossa	Marcas onduladas	Tabular com espessura de 40 cm e largura de até 2 m
Fm	Lama maciça (Fig. 4E)	Argila e silte com proporção variada de areia	Maciça	Tabular com espessura máxima de 12 m e largura não observável, lenticular com espessura máxima de 40 cm e largura de até 3 m
Fl	Lama arenosa com laminação cruzada	Argila e silte com proporção variada de areia	Laminação cruzada isolada	Irregular de limites incipientes, sets de até 40 cm associados a lamas maciças de aspecto tabular
Fh	Lama com laminação plano-paralela (Fig. 4F)	Argila e silte	Laminação horizontal incipiente ou evidente	Lentes com espessura inferior a 30 cm e largura de até 2 m, eventualmente estratos lenticulares com espessura de 1m e largura de até 3 m
Feições eo/telodiagenéticas				
Código	Denominação	Constituição	Estruturas	Formas e dimensões
Plc	Calcretes pedogenéticos tabulares (Fig. 4G)	Calcita e/ou Dolomita	Maciça	Intervalos tabulares com espessura máxima de 20 cm e largura superior a 10 m, extremidades discretamente afinadas
Pnc	Calcretes pedogenéticos nodulares (Fig. 4H)	Calcita e/ou Dolomita	Calcretes de aspecto nodular	Nódulos individuais ou coalescidos com até 8 cm de diâmetro
Pf	Ferricretes pedogenéticos	Óxidos e hidróxidos de ferro	Crostas adelgaçadas	Intervalos tabulares com espessura máxima de 3 cm ao longo do contato entre fácies e/ou perfis de solo

individuais de até 3 m, dimensões laterais decamétricas, e em geral são amalgamadas e com transições graduais entre si. Os contatos basais com outras fácies normalmente são erosivos, mas podem ocorrer gradações normais grosseiras (internas) ou bem definidas de cascalhos para fácies arenosas (Sm, St ou Sp) e/ou lamosas (Fm) (Fig. 5A). Rumo ao interior da bacia, os depósitos dessa associação adquirem caráter mais lamoso, com intercalações subordinadas de areia maciça muito grossa (fácies Sm) com grânulos e seixos. Junto à base da fácies lamosa (Fm), estas intercalações constituem a fácies Gmm. Secundariamente, observam-se feições acanaladas com transições laterais de areias maciças (fácies Sm) para areias com estratificação cruzada tabular (fácies Sp).

Elementos arquitetônicos

A fácies Gmm corresponde a depósitos de fluxos detríticos proximais (elemento SG) não confinados. Sua base erosiva plana constitui superfícies de quinta ordem sobre depósitos mais antigos, enquanto estratos menores de base côncava delineiam superfícies de quarta ordem em seu topo. A fácies Gp está relacionada à migração lateral (elemento LA) e longitudinal (elemento DA) de barras cascalhosas (elemento GB) em contexto de canal fluvial. A base erosiva sutilmente côncava esculpe superfície de quinta ordem sobre outros depósitos, enquanto as superfícies de acreção lateral são de terceira ordem (Fig. 5A). A transição gradual da fácies Gp para Sp, no topo dos depósitos de barras, sugere redução progressiva na capacidade

Quadro 4. Elementos arquitetônicos identificados e associações de fácies correspondentes

Elementos arquitetônicos		Associações de fácies sedimentares					
Código	Descrição	A	B	C	D	E	F
CH	Canal	Gp, Sp	Sp, Sm	Sp, Sm, Fm	Sp, Fh, Fm	Gcm, Sp, Sm	Gp, Sp, Sm
GB	Barras e formas de leito cascalhosas	Gp	---	---	---	Gcm, Gmm	Gp
SB	Formas de leito arenosas	Sp, Sm	Sp, Sm	Sp, Sm	Sp	Sp, Sm	Sp
DA	Acreção a jusante	Gp, Sp	---	Sp, Sr	Sp	Sp	Gp, Sp
LA	Acreção lateral	Gp, Sp	---	Sp	---	Sp	Gp, Sp
SG	Depósitos de fluxos de detritos	Gmm, Fm	Sm, Fm	Fm	---	Fm	Fm
LS	Inundações laminares	---	Sm	Sm	Sp	---	Sm
FF	Sedimentos finos de transbordamento	---	Fm	Fm + Pnc	Fm + Plc/Pnc	---	Sm, Fm

de transporte do canal. Tanto na porção superior dos depósitos dos fluxos de detritos proximais como nos de barras cascalhosas, estratos lenticulares de base côncava delineiam superfícies de quarta ordem. Estes são constituídos pelas fácies Sm e Fm, e permitem supor que depósitos de fluxos lamosos ocupavam feições de canal abandonado na planície de inundação.

Paleocorrentes

Na exposição mais oriental, o rumo médio de migração lateral das barras cascalhosas é para nordeste (69°), enquanto o das barras arenosas é para sudeste (139°; Fig. 2B). Tais depósitos são segmentados por superfície de quinta ordem, o que indica que apesar de formados em contexto fluvial similar, correspondem a eventos de intensidade e idade distintas. Nas exposições mais interiores, as resultantes de paleocorrentes indicam tendência de fluxos de transporte para noroeste. Considerando as peculiaridades deste estilo fluvial (Miall 1996, DeCelles & Langford 1983), admite-se que o escoamento dos canais fluviais da Associação A foi principalmente para noroeste.

