



**Caracterização de Microfácies Sedimentares em Folhelhos da
Formação Ponta Grossa (Devoniano) na Borda Leste da Bacia do Paraná**
Shale Microfacies Characterization in the Ponta Grossa Formation
(Devonian) at the Eastern Border of the Paraná Basin (Brazil)

Thiago Gonçalves Carelli & Leonardo Borghi

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Instituto de Geociências,
Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED), Av. Athos da Silveira Ramos, 274, bl, J1; sl/11
Ilha do Fundão. 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mails: carelli@ufrj.br; lborghi@ufrj.br
Recebido em: 25/10/2011 Aprovado em: 7/12/2011*

Resumo

Este estudo objetiva a caracterização de microfácies em afloramentos da borda Leste da bacia do Paraná (34 amostras) representando um trato de sistema transgressivo (20 amostras da parte inferior do Membro Jaguariaíva) e um trato de sistema de mar alto (14 amostras da parte superior do Membro São Domingos) da Formação Ponta Grossa, inseridos em uma sequência deposicional de 3ª ordem e sua interpretação em termos de processos sedimentares e paleoambientes. Este estudo é baseado em dados de petrografia, análises de DRX (para a caracterização mineralógica das argilas) e Carbono Orgânico Total. A caracterização das microfácies levou em consideração a mineralogia, microtextura, microtrama, microestruturas (físicas e biogênicas), microfóssies, conteúdo orgânico particulado, cor e variação estratal em amostras de mão e lâminas delgadas. Como resultado, foi possível identificar 9 microfácies, 2 típicas do TST (M1 e M2) e 7 típicas do TSMA (M3 a M9). As microfácies do TST mostram em geral microtrama caótica (em parte pela reelaboração biogênica), e composição rica em silte e areia muito fina (exceto pela microfácies M2, rica em argila e microtrama orientada associada a uma superfície de inundação de 3ª ordem); já as típicas do TSMA, são ricas em silte e argila, apresentam uma microtrama relativamente orientada e melhor preservação de microestruturas físicas. A ação de ondas seguida da reelaboração biogênica em paleoambientes proximais é responsável pela melhor característica sedimentológica em termos de reservatório da microfácies M1, quando comparada a outras microfácies. Fluxos hiperpicnais distais associados a processos decantativos, atividade microbiana e baixo índice de atividade biogênica em paleoambientes de prodelta/costa-afora são responsáveis pelas características selantes das microfácies M3 a M9 (associadas ao TSMA).

Palavras-chave: microfácies; folhelhos; Formação Ponta Grossa; bacia do Paraná

Abstract

This study aims a microfacies characterization of outcropping shales in the Eastern border of Paraná Basin (34 samples) representing a transgressive system tract (lower Jaguariaíva Member, 20 samples) and a highstand system tract (upper São Domingos Member, 14 samples) of the Ponta Grossa Formation, inserted in a 3rd order depositional sequence cycle (megasequence), and their interpretation in terms of sedimentary processes and paleoenvironments. The study is based on petrographic microscopy, aided by XRD (clay mineralogy) and geochemical (TOC) data. The microfacies analysis took into consideration the mineralogy, microtexture, microfabric, microstructure (physical and biogenic), microfossils, particulate organic content, stratal variation, and colour in plugues and thin sections. Results point out 9 microfacies, 2 of them typical of the TST (M1 and M2) and 7 of the HST (M3 to M9). The microfacies from the TST show in general a chaotic microfabric (in part resulted from a higher bioturbation index), and a fine sand and silt rich composition (except one, associated to the 3rd order MFS); whereas the HST are silt and clay rich, and show a fairly oriented microfabric, and better preserved physical structures. Bottom wave reworking followed by biogenic activity (bioturbation) in proximal offshore paleoenvironments are responsible for the best reservoir sedimentological characteristics of the microfacies M1 (associated to the TST) among all of them. Distal hyperpycnal flows, decantation from bottom wave resuspension plumes, microbial mats development, and low biogenic activity in prodelta/offshore paleoenvironments are responsible for best sedimentological sealing characteristics of the microfacies M3-M9 (associated to the HST).

Keywords: microfacies; shale; Ponta Grossa Formation; Paraná Basin

1 Introdução

Rochas microclásticas mais conhecidas como “folhelhos” tem constituído um tema de fronteira dentro da Geologia Sedimentar. Estas rochas, que englobam uma ampla gama de litologias e nomenclaturas (Macquaker & Adams, 2003) e representam aproximadamente dois terços do volume de rochas sedimentares do registro geológico (Potter *et al.*, 2005), são usualmente conhecidas como geradoras e selantes, embora possam constituir-se em reservatórios de baixa permeabilidade (*shale gas*).

A bacia do Paraná, uma ampla bacia de interior cratônico, revelou no final do século XX a sua primeira acumulação comercial de gás, gerado nas rochas microclásticas da Formação Ponta Grossa (campo de gás de Barra Bonita), associado ao sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé(!) (Milani *et al.*, 1990). Todavia, a qualidade de tais rochas ainda é pouco conhecida do ponto-de-vista sedimentológico.

O objetivo deste estudo trata de uma abordagem sedimentológica inicial, do ponto de vista das microfácies, dos folhelhos que ocorrem na Formação Ponta Grossa, tomando-se como estudo de caso um afloramento do Membro Jaguariaíva e outro do Membro São Domingos, que representam,

respectivamente, um trato de sistema transgressivo e outro, de mar alto, de 3ª ordem e previamente estudados na literatura (Diniz, 1985; Bergamaschi, 1999), tendo por finalidade a discussão de processos, paleoambientes e o significado estratigráfico de microfácies de folhelhos; como subsídio à futura avaliação dessas rochas como selante e reservatório.

2 Contexto Geológico

2.1 Formação Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa, junto com a Formação Furnas, compõe o Grupo Paraná, que se insere na supersequência Paraná, uma das seis unidades aloestratigráficas que constituem o arcabouço estratigráfico da bacia do Paraná, uma ampla bacia de interior cratônico localizada no centro sul da América do Sul (Milani, 1997) (Figura 1). A Formação Ponta Grossa constitui-se de folhelhos, lamitos e arenitos muito finos a finos, de cores variadas. Suas rochas são frequentemente bioturbadas e contêm abundantes micro- e macrofósseis, dentre os quais os que compõem a Fauna Malvinocáfrica.

Sua idade é ainda controversa. Loboziak *et al.* (1995) advoga uma idade Praguiano-Fameniano, determinada através do estudo de esporos fósseis para a Formação Ponta Grossa; no entanto, estudos

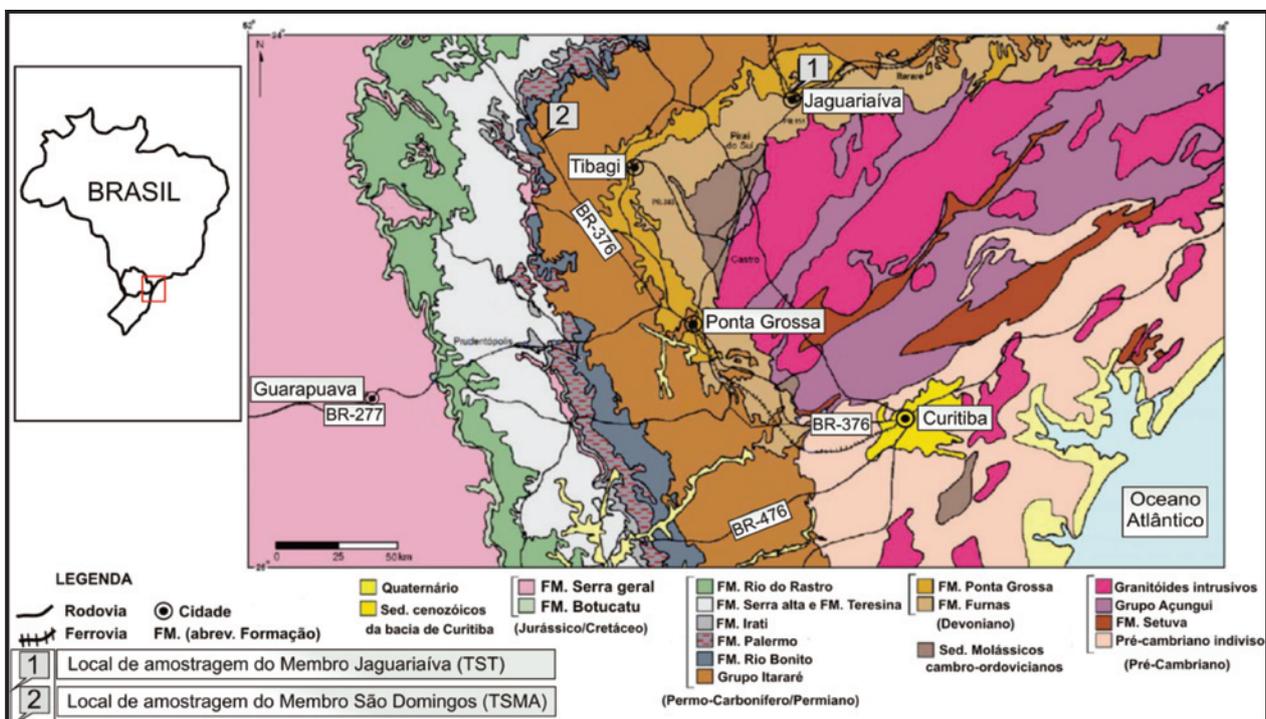


Figura 1 Mapa de localização geográfica da borda Leste da bacia do Paraná (PR) e dos pontos de amostragem. Ponto 1, afloramento de Membro Jaguariaíva (Trato Transgressivo) exposto no ramal ferroviário Jaguariaíva-Arapoti, entre o km 2,2 e km 6,0. Ponto 2, afloramento do Membro São Domingos (Trato de Mar Alto) exposto na rodovia BR-376, km 426 próximo as cidades de Tibagi e Ponta Grossa.

recentes de Grahn *et al.* (2010) tem posicionado a base da Formação Ponta Grossa entre o fim do Praguiano ou Emsiano inicial, e para a parte superior, Oliveira (1997) atribui uma idade Givetiano final a Frasniano, a partir de análises realizadas no afloramento exposto no km 426 da BR- 376.

A Formação Ponta Grossa foi descrita inicialmente no Estado do Paraná, onde é representada por três membros: Jaguariaíva (microclástico), na base; Tibagi (arenoso), mediano; e São Domingos (microclástico), superior e na parte central da bacia (região de maior subsidência) predomina apenas uma sucessão microclástica, sem intercalações de areia (Petri, 1948; Lange & Petri, 1967), onde a formação é considerada indivisível (Figura 2). No entanto, tais membros foram expandidos em correlação por toda a bacia por Assine (1996). A espessura da Formação Ponta Grossa é bastante variável, delineando duas sub-bacias ou baixos estruturais; enquanto que em superfície não ultrapassa os 300 m, em subsuperfície a maior espessura, 654 m, foi constatada no poço 2-AP-1-PR (Apucarana, PR) (Assine, 1996).

fossilífero de aspecto mosqueado; siltito cinza médio a escuro, laminado, fossilífero, por vezes contendo delgadas laminações de arenito muito fino e estratificação cruzada *hummocky* (HCS), folhelhos cinza escuro a negro, finamente laminado, fossilífero e folhelho argiloso negro, papiráceo rico em pirita; representando o afogamento dos sistemas transicionais a costeiros da porção superior da Formação Furnas.

Seu paleoambiente é marinho raso plataformal (antepraia inferior a costa-afora) e sua idade é Praguiano/Frasniano estabelecida a partir do conteúdo de quitinozoários coletados no afloramento do Membro Jaguariaíva (Grahn, 1992, 2000). Segundo Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001) o Membro Jaguariaíva equivale à suas sequências B e C de 3ª ordem, propostas a partir de estudos nos poços 2-RI-1-PR e 2-CS-1-PR.

2.3 Membro São Domingos

Lange e Petri (1967) não apontam uma seção-tipo para o Membro São Domingos, sendo considerada apenas uma área-tipo na região Oeste de Tibagi, onde ocorrem afloramentos de folhelhos intercalados a siltitos e arenitos. Nesta região há cerca de 90 metros de folhelhos predominantemente mais argilosos que os do Membro Jaguariaíva.

Segundo Bergamaschi (1999) este membro representa um trato de sistema de mar alto em um ciclo de 3ª ordem nos afloramentos referente a seção estratigráfica Tibagi-Telêmaco Borba e no afloramento do km 426 localizado na rodovia BR-376. Caracteriza-se litologicamente por uma sucessão de fácies de folhelhos, siltitos com laminação cruzada por onda, siltitos com interlaminações centimétricas de arenito e arenitos finos a médios com laminação cruzada por onda e estratificação cruzada *hummocky* formando ciclos de engrossamento granulométrico (Bergamaschi & Pereira, 2001).

Seu paleoambiente é marinho raso e sua idade é Givetiano final a Frasniano (Oliveira, 1997). Segundo Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001) o Membro São Domingos equivale à suas sequências D e E de 3ª ordem, propostas a partir de estudos nos poços 2-RI-1-PR e 2-CS-1-PR.

CRONOESTRATIGRAFIA		LITOESTRATIGRAFIA		
SISTEMA	SÉRIE / ANDAR			
DEVONIANO	Frasniano	Mb. São Domingos	FORMAÇÃO PONTA GROSSA	GRUPO PARANÁ
	Givetiano	Mb. Tibagi		
	Eifeliano	Mb. Jaguariaíva		
	Emsiano	FORMAÇÃO FURNAS		
Praguiano				
Lochoviano				
SILURIANO	Pridoli			
	Ludlow			
	Wenlock			
	Llandovery			

Figura 2 Diagrama estratigráfico do Grupo Paraná, bacia do Paraná (simplificado de Milani *et al.*, 2007).

2.2 Membro Jaguariaíva

A seção-tipo da unidade é o afloramento exposto na rodovia Jaguariaíva-Arapoti, do km 2,2 ao 6,6 nas proximidades da cidade de Jaguariaíva (Lange & Petri, 1967), próximo de onde também encontra-se o local dos afloramentos estudados (Figura 1 e 3).

Segundo Bergamaschi (1999), este membro representa um trato de sistema transgressivo de 3ª ordem, caracterizado litologicamente na seção tipo por fácies de siltito cinza claro a cinza médio, entremeado com arenito muito fino amarelado,

3 Material

O material de estudo conta de um total de Trinta e cinco amostras de rochas microclásticas coletadas através de plugagem (utilizando uma plugadeira modelo BOSCH GDB 1600 WE, com diâmetro aproximado de 1” polegada), na borda Leste da bacia do Paraná. Destas, Vinte amostras foram coletadas nos afloramentos expostos nos cortes do ramal ferroviário Jaguariaíva-Arapoti, entre o km 2,2 e km 6,0, nos arredores da cidade de Jaguariaíva, correspondendo a parte inferior (Trato Transgressivo) da sequência B de Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001). A posição

da coleta no afloramento pode ser observada no perfil da Figura 3.

Quinze amostras foram coletadas no afloramento do Membro São Domingos, no entanto somente 14 foram analisadas (A amostra de número 6 constitui-se essencialmente macroclástica). Este afloramento está localizado na rodovia BR-376, km 426 no trecho entre as cidades de Ponta Grossa e Apucarana, correspondendo a parte superior (Trato de Mar Alto) da sequência E de Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001). A posição da coleta no afloramento pode ser observada no perfil da Figura 4.

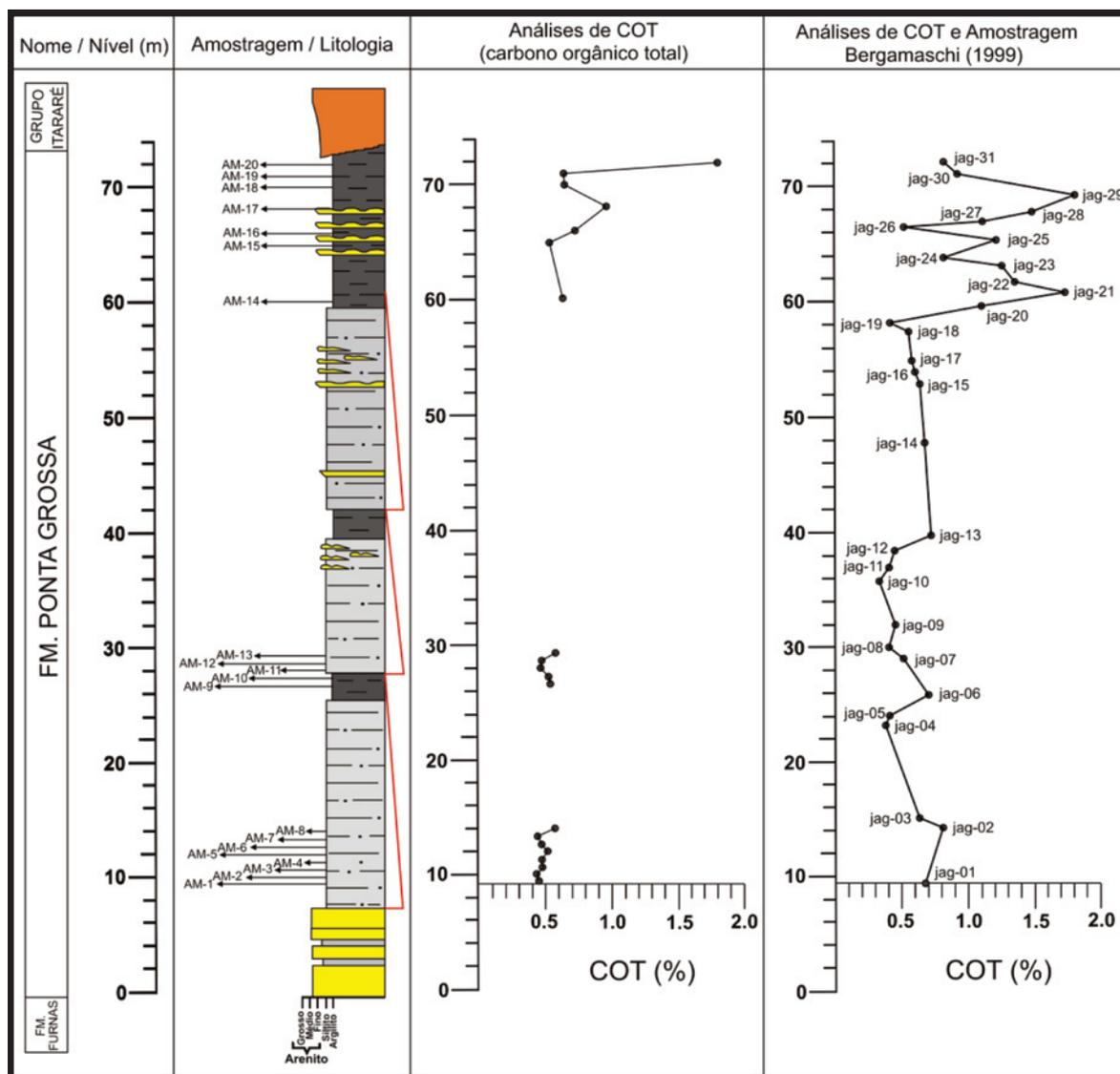


Figura 3 Integração do perfil litológico da seção estudada do Membro Jaguariaíva com análises de COT obtidas neste estudo e por Bergamaschi (1999) para o mesmo afloramento. A posição das setas na coluna “amostragem/litologia” indica o ponto de coleta no perfil litológico.

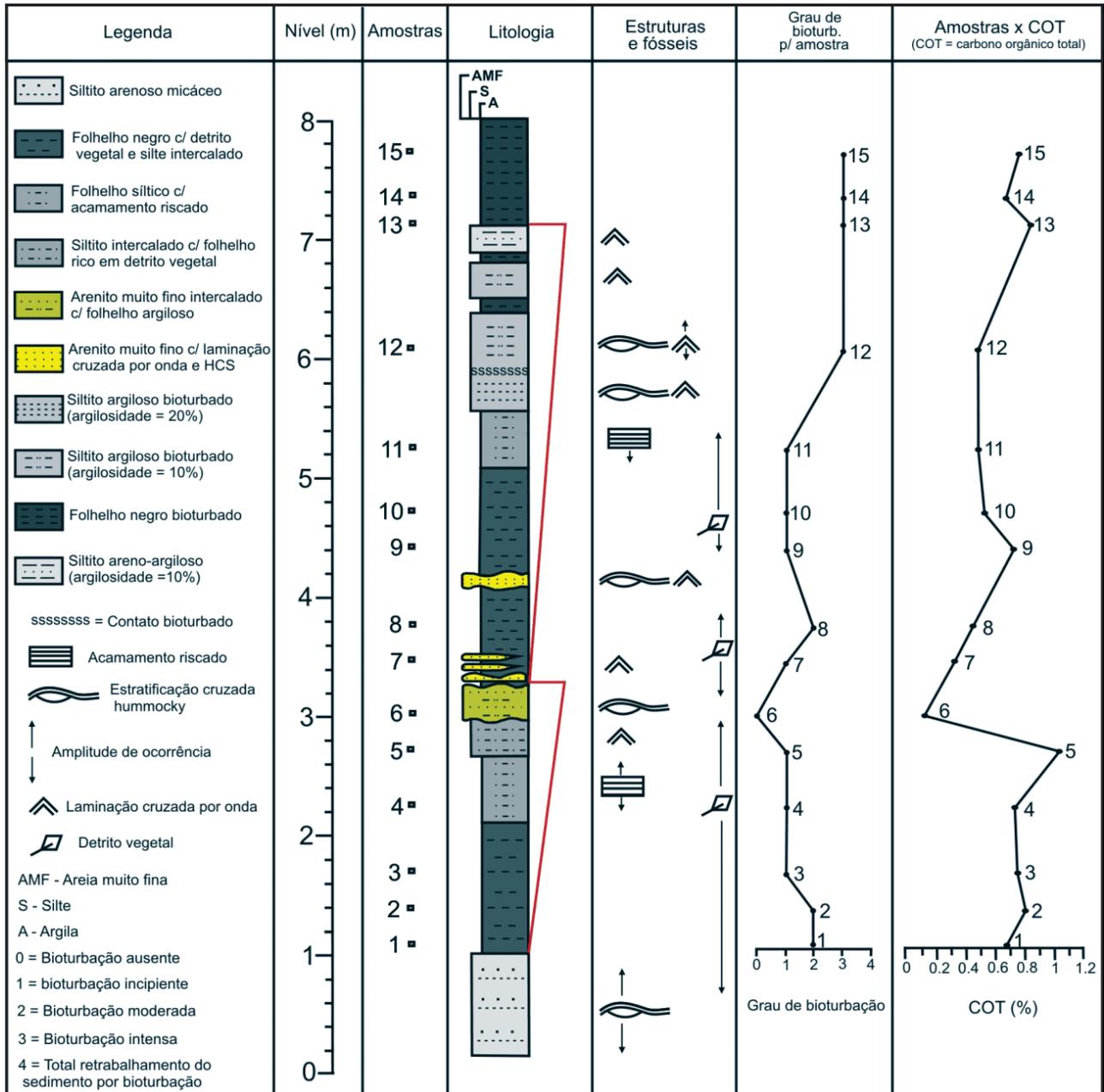


Figura 4 Integração do perfil litológico representando a seção estudada do Membro São Domingos, grau de bioturbação e análise de COT. A posição dos números na coluna “Amostras” indica o ponto de coleta no perfil litológico (A amostra 6 não foi analisada por constituir-se essencialmente macroclástica). A intensidade da bioturbação é baseada no índice de icnotrama simplificado de Droser & Bottjer (1989).