Interpretação

A intercalação dos depósitos de fluxos de detritos com os de barras cascalho-arenosas sugere seu retrabalhamento por fluxos fluviais canalizados. Segundo Rust & Koster (1984) esta situação é típica de regiões proximais de leques aluviais, onde normalmente tais depósitos são considerados intergradacionais. As superfícies de acreção lateral de barras cascalhosas permitem supor que estas foram depositadas por canais de rios entrelaçados atipicamente sinuosos. Os elementos arquitetônicos identificados são similares aos de “rios errantes com carga de fundo cascalhosa” (*gravel-bed wandering river*) descritos em Miall (1996) (Fig. 6A). Tal estilo fluvial é caracterizado pela atuação consecutiva de até três canais, nos quais se formam barras cascalhosas que depositam as fácies *Gh*, *Gp* e *Gt*. Durante os estágios de menor vazão, é comum o desenvolvimento de barras arenosas sobre cascalhosas mais antigas,

o que resulta em depósitos com transições graduais para fácies *St*, *Sp*, *Sr* e *Sh*. As sucessões granodecrescentes são típicas dos canais de menor porte, e estão relacionadas com fluxos detríticos possivelmente drenados por canais abandonados durante estágios de baixa energia.

Associação B

Descrição

Esta associação é formada por fácies arenosas e areno-cascalhosas que constituem estratos com base côncava, de espessura máxima preservada da ordem de 2 m e largura de até 20 m. Neles predominam areias médias a grossas com estratificação cruzada tabular (fácies *Sp*) salientada pelo alinhamento de seixos, areias conglomeráticas com estrutura maciça (fácies *Sm*), ou ocasionalmente, areias com estratificação cruzada acanalada (fácies *St*). Em todos os casos, é comum a concentração de seixos extraclásticos angulosos e subangulosos na porção basal dos estratos. Tais feições associam-se a depósitos tabulares de lama maciça (fácies *Fm*) com espessura de até 3 m e largura no mínimo decamétrica (Fig. 5B). Nessas lamas, são comuns intercalações lenticulares de areias maciças (fácies *Sm*) com espessura de 20 cm e largura de até 1 m; e tabulares de espessura similar e largura de até 2 m, com transição gradual para fácies *Fm* no topo.

Elementos arquitetônicos

As fácies *Sp*, *Sm* e *St* correspondem a depósitos de barras arenosas (elemento SB) em contexto de canal fluvial (elemento CH). Em seção longitudinal ao canal, transições laterais entre a fácies *Sm* e *Sp* sugerem retrabalhamento fluvial dos depósitos mais antigos de fluxos de detritos (elementos SG). Os elementos de canal formam superfícies erosivas de quinta ordem nos estratos tabulares de lamas maciças (fácies *Fm*), que são resultado do acúmulo de sucessivos depósitos de fluxos detríticos lamosos (elemento SG) (Fig. 5B). Estes depósitos, possivelmente contextualizavam o ambiente de planície de inundação, onde

Figura 5. Mosaicos fotográficos das associações de fácies sedimentares, contendo superfícies limitantes e principais elementos arquitetônicos (ver locais na Fig. 2). (A) Associação de fácies A, local 2; (B) associação de fácies B, local 18; (C) associação de fácies C, local 52; (D) associação de fácies D, local 3; (E) associação de fácies E, local 47; (F) associação de fácies F, local 45. Os números dentro de círculos indicam a ordem das superfícies limitantes.

ocasionais transbordamentos do canal resultaram em inundações laminares arenosas (elemento LS) que depositaram a fácies Sm.

Paleocorrentes

A migração lateral e longitudinal das unidades de barras de canais formadas nesse contexto fluvial gera um padrão de acreção de barras alternado. Nesta associação, as resultantes desses planos com orientação oblíqua em relação a do fluxo parece ter sido para noroeste (Fig. 2B).

Interpretação

Segundo Nichols & Fisher (2007), a transição entre a zona proximal e intermediária dos leques aluviais é marcada pelo aumento na proporção dos depósitos de planície de inundação e o decréscimo na granulação dos de preenchimento dos canais. Tal característica é observada na Associação B. Nesta, os depósitos de canal são pouco amalgamados e com menor espessura em relação aos de planície de inundação, o que possivelmente resulta do seu baixo grau de entrelaçamento. As intercalações lenticulares e

tabulares de sedimentos mais grossos com depósitos de planície de inundação diminuem em proporção e espessura rumo a oeste, o que sugere a redução da frequência e intensidade dos eventos de transbordamento de canal. Miall (1996) descreve estilo fluvial semelhante ao de rios com canais entrelaçados, mas que apresenta somente um canal de baixa sinuosidade ativo (Fig. 6B). Nos “rios de baixa sinuosidade com barras alternadas” (*low-sinuosity river with alternate bars*), as barras arenosas assumem padrão alternado de migração em relação à jusante do fluxo, que resulta em preenchimentos únicos com estratificação cruzada de alto ângulo, ao invés de uma assembleia de *sets* com superfícies de primeira e terceira ordens.

Associação C

Descrição

A Associação C é constituída por unidades de base cônica com espessuras de até 4 m e larguras da ordem de 20 m que, quando amalgamadas lateralmente, formam complexos com mais de 100 m de largura (Fig. 5C). Estas

Figura 6. Interpretação do contexto deposicional das associações de fácies da Bacia de Curitiba. Gravuras modificadas e adaptadas de Bridge (2006), Nichols & Fisher (2007) e Miall (1996).

feições são preenchidas por estratos menores discretamente acanalados de areias médias maciças (fácies Sm) com estratificação cruzada tabular, plano-paralela ou marcas onduladas (fácies Sp, Sh e Sr, respectivamente). A espessura dos estratos menores é de até 40 cm e principalmente no topo, intercalam-se lentes amalgamadas de lamias maciças (fácies Fm) ou com laminação plano-paralela (fácies Fh; Fig. 5C). Ocasionalmente, a fácies Sm exibe gradação normal associada ao aumento do conteúdo de lama para o topo.