4 Método

A caracterização das microfácies foi baseada na descrição petrográfica de lâminas delgadas em microscópio petrográfico (ZEISS Imager A2m) em luz transmitida/refletida/fluorescente, seguindo o conceito de microfácies proposto por Carelli

(2010). Observou-se principalmente a microtextura e a microtrama das rochas, mais particularmente, a proporção argila:silte:areia, a variação estratal, microestruturas e a mineralogia. Em seguida, efetuou-se contagem de 300 pontos em cada lâmina, para determinação textural (granulometria) e composicional.

Os argilominerais foram determinados a partir de análises de DRX, obtidas por (Carelli, 2010). Para a classificação litológica das amostras e microfácies (textural), utilizou-se diagrama ternário de Picard (1971) dentre os demais difundidos na literatura (Dunbar & Rogers, 1957; Folk, 1974; Shepard, 1973) uma vez que detêm-se no discernimento textural da proporção areia:silte:argila (Figuras 5, 6 e 7).

Análises geoquímicas foram realizadas para determinar o percentual de Carbono Orgânico Total (COT) das amostras, para se comparar com os dados obtidos por Bergamaschi (1999) para as mesmas seções.

Uma vez que o termo “folhelho” refere-se apenas a uma rocha fissil, utilizaremos neste trabalho apenas a terminologia “microclástica” para referir-se aos folhelhos e rochas conatas de granulometria fina, menores que 0,062 mm dispensando outros termos correlatos, exceto quando citado por outros autores. As percentagens em parênteses apresentadas na diagnose das microfácies representam a proporção de areia muito fina:silte:argila.

5 Resultados

5.1 Fácies

Diversos autores que estudaram a Formação Ponta Grossa estabeleceram fácies ou associações de fácies sedimentares, de forma a operacionalizar seu estudo. Dentre os mais representativos, destacamos os de Pereira (1992), Schubert (1995), Assine (1996) e Bergamaschi (1999) e suas fácies ou associações de fácies encontram-se sumarizadas na Tabela 1.

Pereira (1992) cuja área de estudo corresponde à borda nordeste da bacia, mais precisamente a sub-bacia de Alto Garças (sudoeste de Goiás), descreve três associações de fácies para a Formação Ponta Grossa. Fácies estas, que fazem referência aos membros definidos por Andrade & Camarço (1980) e levam o autor a acreditar que nesta região a Formação Ponta Grossa inicia-se pelo membro Tibagi.

Segundo Schubert (1995), a Formação Ponta Grossa na região de Chapada dos Guimarães (borda nordeste da bacia), no Estado de Mato Grosso, constitui-se pela associação de pelo menos 5 fácies e 1 icnofácies. Estas fácies encontram-se em três sucessões de ciclos de engrossamento granulométrico, totalizando pouco mais de 70 metros de espessura na sucessão vertical.

A partir da descrição litológica de Assine (1996) para a seção colunar da Formação Ponta Grossa no bairro de Santa Luzia, em Ponta Grossa-PR, que enfatiza o contato entre os membros Tibagi e São Domingos, é possível reconhecer 6 fácies sedimentares, que são descritas na Tabela 1. Segundo o autor, a existência de siltitos bioturbados e palinologicamente férteis, depositados acima do contato com a Formação Furnas, permitiu estabelecer uma idade Emsiano superior para a base da Formação Ponta Grossa, que é compatível com o topo do Membro Jaguariaíva no Estado do Paraná. A partir desta correlação conclui-se que a Formação Ponta Grossa inicia-se com o Membro Tibagi no flanco norte da Bacia do Paraná.

Bergamaschi (1999) foi quem melhor detalhou a faciologia das rochas da Formação Ponta Grossa na borda leste da bacia do Paraná. Nesta região o autor estabelece 9 fácies sedimentares, fácies estas, que encontram-se sumarizadas em Borghi (2002) e neste trabalho (Tabela 1).

5.2 Microfácies

5.2.1 Classificação Composicional

Os resultados revelam que quartzo (34%), micas (19%), argilas (28%) e matéria orgânica (12%) são os constituintes predominantes das amostras (Tabelas 2 e 3). Entre as micas, as muscovitas são mais frequentes, seguidas das biotitas. Minerais opacos ocorrem disseminados em grande parte das amostras, exceto por aquelas referentes ao Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) nas quais ocorrem frequentemente concentrados em bioturbações.

Análises de DRX obtidas por Carelli (2010) mostram que o interestratificado de ilita-montmorilonita, ilita, caulinita e clorita são os argilominerais predominantes na Formação Ponta Grossa corroborando as análises de Ramos & Formoso (1975). Ao analisar cada trato de sistema separadamente, é possível notar que ambos os tratos de sistema apresentam um conjunto característico de argilominerais. O Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) apresenta tipicamente caulinita e o interestratificado de ilita-montmorilonita, além de ilita e clorita magnésiana. Já o Trato de Mar Alto (Membro São Domingos) é caracterizado pela ausência caulinita e o interestratificado de ilita-montmorilonita, sendo constituído essencialmente por ilita, clorita-serpentinita e filossilicatos hidratados de alumínio e sódio.

Fácies e associações de fácies propostas para a Formação Ponta Grossa			
Autor	Código	Características	Interpretação
Pereira, 1992	Mi*	Arenitos finos a muito finos maciços a debilmente laminados com superfície bioturbada ou não. Ocorre laminação cruzada por onda e HCS, e por vezes, intercalações de siltito /argilito escuros e bioturbados.	Produto de correntes unidirecionais sob condições de regime de fluxo superior e retrabalhada por ação de ondas. Indicam uma deposição em condições de plataforma progressivamente mais profunda.
	Mm*	Arenitos avermelhados, de granulação média a grossa com intercalações de arenito fino, argiloso e bastante micáceo. Apresenta estratificações cruzadas, e halos de <i>liesegang</i> .	Depósitos de plataforma rasa sob influência de ondas de tempestade.
	Ms*	Sucessão de arenito fino a muito fino, síltico, com HCS e folhelhos escuros num ciclo de afinamento granulométrico.	Deposição por decantação em ambiente redutor. Indicam uma sequência transgressiva.
Schubert, 1995	Pel	Lutitos (argilitos e subordinadamente siltitos), físeis (folhelhos) ou não, de cores cinzas.	Decantação em ambiente redutor.
	Het	Lutitos e arenitos finos a muito finos em acamamento lenticular, ondulado e flaser (acamamento heterolítico).	Correntes e fluxos oscilatórios (bidirecionais) em regime de fluxo inferior; alternando com decantação.
	Mos	lutitos arenosos e arenitos pelíticos mosqueados.	Ação de organismos escavadores (bioturbação intensa).
	Alo	Arenito fino com laminação cruzada por onda.	Correntes em regime de fluxo inferior e fluxos oscilatórios, ação de ondas gravitacionais livres (normais).
	Aot	Arenitos com estratificação ondulada truncante (HCS / SCS).	Correntes e fluxos oscilatórios combinados produzidos por tempestades em regime de fluxo inferior transicional.
	Crz	Cruziana.	Atividade de organismos com comportamento de deslocamento, repouso ou alimentação.
Assine, 1996	Sm	Arenito muito fino, bioturbado com topo ondulado.	Produto de fluxos trativos e oscilatórios, além de remobilização do substrato por organismos.
	Sh	Arenito muito fino com laminação plano -paralela pouco nítida.	Arenito muito fino com laminação plano - paralela pouco nítida.
	Aas*/Fld	Arenito argiloso, rico em seixos discóides no topo.	Joeiramento por ação de ondas, associado à superfície transgressiva.
	Sr	Arenito muito fino, síltico, com laminação ondulada e sutis truncamentos.	Deposição em sistemas marinhos plataformais sob ação de ondas.
	H	Siltito com intercalações de arenito muito fino (amamamento heterolítico).	Ação de fluxos trativos alternados a processos decantativos em plataformas rasas.
	Fl*	Folhelho cinza escuro laminado, rico em fragmentos de <i>Spongiophyton</i> .	Processos decantativos em ambiente redutor.
Bergamaschi, 1999	Filh1*	Folhelho argiloso preto, papiráceo, piritoso.	Ambiente redutor de costa-afora.
	Filh2*	Folhelho cinza escuro a preto, laminado, fossilífero.	Ambiente redutor de costa-afora.
	Silt1*	Siltito cinza claro a médio/ arenito muito fino; fossilífero, bioturbado.	Ambiente de antepraia inferior a costa-afora.
	Silt2*	Siltito cinza médio a escuro, laminado / arenito muito fino com laminação cruzada ondulada e HCS; fossilífero.	Ambiente de antepraia inferior a costa -afora, sob ação de ondas.
	Arn1*	Arenito muito fino / siltito; acamamento ondulado e <i>linsen</i> .	Ambiente de antepraia inferior a costa-afora, sob ação de ondas.
	Arn2*	Arenito muito fino com micro- <i>hummocky</i> .	Ambiente de antepraia inferior a costa-afora, sob ação de ondas.
	Arn3*	Arenito muito fino, micáceo, com HCS mosqueado.	Ambiente de antepraia inferior a costa-afora, dominada por ondas normais e de tempestade.
	Arn4*	Arenito muito fino a fino, com HCS / SCS.	Ambiente de antepraia progradante sob ação de ondas.
	Arn5*	Arenito médio, com estratificação cruzada de pequeno porte / laminação cruzada cavalgante; geometria sigmoidal, fossilífero (restos vegetais).	Ambientes transicional e de antepraia, progradantes.

* Designado neste artigo.

Tabela 1 Esquema de genérico de fácies da Formação Ponta Grossa, sintetizado a partir dos principais autores que a estudaram (Pereira, 1992; Schubert, 1995; Assine, 1996 e Bergamaschi, 1999).

Análise Composicional (TST - Membro Jaguariaíva)								
AMOSTRAS	Q	F	M	B	A	O	Z	M.O.
Am - 1	44	2	13	9	22	5		5
Am - 2	43	traços	18	8	19	3	traços	8
Am - 3	49	-	16	7	19	2	-	7
Am - 4	44	traços	14	8	24	3	traços	6
Am - 5	42	traços	15	8	22	4	traços	9
Am - 6	43	traços	12	5	21	3	-	15
Am - 7	47	traços	13	4	25	2	traços	8
Am - 8	40	-	22	3	23	4	traços	8
Am - 9	39	-	16	7	28	5	traços	5
Am - 10	46	-	14	8	26	3	-	3
Am - 11	43	-	16	5	27	5	-	4
Am - 12	44	-	15	12	19	4	-	6
Am - 13	40	-	14	9	24	5	-	8
Am - 14	46	-	13	9	23	3	1	5
Am - 15	36	-	7	11	29	9	-	8
Am - 16	38	-	7	10	31	5	-	9
Am - 17	51	-	9	6	19	traços	traços	14
Am - 18	33	-	7	5	38	6	-	11
Am - 19	26	-	13	7	32	3	traços	18
Am - 20	6	-	8	4	47	8	traços	26

Tabela 2 Análise composicional das amostras referentes ao Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) expressos em percentagem (%). (Q = quartzo, F = feldspato, M = muscovita, B = biotita, A = argila, O = opacos, Z = zircão, L = limonita, H = hematita e M. O. = matéria orgânica).