Elementos arquitetônicos

Os depósitos das fácies Sp e Sm caracterizam elementos de barras arenosas (elemento SB). Quando se sucedem verticalmente constituem superfícies basais de terceira ordem, o que sugere reativação/acreção das barras a jusante (elemento DA). Na porção superior de tais depósitos, os estratos lenticulares menores delineiam superfícies basais de quarta ordem. Esses estratos são formados por intercalações delgadas da fácies Sp/Sm e Fm individualizadas por superfícies de segunda ordem (Fig. 5C). O elemento canal (elemento CH) pode sobrepor-se verticalmente formando superfícies basais de quinta ordem, e nesse caso, são identificados depósitos da fácies Fm com estruturas de paleossolos (elemento P). Tais características sugerem tratar-se de possíveis depósitos de corridas de lama (elemento SG) ocorridas fora do contexto do canal. A relação entre elementos arquitetônicos indica contexto de canais fluviais lateralmente amplos, em que a redução sazonal da vazão resultava no desenvolvimento de pequenos canais e lagoas.

Paleocorrentes

Na porção sul, centro-oeste e norte da bacia (locais 55, 57 e 31; Fig. 2B), as resultantes das paleocorrentes dos depósitos de barras arenosas indicam rumo do fluxo dos canais para noroeste. Contudo, na porção central algumas resultantes das paleocorrentes dos depósitos de barras arenosas indicam rumo do fluxo para sudoeste (locais 32 e 1;

Fig. 2B). Sua posição coincide com a das maiores profundidades do embasamento apresentadas por Salamuni (1998). Possivelmente, esta depressão preexistente condicionou localmente a drenagem durante a sedimentação, tornando alguns canais entrelaçados rasos mais sinuosos devido à redução no gradiente da declividade e/ou do espaço de acomodação.

Interpretação

À medida que rios avançam para áreas distais, a redução do gradiente associada à infiltração e forte evaporação da água favorece a formação de canais rasos com grande amplitude lateral. Cain & Mountney (2009) identificam associação de contexto similar, onde o elemento canal com preenchimento múltiplo (*ribbon channel fill*) é dominante em relação aos elementos de planície de inundação. Conforme esses autores, embora ocorram na zona intermediária, exemplos menos desenvolvidos também são comuns na zona distal. Com base em características arquitetônicas similares, Miall (1996) propôs estilo fluvial de “rios entrelaçados rasos e perenes, com carga de fundo arenosa” (*shallow, perennial, sand-bed braided river*) (Fig. 6C). Tais rios são entrelaçados somente durante períodos de baixa vazão, quando canais menores se desenvolvem e os topos de barras ficam expostos. Nos períodos de alta vazão, um único e amplo canal raso ocupa quase toda a extensão da planície de inundação e como resultado, os depósitos mais finos de planície de inundação constituem a menor parte da assembleia de fácies.

Associação D

Descrição

Os principais depósitos dessa associação constituem sucessões de estratos de areias finas e médias com estratificação cruzada tabular (fácies Sp) intercalados com lamias maciças (fácies Fm). Na maioria das exposições, as fácies Sp

Figura 7. Depósitos das associações D e E intercalados na porção sudoeste (local 3). Situações dessa natureza também são observadas na porção norte (local 44), e secundariamente centro-oeste da bacia.

estão cimentadas por carbonato de cálcio (feição de paleossolo Plc). Nesse caso, formam crostas salientes de continuidade lateral superior a 20 m e espessura máxima de 20 cm, com extremidades discretamente afinadas (Fig. 5D). Os depósitos da fácies Fm ocasionalmente apresentam aspecto nodular decorrente do acúmulo de cimento carbonático (feição de paleossolo Pnc) (Fig. 4H). Os estratos lenticulares menores possuem largura da ordem de 3 m e espessura da ordem de 40 cm, e são constituídas por areia maciça com gradação normal (fácies Sm). Aqueles de dimensão intermediária, possuem espessura similar e largura de até 7 m e são formados por intercalações das fácies Sp e Fm.

Elementos arquitetônicos

A intercalação rítmica entre a fácies Sp e Fm sugere oscilações sazonais na intensidade dos processos fluviais de planície de inundação. Os depósitos adelgaçados da fácies Sp possuem superfícies basais erosivas de quinta ordem e, provavelmente, se originaram através de inundações laminares (elemento LS) por extravasamento de canal. Neste mesmo contexto, a fácies Fm corresponderia a depósitos de eventos com menor magnitude e maior recorrência, ou mesmo, a porção distal das inundações laminares. Deste modo, sucessivas inundações lamosas (elemento SG) constituíram depósitos sutilmente mais espessos que os de inundações laminares mais antigas/proximais (Fig. 5D). A ciclicidade desses eventos também pode ser observada nos depósitos de preenchimento do elemento canal com médio porte (elemento CH).

Paleocorrentes

Nesses depósitos predominam formas de leito de pequeno porte, tais como estratificações cruzadas e marcas onduladas com orientação transversal ao fluxo. Os depósitos situados a sul e a norte registram tendência de paleocorrentes para noroeste (loais 52 e 31; Fig. 2B), porém, na porção centro-oeste os rumos médios se deslocam discretamente para norte (local 3; Fig. 2B). Neste local, a espessura preservada dos sedimentos sobre o embasamento é da ordem de 15 m, o que permite supor que estes correspondam à porção basal da deposição na bacia. Sua localização é próxima à das depressões que condicionaram a drenagem local da Associação C e, portanto, essa anomalia nas resultantes de paleocorrentes possivelmente também se relacione ao contorno estrutural do embasamento da parte central da bacia.

Interpretação

Os elementos arquitetônicos identificados são similares aos formados em áreas distantes das bordas da bacia, onde ocorrem transbordamentos de canais devidos a sua

obstrução por depósitos de inundações anteriores, como descrevem Galloway & Hobday (1983). Fisher, Nichols & Waltham (2007) observaram que durante estações secas, espraiaamentos terminais originam inundações laminares que resultam em depósitos amalgamados de base erosiva, intercalados em lamias com feições pedogenéticas. Por outro lado, nas estações úmidas o aporte de águas meteóricas no substrato lamoso saturado por águas freáticas pode resultar na formação de lagoas em pequenas depressões de canais abandonados. Nesse contexto, espraiaamentos terminais que adentram corpos aquosos formam discretos lobos deltaicos, o que explicaria a eventual formação de estruturas de sobrecarga no topo das fácies Fm e Fh em elementos menores de canais. Assim, esta associação corresponde ao contexto de sistemas fluviais distais de leques aluviais onde, segundo Miall (1996), predominam “rios distais com carga de fundo arenosa e inundações laminares” (*distal, sheetflood, sand bed river*) (Fig. 6D). Estudos mais recentes (*e.g.* Fisher, Nichols & Waltham 2007, Nichols & Fisher 2007, Cain & Mountney 2009) têm apresentado modelos de zonas distais constituídas da intercalação entre elementos de inundações laminares (LS) e de planícies de inundação (FF).

Associação E

Descrição

A Associação E tem como característica principal fácies cascalhosas (Gmm) de matriz arenosa, que formam estratos tabulares com espessuras que não ultrapassam 1 m. Nesta associação ocorrem transições para areias finas a médias maciças (fácies Sm), ou areias com estratificação cruzada incipiente (fácies Sp), por vezes perceptível somente devido ao alinhamento de clastos. Os estratos arenosos sobrejacentes a cascalhos (fácies Sm ou Sp) possuem forma tabular e espessuras de até 50 cm (Fig. 5E). Às vezes, possuem intercalações cuneiformes de areia fina (fácies Sm) com espessura de até 20 cm e largura da ordem de 3 m, ou lentes acanaladas com dimensões similares às das cunhas citadas entremeiam as lamias (fácies Fm). Essas lentes acanaladas são preenchidas com areias finas maciças (fácies Sm) ou areia grossa com laminação plano paralela (fácies Fh).

Elementos arquitetônicos

As fácies Gcm e Gmm correspondem a depósitos de barras cascalhosas (elemento GB) em canais fluviais amplos (elemento CH). Quando se encontram sobre depósitos de fluxos gravitacionais (fácies Fm, elemento SG) atribuídos a planícies de inundação (elemento OB), delineiam superfícies de quinta ordem (Fig. 5E). Essas superfícies correspondem à base dos canais de maior porte

(elemento CH) onde, além de barras cascalhosas, também são identificados superfícies de terceira ordem relacionadas à acreção lateral (elemento LA) de barras arenosas (elemento SB) correlatas a estágios de menor vazão. As fácies Sp e Sm preenchem elementos de canais menores (elemento CH) com superfícies basais internas de quarta ordem, e nesse caso, permitem interpretar retrabalhamento dos depósitos de barras cascalhosas mais antigos por fluxos fluviais canalizados.

Paleocorrentes

A associação E apresenta tendência do rumo de paleocorrentes distinta com relação às demais associações. Nos depósitos de barras de rios cascalhosos da porção sul, os rumos de transporte obtidos por meio da atitude de clastos indicaram tendências para leste e este-nordeste (locais 72, 73 e 74; Fig. 2B). Porém a norte, os rumos médios exibem sutil alteração para sudeste, e secundariamente, sul (locais 47, 67 e 75; Fig. 2B). De modo geral, as resultantes de paleocorrentes desta associação são para o interior da Bacia de Curitiba (Fig. 2B).

Interpretação

O arranjo arquitetônico destes depósitos é similar aos formados em planícies entrelaçadas (Rust & Koster 1984), ou mesmo, em sistemas de leques aluviais formados em baixos gradientes de declividade. Batezelli & Basilici (2007) identificaram, na Argentina, lobos cascalhentos com extensão lateral de centenas de metros, depositados por fluxos de detritos não confinados desencadeados em declividades de 1,5 graus. Tais sedimentos são retrabalhados por fluxos fluviais efêmeros, cujas barras resultam em depósitos lenticulares de areia fina a média com clastos. Os depósitos da Associação E parecem ter sido depositados em contexto similar, em áreas próximas às bordas da bacia. A redução gradual na proporção e espessura dos depósitos de barras cascalhosas e o aumento dos elementos de planície de inundação rumo a leste, sugerem aparente redução na energia dos processos de transporte sedimentar da borda para o interior. Miall (1996) propõe que estratos cascalhosos e arenosos com forma tabular são formados principalmente em “rios rasos e entrelaçados com carga de fundo cascalhosa” (*shallow, gravel-bed braided river*) (Fig. 6E). Conforme esse autor, esses canais possuem cerca de 1 m de profundidade, os depósitos de barras cascalhosa são de aspecto externo tabular e exibem numerosas superfícies limitantes internas e variações estruturais/texturais (fácies Gh, Gp e Gt). Os canais podem ser abandonados em estágios de baixa vazão, e neste caso, depositam finas lentes e cunhas de areia, formando barras arenosas.