Análise Composicional (TSMA - Membro São Domingos)										
AMOSTRAS	Q	F	M	B	A	O	Z	L	H	M.O.
Am - 1	22	traços	20	4	33	3	-	1	traços	16
Am - 2	19	1	19	2	36	1	-	-	traços	21
Am - 3	27	traços	18	3	35	traços	-	-	-	16
Am - 4	30	2	13	4	33	traços	-	-	-	17
Am - 5	22	1	15	2	28	traços	-	-	-	31
Am - 7	37	-	19	4	25	traços	-	-	-	14
Am - 8	33	1	17	2	32	1	-	1	-	13
Am - 9	21	-	18	traços	38	2	traços	-	-	20
Am - 10	32	-	27	3	20	2	-	-	-	16
Am - 11	24	-	23		35	1	-	1	-	16
Am - 12	35	traços	23	2	27	2	traços	-	-	11
Am - 13	39	traços	18	1	27	1	1	-	-	13
Am - 14	33	traços	22	2	25	traços	traços	-	-	17
Am - 15	30	-	21	2	28	2	traços	-	-	16

Tabela 3 Análise composicional das amostras do Trato de Mar Alto (Membro São Domingos) expressos em percentagem (%). A amostra Am-6 não foi analisada por constituir-se essencialmente arenosa. (Q = quartzo, F = feldspato, M = muscovita, B = biotita, A = argila, O = opacos, Z = zircão, L = limonita, H = hematita e M. O. = matéria orgânica).

5.2.2 Classificação Textural

Em termos granulométricos é possível notar a predominância de sedimentos tamanho silte em grande parte das amostras, excluindo aquelas

associadas a superfícies de inundação, que mostram maiores percentagens de argila e matéria orgânica. A classificação litológica das amostras indica que ambos os membros são essencialmente silticos-argilosos (Figuras 5 e 6; Tabelas 4 e 5).

Análise Granulométrica (TST - Membro Jaguariaíva)					
AMOSTRAS	ARGILA	SILTE	AREIA MUITO FINA	AREIA FINA	AREIA MÉDIA
Am - 1	22	55	19	3	1
Am - 2	20	62	17	1	-
Am - 3	19	64	15	2	-
Am - 4	24	59	14	3	-
Am - 5	22	68	9	-	traços
Am - 6	22	65	12	traços	-
Am - 7	25	64	9	2	-
Am - 8	25	61	13	traços	-
Am - 9	30	49	15	5	1
Am - 10	28	58	13	1	-
Am - 11	29	52	17	2	-
Am - 12	21	59	14	5	traços
Am - 13	26	57	13	4	-
Am - 14	25	64	10	traços	-
Am - 15	35	49	14	2	-
Am - 16	33	50	16	1	-
Am - 17	21	55	19	4	traços
Am - 18	40	38	18	3	traços
Am - 19	36	57	6	-	-
Am - 20	57	40	2	traços	-

Tabela 4 Análise granulométrica das amostras do Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) expressos em percentagem (%). (Veja a localização das amostras no perfil da Figura 3).

Análise Granulométrica (TSMA - Membro São Domingos)					
AMOSTRAS	ARGILA	SILTE	AREIA MUITO FINA	AREIA FINA	AREIA MÉDIA
Am - 1	38	58	4	-	-
Am - 2	39	57	3	1	-
Am - 3	37	61	traços	1	-
Am - 4	34	54	8	3	1
Am - 5	30	53	13	2	2
Am - 7	26	64	7	3	-
Am - 8	32	60	8	-	-
Am - 9	39	56	4	traços	-
Am - 10	20	74	5	1	-
Am - 11	37	56	6	traços	traços
Am - 12	28	59	12	traços	-
Am - 13	29	65	5	traços	traços
Am - 14	27	65	7	traços	-
Am - 15	28	65	6	traços	traços

Tabela 5 Análise granulométrica das amostras do Trato de Mar Alto (Membro São Domingos) expressos em percentagem (%). A amostra Am- 6 não foi analisada por constituir-se essencialmente arenosa (Veja a localização das amostras no perfil da Figura 4).

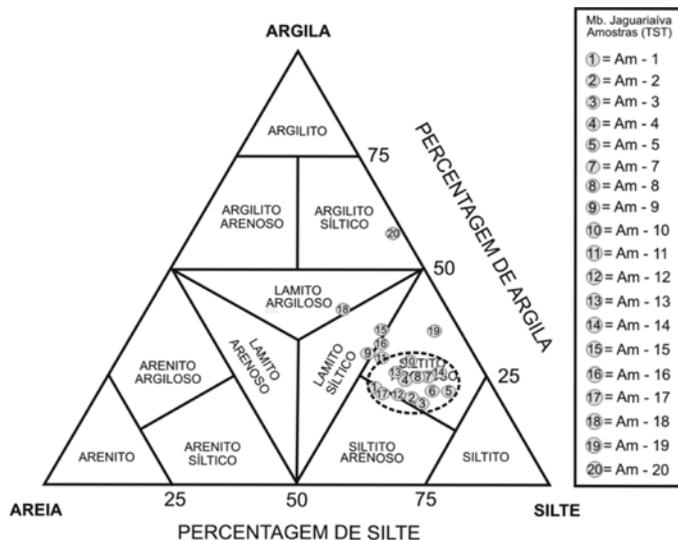


Figura 5 Diagrama de classificação litológica referente às amostras do Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva), baseado em Picard (1971). Note maior concentração das amostras no campo siltito argiloso. Este deslocamento é resultante da maior proporção de silte e areia (muito fina, fina ou grossa) na composição granulométrica das amostras.

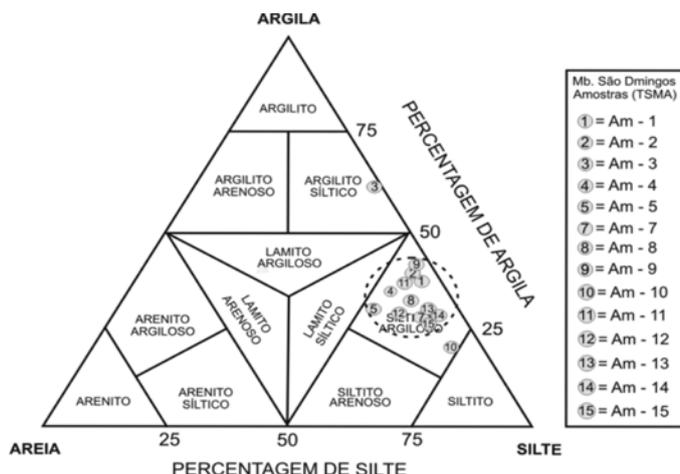


Figura 6 Diagrama de classificação litológica referente às amostras do Trato de Mar Alto (Membro São Domingos), baseado em Picard (1971). Note o deslocamento para a parte superior do gráfico, provavelmente influenciado pela menor proporção de sedimentos tamanho silte e areia.

5.3 Caracterização das Microfácies

O termo microfácies aqui empregado é definido como uma “massa de sedimento ou rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais por atributos como mineralogia, microtextura, microtrama, microestruturas físicas e/ou biogênicas, microfósseis e conteúdo orgânico particulado observado através de técnicas de microscopia, somados a atributos como cor, fissilidade e variação estratal observados em escala megascópica”.

A análise dos dados permitiram a identificação 9 microfácies (Tabela 6), dentre as quais, 2 típicas do Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) e 7 típicas do Trato de Mar Alto (Membro São Domingos). Litologicamente as microfácies foram classificadas como argilitos silticos, siltitos areno-argilosos e siltitos argilosos (Figura 7).



Figura 7 Diagrama de classificação litológica das microfácies, baseado em Picard (1971). Uma vez definido as microfácies, realizou-se uma média do tamanho das partículas das amostras que as compõe. Note maior concentração das amostras no campo siltito argiloso.

Microfácies	Diagnose	Interpretação
M - 1	Siltito areno-argiloso (22:56:22) com bioturbações piritizadas. Ocorre os icnogêneros <i>Planolites</i> isp.; <i>Helminthopsis</i> isp.; <i>Zoophycos</i> isp.; <i>Terebellina</i> isp.; <i>Asterosoma</i> isp e <i>Teichichnus</i> isp. (característicos da icnofácies Cruziana distal).	Resultado da intensa reorganização biogênica (crustáceos, poliquetas e outros) em ambiente dióxido/oxício.
M - 2	Argilito siltico (3:40:57) finamente laminado. Bioturbação ausente.	Resultado da alternância de processos de decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/reductor.
M - 3	Siltito argiloso (4:58:38) finamente laminado com microgradação normal, micromarca de calha, marca de corrugação (algal mat) e microondulações assimétricas subordinadamente. Ocorre os icnogêneros <i>Helminthopsis</i> isp.; <i>Gyrolithes</i> isp. e <i>Asterosoma</i> isp. (característicos da icnofácies Cruziana distal).	Resultado da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/reductor. A intermitência do fluxo favorece o desenvolvimento de esteiras microbianas.
M - 4	Siltito argiloso (1:61:38) finamente laminado com micromarca de carga, micromarca de corrugação e microgradação normal. Ocorre somente o icnogênero <i>Helminthopsis</i> isp. (característico da icnofácies Cruziana distal).	Resultado da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente dióxido/reductor indicando altas taxas de sedimentação.
M - 5	Siltito argiloso (14:54:32) finamente laminado com microgradação inversa e normal, rico em detritos vegetais. Ocorre somente o icnogênero <i>helminthopsis</i> isp. (característico da icnofácies Cruziana distal).	Resultado de fluxos hiperpicnais de baixa densidade em ambiente anóxico/reductor.
M - 6	Siltito argiloso (10:64:26) finamente laminado com microondulações assimétricas. Apresenta tipicamente laminações truncadas e nódulos milimétricos de marcssita. Ocorre somente o icnogênero <i>helminthopsis</i> isp. (característico da icnofácies Cruziana distal).	Resultado da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade associados a eventos de tempestade em ambiente anóxico/reductor.
M - 7	Siltito argiloso (8:60:32) finamente laminado com microgradação, marcas de corrugação e localmente bioturbado. Ocorre os icnogêneros <i>Planolites</i> isp.; <i>Helminthopsis</i> isp. e <i>Zoophycos</i> isp.; (característicos da icnofácies Cruziana distal).	Resultado da alternância de processos decantativos e fluxos hiperpicnais de baixa densidade em ambiente dióxido/anóxico, seguido de reorganização biogênica.

Tabela 6 Quadro síntese das microfácies propostas para a Formação Ponta Grossa.

MICROFÁCIES M1

Diagnose – Siltito areno-argiloso de cor cinza a cinza escuro (22:56:22) com bioturbações piritizadas. Ocorre os icnogêneros *Planolites* isp.; *Helminthopsis* isp.; *Zoophycos* isp.; *Terebellina* isp.; *Asterosoma* isp e *Teicichichnus* isp. (característicos da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 8 e 9).

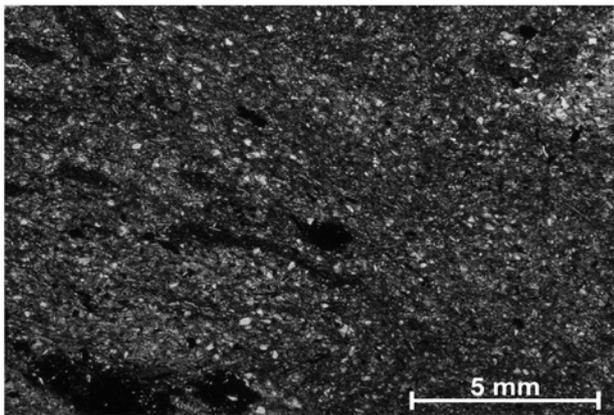


Figura 8 Fotomicrografia representando a microfácies M1 (siltito areno-argiloso). Ocorre no perfil da Figura 3 referente ao trato de sistema transgressivo. Esta microfácies apresenta maior razão silte e areia muito fina em relação à fração argila, padrão caótico de orientação (microtrama caótica) e bioturbações piritizadas (nicol paralelo e luz transmitida).