Associação F

Descrição

Nesta associação predominam estratos discretamente lenticulares com espessura de até 1 m e largura da ordem de 25 m, formados por areia fina maciça (fácies Sm) com gradação normal acompanhada de aumento do teor de lama em direção ao topo. Nas seções longitudinais em relação ao canal, tais estratos apresentam variações laterais no conteúdo de areia fina e lama. Secundariamente, ocorrem estratos com espessuras da ordem de 1 m e largura de até 20 m e, neste caso, são formados por areias grossas e médias com grânulos e seixos (fácies Sp). Em exposições com pouca continuidade lateral, sucessões de *sets* submétricos de areias finas e médias das fácies Sp e Sr intercalam-se com estratos de até 2 m de espessura de areias grossas com seixos (fácies Sp) ou maciças (fácies Sm) com até 1 m de espessura (Fig. 5F). Tais estratos esculpem superfícies em areias (fácies Sm) e lammas maciças (fácies Fm) com aspecto externo tabular e espessura de até 2 m. Junto ao contato com as fácies sobrejacentes as lammas podem conter diques clásticos rizoformes e as areias, estruturas reniformes irregulares (*ball and pillow*).

Elementos arquitetônicos

Os elementos arquitetônicos característicos desta associação são canais (elemento CH) preenchidos de areia fina com gradação normal associada ao aumento de lama em direção topo. Essas características sugerem fluxo fluvial com baixa energia de transporte, com canais sendo gradativamente assoreados por depósitos de barras arenosas (SB) e de decantação em pequenas lagoas formadas em segmentos abandonados (elemento FF). Esses canais delinearam superfícies de quinta ordem sobre depósitos da fácies Fm, que constituem registros de inundações lamosas possivelmente desencadeadas por transbordamento dos canais (elemento CS) (Fig. 5F). Nas sucessões verticais mais espessas, os depósitos de barras areno-cascalhosas exibem superfícies limitantes de terceira ordem entre si. Tais superfícies permitem interpretar que durante estágios de maior vazão as barras migraram a jusante (elemento DA) e também lateralmente (elemento LA), em relação ao fluxo do canal. Alguns elementos canal esculpiram superfícies basais de quarta ordem sobre depósitos mais antigos de canal, e de quinta ordem sobre depósitos de inundações laminares arenosas (elemento LS).

Paleocorrentes

As medidas obtidas em elementos de barras com migração longitudinal em relação ao canal exibem resultantes bem definidas para norte-noroeste (locais 41, 42 e 45; Fig. 2B), tendência regional que também é reconhecida na Associação C.

Interpretação

Esta associação ocorre em área que corresponde parcialmente àquela onde Coimbra, Sant'Ana & Valarelli (1995) descreveram os depósitos da Formação Piraquara. Segundo os autores, sua origem estaria relacionada à “calmaria” tectônica durante o final do Oligoceno e início do Mioceno que, associada com o clima úmido, permitiu a implantação gradativa de um sistema fluvial meandrante. Porém, os elementos de barras de pontal considerados típicos desse estilo fluvial não são identificados nos depósitos da Associação F. Walker & Cant (1984) defendem que durante intervalos de maior vazão, o transporte de sedimentos grossos em canais de meandros com alta sinuosidade pode inibir o desenvolvimento do fluxo helicoidal simétrico. Segundo tais autores, nesses episódios são geradas formas de leito sinuosas que migram paralelamente em relação ao fluxo, e que resultam em depósitos de barras arenosas com estratificação cruzada acanalada. Miall (1996) propõe o estilo fluvial denominado “rio meandrante cascalho-arenoso” (*Gravel-sand meandering river*) (Fig. 6F). Este corresponde a rios dominados por correntes de tração, que constituem elementos de canal formados por depósitos de barras arenosas, areno-seixosas ou arenosas com cascalhos concentrados na base. A migração e a segmentação dos meandros neste contexto fluvial ocasionam o abandono de canais, em cujo topo se acumularam sedimentos pelíticos maciços provenientes de inundações subsequentes.

CONTEXTO DEPOSICIONAL DAS ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

A tectônica distensiva iniciada no Paleoceno gerou grábens assimétricos na área da Bacia de Curitiba, segundo concepção de Salamuni (1998). Durante as estações mais úmidas, o manto de intemperismo das vertentes ocidentais da Serra do Mar foi mobilizado e convergiu para vales dominados por fluxos fluviais de alta energia. Ao adentrar a área do gráben, os fluxos antes confinados espalharam-se, e conforme o rebaixamento do nível de base local avançou, sistemas distributários fluviais (Nichols & Fisher 2007) progrediram rumo ao interior da bacia.

Sob a declividade acentuada das áreas adjacentes à borda leste, rios errantes com carga de fundo cascalhosa se desenvolveram em contexto dos fluxos de detritos proximais (Fig. 6, bloco A). Seus depósitos são aqui interpretados como proximais de sistemas distributários fluviais, que correspondem à Associação A, presente, sobretudo, na porção leste da bacia (Fig. 2A).

Rumo ao interior da bacia, o transporte e a sedimentação passaram a ser dominados por rios de baixa sinuosidade

com barras alternadas. Estes atravessavam planícies de inundação lamosas, formadas por depósitos distais de fluxos de detritos e de transbordamento (Fig. 6, bloco B). Os sedimentos depositados nesse contexto correspondem à Associação B, que se encontra melhor preservada na porção sul e sudeste da bacia (Fig. 2A).

Com a redução da declividade em direção à área central, os fluxos sedimentares passaram a ocorrer em rios rasos e amplos, com canais entrelaçados somente em períodos de baixa vazão que retrabalhavam depósitos mais antigos de barras arenosas (Fig. 6, bloco C). Essa dinâmica deposicional é atribuída a zona intermediária-distal, cujos depósitos resultantes correspondem à Associação C, é melhor preservada no centro e nordeste (Fig. 2A).

Nas áreas de topografia suave, canais de pequenas dimensões foram incapazes de acomodar o aporte sedimentar oriundo de montante. Deste modo, fluxos laminares arenosos espalhavam-se sobre a planície de inundação lamosa, formada principalmente por depósitos de fluxos lamosos mais antigos (Fig. 6, bloco D). Nesse ambiente interior de maior estabilidade, também influenciado pela umidade de origem freática, a vegetação se desenvolveu formando horizontes pedogenéticos. Tais características ambientais são atribuídas à zona distal de sistemas distributários fluviais, cujos remanescentes sedimentares constituem a Associação D, que ocorre na borda oeste e noroeste da bacia (Fig. 2A).

A distribuição restrita de sedimentos com arquitetura deposicional distinta à das associações supracitadas sugere que, em alguns setores da bacia, sistemas fluviais contemporâneos com sutis diferenças se formaram. No setor oeste, rios integravam um sistema distributário fluvial de baixa declividade e dinâmica deposicional similar à de planícies de rios entrelaçados (Fig. 6, bloco E). Os canais pouco confinados apresentavam barras longitudinais cascalhosas que se intercalavam com barras arenosas menores, sobretudo em períodos de baixa vazão. O sistema fluía para o interior da bacia e era alimentado por fontes provavelmente situadas nos domínios do Complexo Atuba e do Grupo Açungui. Os sedimentos depositados neste contexto correspondem à Associação E, cujo o significado estratigráfico será discutido na seção seguinte.

Por fim, no atual setor nordeste da bacia (Fig. 2A), eventos de ocorrência sazonal conferiam aos rios capacidade de ora transportarem materiais sedimentares mais grossos, ora abandonar seus canais e depositar sedimentos mais finos. Esta dinâmica associada à baixa declividade do terreno, resultou na formação de canais migratórios sinuosos (Fig. 6, bloco F) que fluíam para norte-noroeste, rumo este que seria transversal aos dos sistemas fluviais de borda. Os depósitos formados nesse contexto correspondem à Associação F.

SISTEMAS DISTRIBUTÁRIOS FLUVIAIS LESTE E OESTE

A arquitetura deposicional e os rumos médios das paleocorrentes permitem interpretar que as associações de fácies A, B, C e D correspondem a depósitos de transição entre as zonas proximais, intermediárias, e distais de sistemas distributários fluviais. Porém, a Associação E exibe características faciológicas e sedimentológicas distintas com relação às demais associações de fácies. Tais características incluem o aspecto tabular dos estratos de cascalhos e areias cascalhosas, cuja matriz arenosa possui menor quantidade de lama em relação aos depósitos cascalhosos da atual borda leste (associações A, B, C e D). Outro aspecto a ser considerado, é que os depósitos da Associação E possuem cores primárias amarronzadas e avermelhadas inclusive em profundidade, conforme consta nas descrições de perfurações para poços utilizadas por Salamuni (1998).

No setor oeste e em áreas ao longo do eixo longitudinal da Bacia de Curitiba, os sedimentos da Associação E intercalam-se com depósitos lamosos distais das associações C e D (loais 3 e 44; Fig. 2A). Eles constituem estratos tabulares com expressão lateral da ordem de dezenas de metros ou estratos decimétricos com base sutilmente côncava, todos com espessuras de até 1 m (Fig. 7). Nos locais próximos ao contato, as lamelas contêm grânulos, seixos e tonalidades avermelhadas provenientes dos depósitos da Associação E; por vezes, as areias dessa associação contêm estruturas de sobrecarga e intraclastos lamosos. Tais relações sugerem deposição coetânea e que as porções intermediárias a distais dos sistemas distributários fluviais de borda avançavam, ocasionalmente, umas sobre as outras.

Conforme propôs Becker (1982), esses depósitos avermelhados seriam produto do retrabalhamento fluvial da Formação Guabirota em contexto de clima semiárido plio-pleistocênico, e por tal motivo, foram individualizados na Formação Tinguis. Com base nos mapas apresentados pela autora, buscou-se reconhecer os locais de exposição dessa unidade, porém, somente foram identificados remanescentes pouco espessos da Associação E sobre o embasamento granítico-gnáissico alterado.