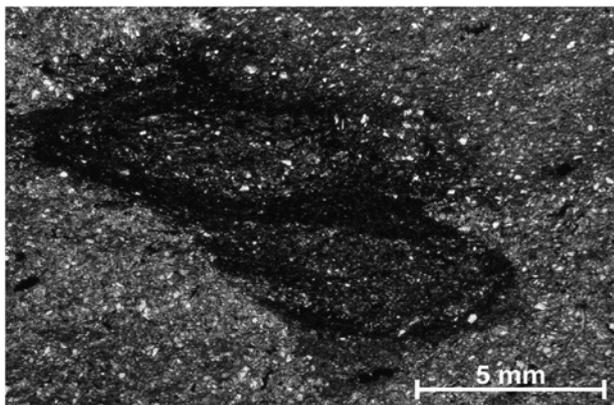


Figura 9 Fotomicrografia representando a microfácies M1 (siltito areno-argiloso). Ocorre no perfil da figura 3 referente ao trato de sistema transgressivo. Note detalhe da bioturbação piritizada ao centro (nicol paralelo e luz transmitida).

Interpretação – Resulta da intensa reorganização biogênica (crustáceos, poliquetas e outros) em ambiente disóxico/óxico.

Descrição – Trata-se de sedimentos argilosos e silticos de cor cinza, cujas microestruturas físicas

e a microtrama original foram obliteradas pela ação de organismos bentônicos, gerando assim, uma microtrama caótica. As microestruturas biogênicas ocorrem na maioria dos casos piritizadas, onde é possível observar a ocorrência de piritas framboidais.

Discussão – A ocorrência desta microfácies abrange as amostras 1 a 19 no perfil da Figura 3. A presença elevada de areia muito fina e silte nesta microfácies é oriunda da remobilização do substrato pela ação de ondas durante a fase transgressiva (que muitas vezes são amplificadas durante eventos de tempestades) que transporta material de maior granulometria para regiões distais. Este fenômeno também proporciona uma maior oxigenação do fundo, permitindo assim, a colonização do substrato por organismos bentônicos (Potter *et al.*, 2005), que acabam por homogeneizar o substrato, gerando uma microtrama caótica. Um exame mais apurado das bioturbações (*Planolites* isp.) mostram tubos com paredes piritizadas. Este aspecto revela que as mesmas foram geradas num substrato *firmground* com certo nível de oxigenação e compactação no qual o organismo produz um muco que facilita sua locomoção no substrato. Segundo Schieber (2002) este muco segregado pelos organismos bentônicos é importante para a produção inicial de pirita diagenética induzida por bactérias. Esta microfácies correlaciona-se com a fácies Slt1 de Bergamaschi (1999) descrita no Tabela 1.

MICROFÁCIES M2

Diagnose – Argilito siltico de cor preta (3:40:57) finamente laminado. Bioturbação ausente (Figuras 10 e 11).

Interpretação – Resulta da alternância de processos de decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/reduzidor.

Descrição – Trata-se de sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica, pirita e microtrama orientada, intercalados a lâminas submilimétricas (0,05 mm) de siltito fino.

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange a amostra 20 no perfil da Figura 3. É a microfácies mais argilosa. Sua microtrama orientada é atribuída a processos decantativos e as laminações de siltito podem estar associadas a eventos de tempestade ou turbiditos de baixa densidade que

transportariam sedimentos de maior granulometria para regiões distais (Potter *et al.*, 2005). Schieber (2003) advoga que estas laminações também podem ser associadas a eventos erosivos, sugerindo assim, a ação de correntes de fundo atuando no substrato e gerando possivelmente uma pequena perda do registro estratigráfico. Esta microfácies apresenta-se extremamente rica em argila e matéria orgânica sendo associada a uma superfície de inundação máxima (Bergamaschi, 1999; perfil da Figura 3).

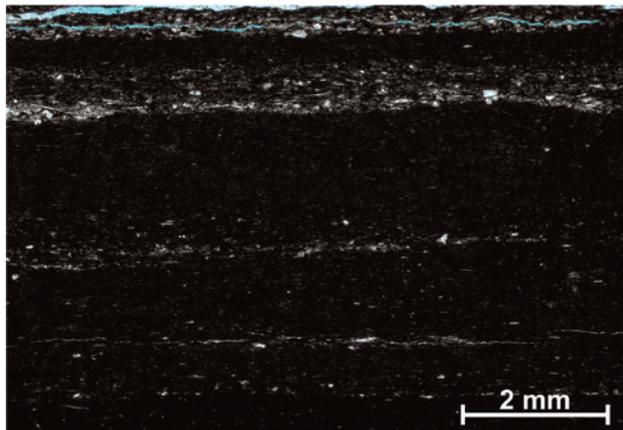


Figura 10 Fotomicrografia representando a microfácies M2 (argilito síltico). Ocorre no perfil da figura 3 referente ao trato de sistema transgressivo. Esta microfácies apresenta maior razão de sedimentos na fração argila em relação à fração silte e areia muito fina, laminações compostas por quartzo e micas na fração silte e microtrama orientada (nicol cruzado e luz transmitida).

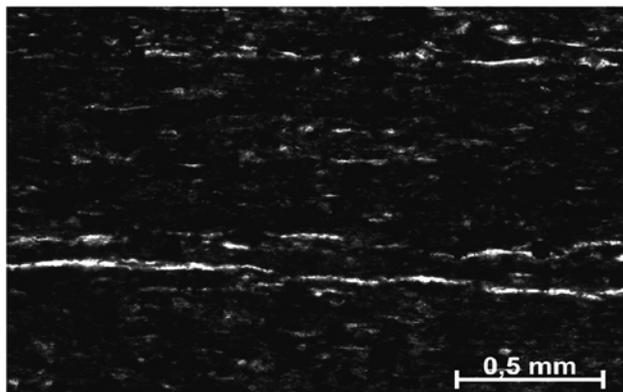


Figura 11 Fotomicrografia representando a microfácies M2 (argilito síltico). Ocorre no perfil da Figura 3 referente ao trato de sistema transgressivo representando uma importante superfície de inundação. Note a orientação das micas paralelamente à superfície deposicional, gerando uma microtrama orientada (nicol paralelo e luz transmitida).

MICROFÁCIES M3

Diagnose – Siltito argiloso (4:58:38) finamente laminado com microgradação normal, micromarca de calha, marca de corrugação (algal mat) e

microondulações assimétricas subordinadamente. Ocorre os icnogêneros *Helminthopsis* isp.; *Gyrolithes* isp. e *Asterosoma* isp. (característicos da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 12 e 13).

Interpretação – Resulta da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/redutor. A intermitência do fluxo favorece o desenvolvimento de esteiras microbianas.

Descrição – Trata-se de sedimento síltico-argiloso intercalado por lâminas milimétricas (0,5 mm) e submilimétricas (0,08 mm) de siltito, que apresentam micromarcas de calha na base. Micromarcas de corrugação associadas à atividade microbiana ocorre na base de algumas camadas de siltito. As laminações de siltito mostram microestruturas gradacionais, e microondulações assimétricas (0,8 mm) aparecem subordinadamente com nódulos milimétricos de marcassita. Esta alternância de processos decantativos e trativos acaba por gerar uma microtrama relativamente orientada.

Discussão – A ocorrência desta microfácies abrange as amostras 1 e 2 no perfil da Figura 4. Este conjunto de microestruturas revela um substrato *firmground* sujeito à ação de fluxos trativos esporádicos caracterizados por lâminas de silte com microgradação normal, minerais e fitoclastos relativamente orientados em relação ao fluxo. Estas características sugerem uma região mais proximal (prodelta). A intermitência dos fluxos favorece o desenvolvimento de esteiras microbianas ocorrendo no topo das camadas argilosas. Este tipo de microestrutura pode ser confundido com micromarcas de carga, no entanto sua diferenciação deve-se ao fato de poder incorporar micas e pelotas de argila, armadilhadas pela trama microbiana, que também resiste ao cargueamento provocado pela camada de siltito, produzindo depressões relativamente rasas em comparação com microestruturas de cargueamento (Schieber, 2007 a; Kumar & Pandey, 2007).

MICROFÁCIES – M4

Diagnose – Siltito argiloso (1:61:38) finamente laminado com micromarca de carga, micromarca de corrugação e microgradação normal. Ocorre somente o icnogênero *Helminthopsis* isp. (característico da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 14 e 15).

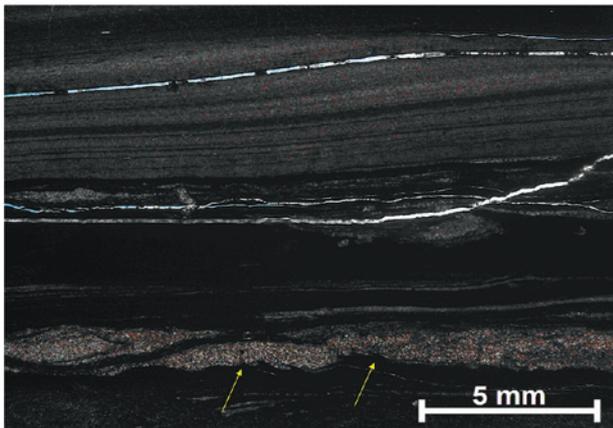


Figura 12 Fotomicrografia representando a microfácies M3 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. É possível observar uma microondulação assimétrica na parte superior e micromarcas de corrugação na base da camada de siltito que ocorre na parte inferior indicado pelas setas amarelas (nicol paralelo).

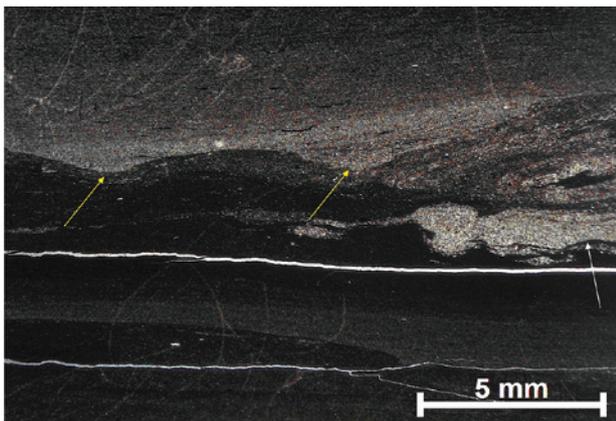


Figura 13 Fotomicrografia representando a microfácies M3 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. As setas amarelas indicam micromarcas de calha que ocorrem na parte superior. Note também a micromarca de corrugação que ocorre na base da camada de siltito atribuída à atividade microbiana, indicada pela seta branca (nicol paralelo).

Interpretação - Resulta da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/redutor indicando altas taxas de sedimentação.

Descrição - Trata-se de sedimento síltico argiloso intercalado com laminações submilimétricas de siltito (0,05 mm – 0,1 mm) que apresentam base erosiva e micromarcas milimétricas de carga e chama. É possível observar filamentos atribuídos ao desenvolvimento de esteira microbiana cortando a camada de siltito (Schieber, 2007 a).

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange a amostra 3 no perfil da Figura 4. A presença de microestruturas de carga e chama, indicam que as camadas argilosas constituíam um substrato lamoso (*soupyground*) e não compactado de baixa densidade, devido ao conteúdo abundante de água (Schieber, 2007 a). Este tipo de microestrutura geralmente é preservado onde ocorre rápida deposição de lamias, interrompida pela deposição ocasional de sedimentos de maior granulometria, além de apresentar incrível semelhança com micromarcas de corrugação produzidas por esteiras microbianas (Schieber, 1991).