Além das observações de cunho estratigráfico, a contribuição de áreas-fonte distintas para os sedimentos da Associação E, também é sugerida a partir dos resultados do estudo de proveniência por análise dos minerais pesados efetuado por Machado (2009). Neste estudo, foram definidas duas populações de minerais pesados, denominadas: alto zircão, com quantidades relativas entre 78 e 100% e baixo zircão, com quantidades relativas entre 20 e 61% do mineral. Conforme as assembleias de minerais pesados e os rumos de transporte determinados, Machado (2009) supôs

que a população alto zircão teve como área-fonte preferencial a província granítica Graciosa, enquanto a população baixo zircão pareceu-lhe ter o Complexo Atuba e o Grupo Açungui como principais áreas-fonte.

A maior espessura e extensão dos depósitos presentes a leste não implicam que os movimentos verticais das falhas que delimitam a Bacia de Curitiba tenham sido maiores neste setor, conforme proposto nos modelos de evolução tectônica de semigrábens (*e.g.* Withjack, Schlische & Olsen 2002). Os rumos médios de paleocorrentes indicam que as porções mais baixas do compartimento principal da bacia situavam-se a oeste, situação coerente com as profundidades atuais obtidas por Salamuni (1998). De acordo com este autor, as ombreiras da bacia corresponderiam à Serra do Mar a leste (sobretudo rochas granitoides da Província Graciosa) e à Serra do Açungui (rochas metassedimentares do Grupo Açungui) a oeste (Fig. 2A). Essas elevações correspondem parcialmente às principais áreas-fontes dos sedimentos segundo os estudos de proveniência de Machado (2009).

Possivelmente, tais rochas tenham sido submetidas a episódios tectônicos e climáticos similares, contemporâneos e posteriores ao intervalo de preenchimento da bacia. Considerando a maior resistência à dissecação dos maciços da Província Graciosa e sua correlação com Superfície do Japi no Estado do Paraná, é provável que já no Paleoceno a Serra do Mar fosse mais elevada em relação às fontes situadas a oeste. Assim, partilhando das ideias de Bigarella & Salamuni (1962), o espesso perfil de alteração, submetido à instabilidade gravitacional e à ação das chuvas torrenciais mais intensas, resultaria em maior aporte sedimentar na borda leste.

CONCLUSÕES

A análise de associações de fácies e dos elementos arquitetônicos proposta por Miall (1996) mostrou-se eficaz na discussão do contexto deposicional da Bacia de Curitiba. Os resultados obtidos indicam que a tectônica pós-deposicional não foi intensa o suficiente para modificar a distribuição original das associações de fácies a ponto de comprometer sua compreensão.

As características faciológicas do preenchimento sedimentar indicam deposição por sistemas distributários fluviais, em contexto similar ao proposto por Bigarella & Salamuni (1962). Porém, a abundante quantidade relativa de lama e a ausência de fácies eólicas e/ou de feições sedimentares de exposição e ressecção sugerem que a deposição ocorreu em condições de clima razoavelmente úmido, com alternância de períodos mais secos. Tal contexto estaria

de acordo com o observado por Weissman *et al.* (2010), que identificam bacias continentais com sistemas distributários fluviais ativos em distintos climas no presente.

Neste contexto, é possível que os calcretes pertençam à porção inferior da sequência, e, portanto, correspondam a registro de condições semiáridas mais intensas no início da deposição. A ausência de intervalos estratigráficos de referência dificulta a verificação desta hipótese. Porém, é importante salientar que a ocorrência de calcretes, por si só, não indica condições climáticas semiáridas, pois estes também se formam em climas úmidos com estações chuvosas bem definidas. Estudos palinológicos nas formações Itaquaquetuba e Resende (Bacia de São Paulo), correlatas à sequência sedimentar que preencheu a Bacia de Curitiba, identificaram palinoflora típica de clima úmido não tropical (Lima, Melo & Coimbra 1991).

A Formação Guabirubá, que corresponde litoestratigraficamente à sequência sedimentar que preencheu a Bacia de Curitiba, foi subdividida em seis associações de fácies. As designadas de A, B, C e D se sucedem gradualmente da borda leste para o interior da bacia, e correspondem a depósitos de sistemas distributários fluviais. Nesse mesmo sentido, os sedimentos exibem decréscimo na granulação e aumento na diversidade de fácies relacionadas a processos fluviais de extravazamento de canal em ambiente de planície de inundação. Por outro lado, a Associação E está relacionada com sistemas distributários fluviais provindos da borda oeste que, rumo a leste, exibe tendência similar à supracitada. A existência de delgados depósitos remanescentes, isolados diretamente sobre o embasamento a oeste, indica que a bacia foi originalmente mais extensa para oeste.

A Formação Tingui (Becker 1982) não foi considerada unidade distinta e nem produto de alteração dos sedimentos da Formação Guabirubá. As características texturais

descritas pela autora correspondem às dos depósitos da Associação E, coetânea das demais associações identificadas. Contexto estratigráfico semelhante a este é observado no intervalo eoceno-mioceno da Bacia de São Paulo, onde depósitos da Formação Itaquaquetuba estão mais preservados na parte oeste, mas rumo ao centro, intercalam-se com os da Formação Resende, o que indica deposição contemporânea dessas unidades (Melo, Vincens & Tucholka 1985).

O ambiente deposicional atribuído aos sedimentos da Associação F é similar ao constatado para a Formação Piraquara, unidade proposta por Coimbra, Sant'Ana & Valarelli (1995) para a Bacia de São Paulo. Novamente, o desconhecimento de referenciais estratigráficos seguros impossibilitou situá-la em intervalo deposicional distinto do das demais associações. É possível que tal associação corresponda a depósitos distais de sistemas distributários fluviais modificada por drenagem axial, o que caracterizaria exoréismo da bacia para norte.

Os rumos médios de paleocorrentes obtidos nas associações de borda indicam transporte predominante para o interior, com convergência para o setor norte. Nesse setor, os rumos obtidos na Associação C, e sobretudo na Associação F, exibem tendência para norte-noroeste. Tais fatos sugerem a extensão pretérita da Bacia de Curitiba para norte-noroeste, ou que, eventualmente, esta se comunicava com depressões correlatas no vale do rio Ribeira. Situação similar a essa é constatada entre bacias de São Paulo e Taubaté, também incluídas no Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. Lá, a segmentação das bacias foi acompanhada por captura de drenagem que modificou o curso dos rios Tietê e Paraíba do Sul, conforme defendeu Ab'Saber (1957).

REFERÊNCIAS

- Ab'Saber A.N. 1957. O problema das conexões antigas e da separação da drenagem do Paraíba e do Tietê. *Boletim Paulista de Geografia*, **26**:38-49.
- Almeida F.F.M. 1952. Novas ocorrências de camadas supostas pliocênicas nos estados de São Paulo e Paraná. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **1**(1):53-58.
- Almeida F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**(Suppl):15-26.
- Batezelli A. & Basilici G. 2007. Arquitetura e mecanismos deposicionais em sistemas aluviais holocênicos de clima árido no oeste argentino e comparação com depósitos neocretáceos brasileiros. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(4):821-840.
- Becker R.M. 1982. *Distribuição dos sedimentos cenozóicos na região metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional*. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 237 p.
- Bigarella J.J. & Salamuni R. 1962. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, Volume 7.
- Bridge J.S. 2006. Fluvial Facies Models: recent developments. In: Posamentier H.W., Walker R.G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Tulsa, Society for Sedimentary Geology, special publ. 84, p. 70-85.
- Cain S.A. & Mountney N.P. 2009. Spatial and temporal evolution of a terminal fluvial fan system: the Permian Organ Rock Formation, South-east Utah, USA. *Sedimentology*, **56**(6):1774-1800.
- Coimbra A.M., Fernandes L.A., Moraes M.C., Melo M.S. 1992. Métodos de estudo de litologias e paleocorrentes de cascalhos em terraços do baixo Ribeira do Iguaçu (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **64**(3):253-267.

- Coimbra A.M., Sant'Ana L.G., Valarelli J.V. 1995. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, **35**, Anais, p. 135-137.
- Coutinho J.M.V. 1955. Lantanita de Curitiba, Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP*, Mineralogia, **13**:119-126.
- DeCelles P.G., Langford, R.P., Schwartz, R.K. 1983. Two new methods of paleocurrent determination from trough cross-stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*, **53**(2):629-642.
- Fisher J.A., Nichols G.J., Waltham D.A. 2007. Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. *Sedimentary Geology*, **195**(1-2):55-73.
- Galloway W.E. & Hobday D.K. 1983. *Terrigenous clastic depositional systems: applications to petroleum, coal and uranium exploration*. New York, Springer Verlag, 423 p.
- Lima M.R., Melo M.S., Coimbra A.M. 1991. Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim IG-USP Série Científica*, **12**(1/2):7-20.
- Machado D.A.M. 2009. *Proveniência de sedimentos da Bacia de Curitiba por estudos de minerais pesados*. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geologia Exploratória, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 54 p.
- Melo M.S., Riccomini C., Hasui Y., Almeida F.F.M., Coimbra A.M. 1985. Geologia e evolução do Sistema de Bacias Tafrogênicas Continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**(3):194-199.
- Melo M.S., Vincens A. & Tucholka P. 1985. Contribuição à cronologia da Formação Itaquaquecetuba - SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **57**(1):175-181.
- Miall A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Toronto, Springer Verlag, 582 p.
- Nichols G.J. & Fisher J.A. 2007. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, **195**(1-2):75-90.
- Riccomini C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256 p.
- Riccomini C., Sant'Anna L.G., Ferrari A.L. 2004. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Neves B.B.B. (eds.). *Geologia do Continente Sul Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca Editora, p. 383-405.
- Rust B.R. & Koster E.H. 1984. Coarse Alluvial Deposits. In: Walker R.G., *Facies Models*. Toronto, Geological Association of Canada, p. 53-69.
- Salamuni E. 1998. *Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)*. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 214p.
- Salamuni E., Ebert H.D., Hasui Y. 2004. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(4):469-478.
- Salamuni E., Ebert H.D., Borges M.S., Hasui Y., Costa J.B.S., Salamuni R. 2003. Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, South of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**(8):901-910.
- Santos D.B., Garcia M.J., Saad R.A., Bistrichi C.A. 2010. Palinoestratigrafia da Formação Itaquaquecetuba, Bacia de São Paulo. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**(3):205-220.
- Walker R.G. & Cant D.J. 1984. Sandy Alluvial Systems. In: Walker R.G., *Facies Models*. Toronto, Geological Association of Canada, p. 71-89.
- Weissmann G.S., Hartley A.J., Nichols G.J., Scuderi L.A., Olson M., Buehler H., Banteah R., 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology*, **38**(1):39-42.
- Withjack M.O., Schlische R.W., Olsen P.E. 2002. Rift-basin Structure and its Influence on Sedimentary Systems. In: Renaut R. & Ashley G.M. (eds.) *Continental Rift Basin Sedimentology*. SEPM Special Publication, nº 73.
- Zalán P.V. & Oliveira, J.A.B. 2005. Origem e evolução do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **13**(2):269-300.