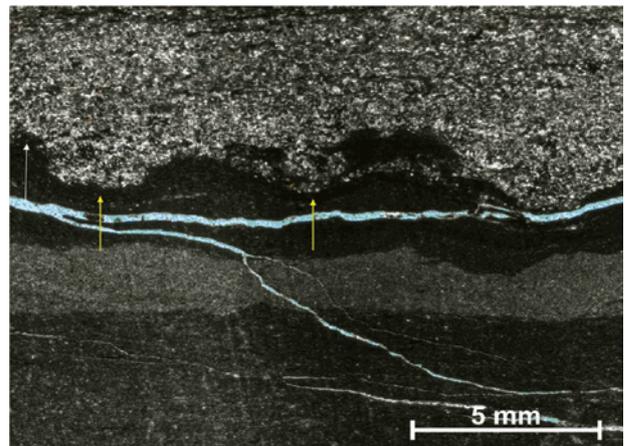


Figura 14 Fotomicrografia representando a microfácies M4 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note micromarcas de carga, indicadas pelas setas amarelas e micromarca de chama, indicada pela seta branca; ambas ocorrendo na parte inferior da base da camada de siltito, indicado (nicol paralelo e luz transmitida).

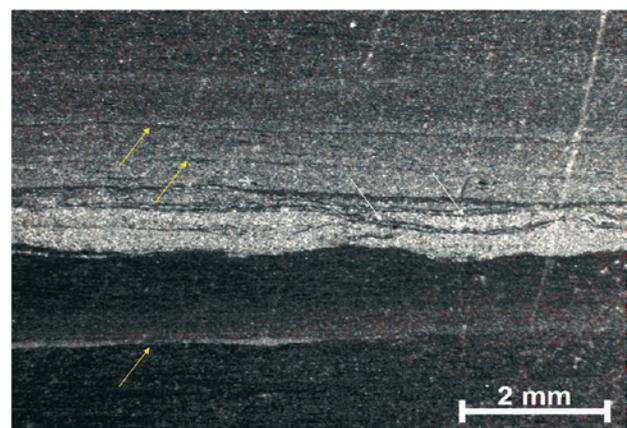


Figura 15 Fotomicrografia representando a microfácies M4 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note laminações submilimétricas de siltito, indicada pelas setas amarelas e laminações atribuídas à atividade microbiana, indicada pelas setas brancas (nicol paralelo e luztransmitida).

MICROFÁCIES M5

Diagnose – Siltito argiloso (14:54:32) finamente laminado com microgradação inversa e normal, rico em detritos vegetais. Ocorre somente o icnogênero *Helminthopsis* isp. (característico da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 16 e 17).

Interpretação – Resulta de fluxos hiperpicnais de baixa densidade em ambiente anóxico/redutor.

Descrição – Trata-se de sedimento siltico-argiloso rico em material fitoclástico (detritos vegetais) relativamente orientado em relação ao acamamento intercalado por laminações milimétricas de siltito e micromarca de calha. O preenchimento da micromarca de calha ocorre sob a forma de um aumento granulométrico em direção ao topo, delimitada por uma lâmina submilimétrica de siltito que marca o pico de energia do fluxo, seguido de uma diminuição granulométrica. As laminações de siltito mostram microgradação normal. Esta é microfácies mais abundante em material fitoclástico e apresenta elevados valores de Carbono Orgânico Total (1,03 %).

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange as amostras 4, 5 e 9 no perfil da Figura 4. A presença elevada de material fitoclástico e grãos de silte orientados com aspecto maciço intercalado por finas laminações de siltito e micromarcas de calha com microgradação normal e inversa sugerem deposição por fluxo hiperpicnal de baixa densidade. As laminações de siltito podem ter sido depositadas

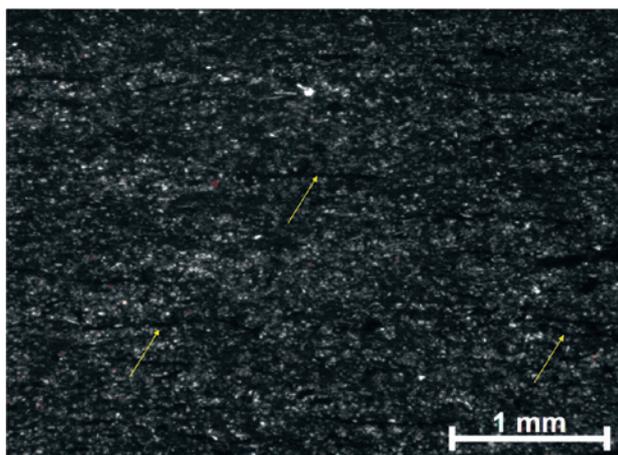


Figura 16 Fotomicrografia representando a microfácies M5 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note Fragmentos de material fitoclástico indicado pelas setas amarelas (nicol paralelo e luz transmitida).

durante o pico da inundação, registrando assim, o ápice de energia do evento (Mulder *et al.*, 2003; Plink-Björklund & Steel, 2003). Gastaldo (1994) discute amplamente os fatores inerentes a preservação e transporte do material fitoclástico até sua deposição, e afirma ser perfeitamente compreensível que material fitoclástico de maior densidade tais como fragmentos lenhosos sejam transportados juntamente com siltes em turbulência por fluxos hiperpicnais de baixa densidade.

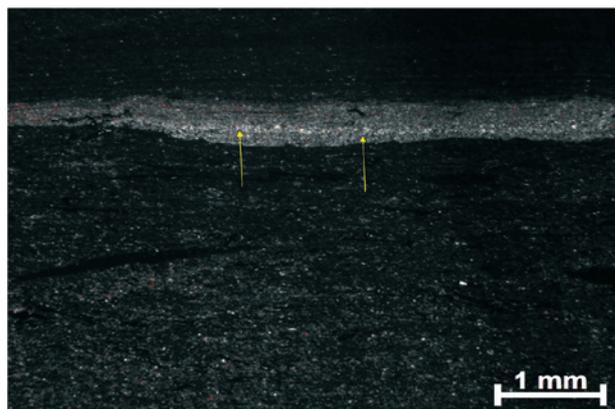


Figura 17 Fotomicrografia representando a microfácies M5 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note laminação milimétrica de siltito na parte superior da lâmina, na qual é possível observar um pavimento de grãos de silte de maior granulometria, indicado pela seta amarela (nicol paralelo e luz transmitida).

MICROFÁCIES M6

Diagnose – Siltito argiloso (10:64:26) laminado com microondulações assimétricas. Apresenta tipicamente laminações truncadas e nódulos milimétricos de marcassita. Ocorre somente o icnogênero *Helminthopsis* isp. (característico da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 18 e 19).

Interpretação – Resulta da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade associados a eventos de tempestade em ambiente anóxico/redutor.

Descrição – Trata-se de sedimentos siltico-argilosos frequentemente erodidos por fluxos trativos de energia elevada, capazes de transportar silte e areia muito fina. Microondulações assimétricas de espessura milimétrica (0,3 mm) com nódulos de marcassita (0,2 mm) ocorrem alternadas em meio a sedimentos argilosos e laminações de siltito (0,4 mm – 1 mm) que exibem microgradação normal.

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange a amostra 7 no perfil da Figura 4. A presença elevada de material siltico e laminações truncadas assessoradas por microondulações assimétricas intercaladas as camadas argilosas, sugerem fortemente a atuação de eventos de tempestades retrabalhando o substrato (Schieber, 1991; Potter, 2005). Esta informação é corroborada pelos dados de afloramentos que mostram feições como Ondulações assimétricas (*HCS*) e marcas de ondas fechando os ciclos de raseamento do membro São Domingos (Bergamaschi, 1999). Aigner & Reineck (1982) sugerem que correntes amplificadas por tempestades podem transportar sedimentos de granulometria mais grossa (silte ou areia muito fina) ou argila

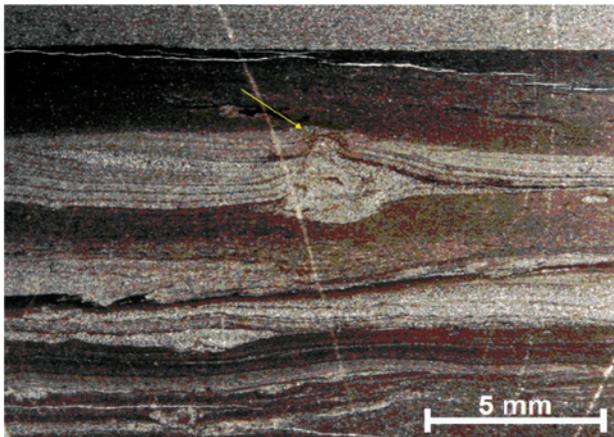


Figura 18 Fotomicrografia representando a microfácies M6 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4, referente ao trato de sistema de mar alto. Na parte superior da lâmina é possível observar uma microondulação assimétrica parcialmente bioturbada, indicada pela seta amarela (paralelo e luz transmitida).

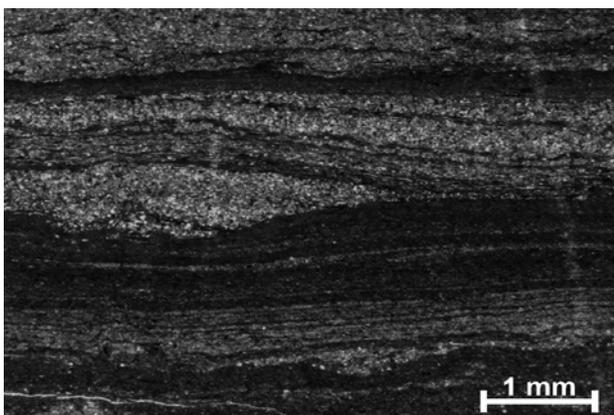


Figura 19 Fotomicrografia representando a microfácies M6 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note microondulação assimétrica na parte superior, indicada pela seta amarela (*lee side*) e um conjunto de laminações submilimétricas na parte inferior, indicada pela seta branca (nicol paralelo e luz transmitida).

floculada da plataforma para costa-afora, região onde predomina deposição de finos e processos decantativos. Schieber (2007) relata a ocorrência de feições similares em intervalos microclásticos da Formação Eau Claire do Cambriano superior, localizada no Estado de Indiana (EUA), e interpretada como o registro de uma plataforma epicontinental dominada por tempestades.

MICROFÁCIES M7

Diagnose – Siltito argiloso (8:60:32) finamente laminado com microgradação normal, marcas de corrugação e localmente bioturbado. Ocorre os icnogêneros *Planolites* isp.; *Helminthopsis* isp. e *Zoophycos* isp. (característicos da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 20 e 21).

Interpretação – Resulta da alternância de processos decantativos e fluxos hiperpicnais de baixa densidade em ambiente disóxico/anóxico, seguido de reorganização biogênica.

Descrição – Trata-se de sedimentos argilo-silticos com microtrama orientada nas camadas argilosas e laminações de siltito e caótica nas áreas bioturbadas. As laminações de siltito submilimétricas (0,01 mm) mostram grãos de quartzo e micas bem orientados. Ocorrem subordinadamente laminações milimétricas de siltito em microgradação inversa (0,4 mm).

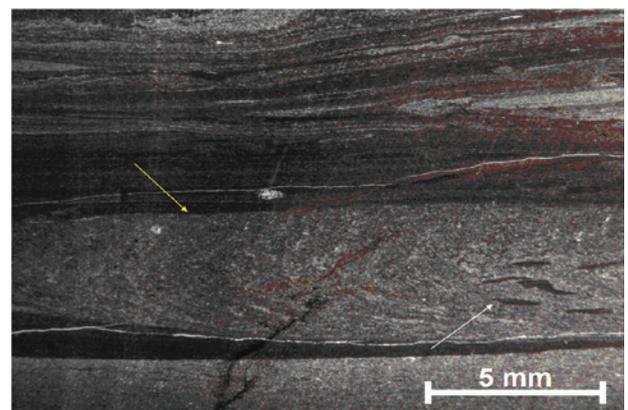


Figura 20 Fotomicrografia representando a microfácies M7 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note um conjunto de laminações submilimétricas na parte superior da lâmina. Na parte inferior é possível observar as microestruturas biogênicas *zoophycos* isp.; cujo limite superior é indicado pela seta amarela e *helminthopsis* isp.; indicada pela seta branca (nicol paralelo e luz transmitida).

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange a amostra 8 no perfil da Figura 4. A presença de microgradação inversa e sedimentos orientados nas camadas silticas, associados às depressões rasas na base da camada de siltito sugerem altas taxas de sedimentação por fluxos hiperpicnais que acabam por oxigenar o substrato (Mulder *et al.*, 2003; Potter *et al.*, 2005), permitindo assim condições favoráveis ao desenvolvimento de organismos bentônicos (Buatois, 2002). Esta microfácies pode ser uma variação da microfácies M3, sendo diferenciada basicamente pela maior proporção silte disperso pela amostra devido à atividade biogênica.

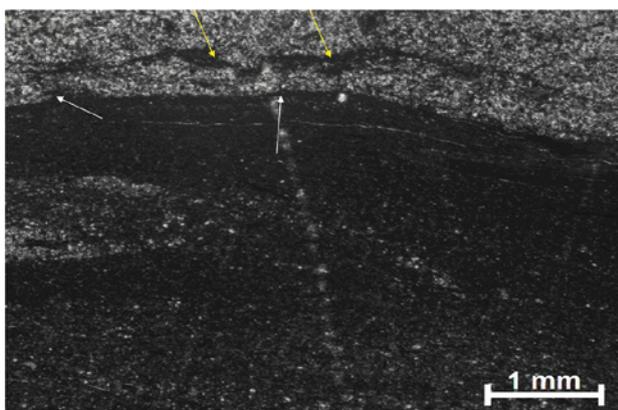


Figura 21 Fotomicrografia representando a microfácies M7 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note fragmento de esteira microbiana (indicada pelas setas amarelas) incorporada na camada de siltito localizada na parte superior da lâmina e microestruturas associadas ao crescimento de filamentos microbianos (indicados pelas setas brancas) (nicol paralelo e luz transmitida).

MICROFÁCIES M8

Diagnose – Siltito argiloso (7:65:28) finamente laminado com microgradação normal, micromarcas lenticulares, micromarcas de calha e nódulos milimétricos de marcassita subordinadamente. Ocorre somente o icnogênero *Helminthopsis* isp. (característico da icnofácies Cruziana distal) (Figuras 22 e 23).

Interpretação - Resulta da alternância de processos decantativos e fluxos turbulentos de baixa densidade em ambiente anóxico/redutor.

Descrição – Trata-se de siltito argiloso constituído de laminações milimétricas (0,1 mm – 0,6 mm) de silte grosso a silte fino em microgradação normal. Apresenta base erosiva, micromarcas de calha (0,3 mm – 1 mm) e nódulos de marcassita (0,3

mm). É a microfácies de maior percentagem em silte e areia muito fina.

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange a amostra 10 e 11 no perfil da Figura 4. Este padrão casado (*couplets*) de argilite e siltito indica sedimentação episódica por fluxos trativos (O'Brien *et al.*, 1998). A presença de laminações com base erosiva, micromarcas de calha e gradação normal, associado à abundância de material fitoclastico e grãos orientados, gerando uma microtrama orientada em relação ao acamamento sugere sedimentação por de fluxos hiperpicnais ou correntes de turbidez de baixa densidade. Este fato é apoiado pela ausência de microestruturas biogênicas (bioturbações), caracterizando um ambiente estressante pelo contínuo imput de água doce (Pemberton *et al.*, 2001; Buatois, 2002; Gibert & Ekdale, 2002). Segundo Schieber (2007 b) a presença de marcassita está associada a processos de oxidação, dissolução e posterior recristalização do material pirítico e fosfático reformulado. Uma vez formado o material pirítico de qualquer natureza no sedimento, intermitentes erosões e reformulação desses sedimentos proporcionam um mecanismo simples para remoção de argilas e concentração deste material, que são posteriormente oxidados, liberando altas concentrações de Fe^{2+} . Neste momento é necessária uma fonte de sulfeto de hidrogênio tais como as vindas de camadas de sedimentos organicamente ricos acima ou abaixo para causar a rápida precipitação de marcassita. Este tipo de mineral ocorre em depósitos de retrabalhamento em calcáreos e frequentemente como concreções incorporadas a rochas microclásticas (Klein & Hurlbut Jr., 1999).

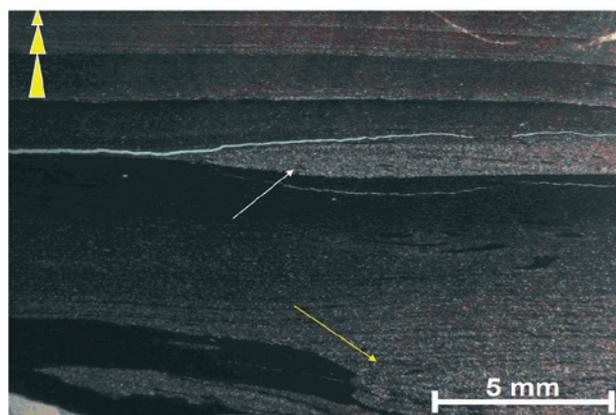


Figura 22 Fotomicrografia representando a microfácies M8 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Observe a ocorrência de micromarca de calha de tamanho centimétrico, na base (indicado pela seta amarela); uma micromarca lenticular de siltito (indicada pela seta branca) e uma sucessão de microgradações normais na parte superior da amostra (nicol paralelo e luz transmitida).

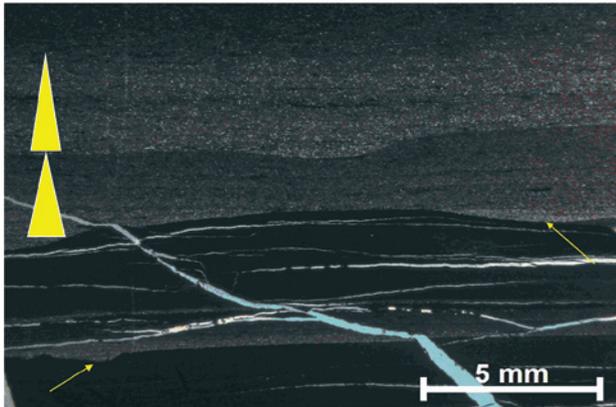


Figura 23 Fotomicrografia representando a microfácies M8 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da Figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Observe a ocorrência superfícies erosivas em microgradação normal e micromarcas de calha na base, indicadas pelas setas amarelas (nicol paralelo e luz transmitida).

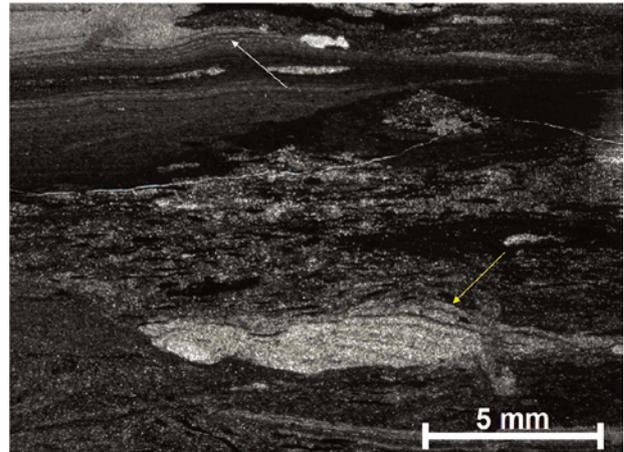


Figura 25 Fotomicrografia representando a microfácies M9 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Note conjunto de laminações submilimétricas na parte superior (indicada pela seta branca) e microondulação assimétrica na parte inferior (indicada pela seta amarela), ambas parcialmente obliteradas (paralelo e luz transmitida).

MICROFÁCIES M9

Diagnose – Siltito argiloso (8:64:28) intensamente bioturbado. Ocorre os icnogêneros *nolites* isp.; *Helminthopsis* isp.; *Zoophycos* isp.; *Terebellina* isp. e *Teicichichnus* isp. característicos da icnofácies Cruziana distal (Figuras 24 e 25).

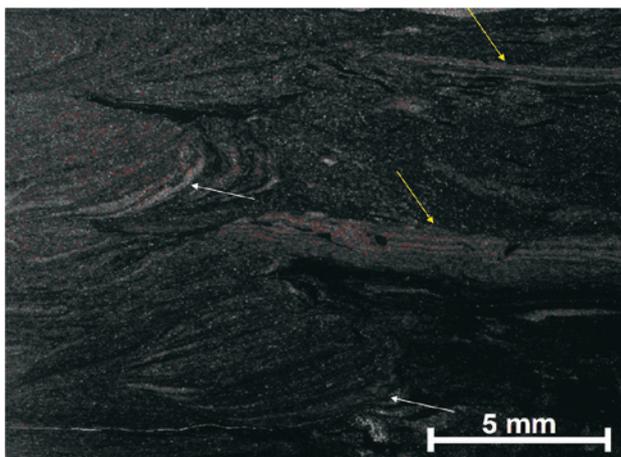


Figura 24 Fotomicrografia representando a microfácies M9 (siltito argiloso). Ocorre no perfil da figura 4 referente ao trato de sistema de mar alto. Esta microfácies é caracterizada pelo alto índice de reelaboração biogênica e abundância de microestruturas biogênicas. Microestruturas físicas ocorrem parcialmente bioturbadas. Note laminações plano paralelas indicadas pelas setas amarelas e *spreites* do icnogênero *Teicichichnus* isp.; indicado pelas setas brancas (nicol paralelo e luz transmitida).

Interpretação - Resulta da intensa reorganização biogênica (crustáceos, poliquetas e outros) em ambiente óxico/disóxico.

Descrição – Trata-se de siltito argiloso bioturbado, no qual ainda é possível observar indícios de microestruturas físicas (laminações e microndulações assimétricas). É caracterizada pelo aumento no índice de bioturbação e incremento de icnogêneros em relação às demais amostras. Pirita framboidal ocorre dispersa pela amostra.

Discussão - A ocorrência desta microfácies abrange as amostras 12, 13, 14 e 15 no perfil da figura 4. Esta microfácies é oriunda da remobilização do substrato pela ação de organismos bentônicos na busca por alimento e seu índice de bioturbação é o maior em relação às demais (exceto a microfácies M1). Nesta microfácies é possível observar uma diminuição da presença de material fitoclástico, quando comparada as demais microfácies do Trato de Mar Alto apresentadas anteriormente. Este fato sugere uma menor influência de processos hiperpicnais e influência de água doce, permitindo desta forma o desenvolvimento normal da icnofácies Cruziana distal (Pemberton *et al.*, 2001 Buatois, 2002).

6 Discussão

De um modo geral as microfácies mostram-se essencialmente silticas-argilosas. O trato de

sistema transgressivo apresenta caracteristicamente uma microfície silticas-arenosa com alto índice de reelaboração biogênica e presença de pirita, e outra extremamente argilosa, rica em matéria orgânica e pirita framboidal. Já o Trato de Mar Alto, é caracterizado por microfácies silticas-argilosas com baixo índice de reelaboração biogênica (bioturbações) e apresenta caracteristicamente inúmeras microestruturas de origem física ou hidrodinâmica (e.g. micromarca de calha, microondulações assimétricas, microgradações e microlaminações) e de origem microbial (micromarca de corrugação).

O perfil da Figura 3 referente ao Trato Transgressivo sugere a presença de 3 parassequências. A primeira ocorre da cota de 8m a 25m; a segunda, de 25m a 39m; e a terceira, de 39m a 59m aproximadamente. O processo deposicional dominante foi a remobilização do substrato pela ação de ondas que transportavam material de maior granulometria (silte e areias) para regiões mais distais, seguido de reelaboração biogênica (microfácies M1). Este processo é atestado pela alta proporção de silte e areia muito fina, além da ausência de microestruturas físicas ou hidrodinâmicas em grande parte das amostras.

Com o incremento da profundidade promovida pela subida do nível relativo do mar, dá-se a deposição de finos (argilas) por processos decantativos (atestado pela microfácies M2), que registra uma importante superfície de inundação de 3ª ordem (Figura 14); corroborando assim, a interpretação paleoambiental proposta por Diniz (1985) e Bergamaschi (1999) de deposição em mar raso (antepraia inferior a costa-afora), submetidas à ação de ondas e correntes. Quando em sucessão, as microfácies apresentam-se semelhantes àquelas descritas por O'Brien & Slatt (1990), mostrando uma mudança vertical na composição (aumentando a proporção de argila) e na microtrama (passando de aleatória a orientada).

Potter *et al.* (2005) advoga que a ação de ondas em regiões proximais (mares rasos) gera turbulência no fundo e mantém as partículas em suspensão, permitindo que correntes de maré, retorno/relaxação e geostróficas entre outras, transportem sedimentos em suspensão para regiões distais (*offshore*). Ainda segundo os autores, a ação de ondas amplificadas por eventos de tempestade pode resuspender o sedimento de regiões mais proximais do mar raso e gerar correntes de turbidez de baixa densidade que transportam material de maior granulometria para

regiões mais distais. Estas correntes acabam por oxigenar o fundo marinho, favorecendo assim, a reelaboração biogênica.

Diferentemente do Trato Transgressivo, as microfácies que caracterizam o Trato de Mar Alto (M3 a M9) exibem abundantes microestruturas físicas e baixo índice de reelaboração biogênica (exceto a microfácies M9).

O perfil da Figura 4 sugere duas parassequências. A primeira ocorre da cota de 1m a 3,20m aproximadamente e a segunda da cota de 3,20m a 7,20m aproximadamente. A camada arenosa situada próxima a cota de 4m é considerado um evento anômalo gerado por tempestades que transportaram material de maior granulometria e essencialmente arenoso para regiões mais distais.

A primeira parassequência mostra um conjunto de microfácies (M3 a M5) de tendência mais regressiva atestada pela maior proporção de silte e areia intercaladas aos folhelhos culminando em pacotes centimétricos ou métricos de areia no topo da parassequência. Já segunda parassequência, de caráter também regressivo indica uma tendência mais transgressiva (menor granulometria e diminuição dos pacotes arenosos), quando analisada num contexto de 4ª ordem.

Ambas as parassequências do Trato de Mar Alto mostram intercalação de material siltico/argiloso gerando um acamamento riscado, abundância de detritos vegetais (material fitoclastico) e microestruturas físicas (hidrodinâmicas). Estas microestruturas revelam uma série de feições associadas a fluxos de corrente (feições erosivas), mais precisamente mostrando aumento ou diminuição da energia do fluxo (feições com base erosiva e diminuição granulométrica em direção ao topo). Este padrão "riscado" ou "casado" (*couplets*) é indicativo de sedimentação episódica por fluxos trativos (O'Brien *et al.*, 1998; Davies *et al.*, 1991; Plink-Björklund & Steel, 2003).

As microfácies que ocorrem da cota de 1m a 4,5m (M3 a M7), revelam a alternância de processos decantativos e trativos, enquanto que a alta percentagem de detritos vegetais (material fitoclastico) sugerem sedimentação por fluxos hiperpicanais. Já a microfácies M8 que ocorre próxima a cota de 5m está associada a fluxos turbulentos de baixa densidade (correntes de turbidez diluídas)

devido a sensível diminuição de detritos vegetais e por exibir laminações com microgradação normal, registrando assim a fase de desaceleração do fluxo. A microfácies M9 que ocorre da cota de 6m a 8m é caracterizada pela maior argiliosidade em relação as demais e por apresentar um aumento significativo no grau de bioturbação (reelaboração biogênica).

A observação das microestruturas biogênicas (bioturbações) que ocorrem no Trato de Mar Alto permitiu a identificação da icnofácies Cruziana empobrecida num contexto de contexto de costa-afora distal (*lower offshore*) para a primeira parassequência, atestada pela baixa diversidade de icnogêneros e baixo índice de reelaboração biogênica somados a abundância de detritos vegetais. Este caráter empobrecido da icnofácies pode ser gerado pelo aumento local na taxa sedimentar resultante do aporte de água doce fluvial.

Para a segunda parassequência foi possível estabelecer uma icnofácies Cruziana distal, atestada pelo aumento no índice de reelaboração biogênica, incremento de icnogêneros e quase ausência de detritos vegetais, resultante da menor influência fluvial.

7 Conclusão

A análise de microfácies mostra-se eficiente para a caracterização de processos e paleoambientes. Numa sucessão de microfácies, o mapeamento das microestruturas, bem como a mudança na microtrama reflete mudanças nas condições ambientais e de sedimentação, além de fornecer pistas para a caracterização de uma condição deposicional específica.

As microfácies descritas para o Trato de Sistema Transgressivo, quando mapeadas em sucessão, mostram uma microtrama caótica (aleatória) e composição rica em areia muito fina e silte (de cores mais claras) que são substituídas em direção ao topo por microfácies mais argilosas (cores mais escuras), ainda com microtrama caótica, podendo em alguns pontos mostrar alguma orientação. Estas são sucedidas por microfácies argilosas de cores escuras a negras e microtrama orientada, típica de transgressões marinhas e sua origem resulta do decaimento da atividade biogênica, geralmente ocasionado por condições estressantes (anoxia), marcando assim, uma superfície de inundação.

Já as microfácies do Trato de Mar Alto revelam que o ambiente era constantemente sujeito à influência de sedimentação episódica por fluxos hiperpicnais, além de processos de ressedimentação por tempestades, alternando níveis de baixa (processos decantativos) e alta energia (processos trativos). Embora sujeitas a intercalações de camadas arenosas e silticas, as microfácies do Trato de Mar Alto mostram uma microtrama relativamente orientada. Estas microfácies, quando mapeadas em sucessão, mostram mudança vertical na microtrama, passando de orientada a caótica, além de aumento da proporção de sedimentos tamanho silte e areia muito fina.

A observação do caráter selante ou reservatório das microfácies foi inferido a partir de aspectos texturais e composicionais. A microfácies de melhor qualidade reservatório (M1) e selante (M2) são atribuídas ao trato de sistema transgressivo. A microfácies M1 mostra altas percentagens de silte e areia muito fina (56% e 22%) dispersos pela amostra, microtrama caótica e alto índice de reelaboração biogênica, que acaba por reduzir a capacidade selante. Creditamos que sua gênese está ligada a ação de ondas e posterior reelaboração biogênica. Já a microfácies M2 mostra alta percentagem de argila (57%) e microtrama orientada, sendo gerada por processos decantativos relacionados ao aumento relativo do nível do mar e marca uma importante superfície de inundação num ciclo de 3ª ordem.

As microfácies que compõem o trato de sistema de mar alto (M3 a M9), por sua vez, mostram intercalações de camadas submilimétricas e milimétricas de silte ou areia muito fina, microtrama relativamente orientada, baixo índice de reelaboração biogênica e inúmeras microestruturas (hidrodinâmicas, biogênicas e microbiais).

Uma análise preliminar, em termos de capacidade selante e reservatório dos tratos de sistema aqui analisados, nos permitem inferir que o Trato Transgressivo (Membro Jaguariaíva) têm excelente capacidade para atuar como reservatório de baixa permeabilidade, fato indicado pela ocorrência da ocorrência da microfácies M1 em grande parte do perfil analisado. Embora sujeitas a intercalações de camadas arenosas e silticas, as microfácies do Trato de Mar Alto (M3 a M9) mostram uma microtrama relativamente orientada, favorecendo assim a atuação do trato de mar alto como possível selante.

8 Referências

- Aigner, T. & Reineck, H.E. 1982. Proximity trends in modern storm sands from the Helgoland Bight (North Sea) and their implications for basin analysis. *Senckenbergiana Maritima*, 14:183-215.
- Andrade, S.M. & Camarço, P.E.N. 1980. Estratigrafia dos sedimentos Devonianos do flanco Nordeste da bacia do Paraná. In: (XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA) *Balneário Camboriú, Santa Catarina, Anais*, 5: 2828-2839.
- Assine, M.L. 1996. *Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da bacia do Paraná no Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado 207 p.
- Bergamaschi, S. & Pereira, E. 2001. Caracterização de sequências deposicionais de 3ª ordem para o Siluro-devoniano na sub-bacia de Apucarana, bacia do Paraná, Brasil. In: MELO, J.H.G. & TERRA, G.J.S. (Eds). *Correlação de sequências paleozóicas Sul-americanas, Petrobras Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, 20: 63-73.
- Bergamaschi, S. 1999. *Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 167 p.
- Borghi, L. 2002. *Fácies, arquitetura deposicional, tempestitos e o Devoniano da bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 309 p.
- Buatois, L.A.; Mángano, M. G. & Aceñolaza, F.G. (Eds.). 2002. *Trazas Fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico*. MEF- Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Bahía Blanca, 382 p.
- Carelli, T.G. 2010. *Caracterização de microfácies sedimentares em folhelhos da Formação Ponta Grossa (devoniano), na borda leste da bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 18 p, Anexos A, B, C, D e E.
- Davies, D.K.; Bryant, W.R.; Vessell, R.K. & Burkett, P.J. 1990. Porosities, permeabilities and microfabrics of devonian shales. In: BENNETT, R. H.; BRYANT, W. R. & HULBERT, M. H. (Eds.) *Microstructure of Fine-Grained Sediments*. Springer Verlag, New York, p.109-119.
- Diniz, M.N. 1985. *Interpretação ambiental da Formação Ponta Grossa na parte central da bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 148 p.
- Droser, M.L & Bottjer, D.J. 1989. Ordovician increase in extent and depth of bioturbation: Implications for understanding early Paleozoic ecospace utilization. *Geology*, 17, 850-852.
- Dunbar, C.O. & Rogers (Eds.) 1957. *Principles of Stratigraphy*. Wiley and Son, New York, 356 pp.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Texas, 184 p.
- Gastaldo, R.A. 1994. The genesis and sedimentation of phytoclasts with examples from coastal environments. In: TRAVERSE, A. (e.d.) *Sedimentation of Organic Particles*. Cambridge University Press, New York, p. 103-128.
- Gibert, J.M. & Ekdale, A. A. 2002. Ichnology of a restricted epicontinental sea, Arapien Shale, Middle Jurassic, Utah, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimate, Palaeoecology*, 183, 275-286.
- Grahn, R.L.; Mauller, P.M.; Breuer, P.; Bosseti, E.P.; Pereira, E. & Bergamaschi, S. 2010. The Furnas/Ponta Grossa contact and the age of the lowermost Ponta Grossa Formation in the Apucarana sub-basin (Paraná basin, Brazil): Integrated palynological age determination. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(2): 89-102.
- Grahn, R.L.; Pereira, E. & Bergamaschi, S. 2000. Silurian and lower Devonian chitinozoan biostratigraphy of the Paraná basin in Brazil and Paraguay. *Palynology*, 24: 147-176.
- Grahn, Y. 1992. Revision of Silurian and Devonian strata of Brazil. *Palynology*, 16: 35-61.
- Klein, C. & Hurlburt Jr., C.S. (Eds.) 1999. *Manual of Mineralogy - after J. D. Dana*. John Wiley & Sons, New York, 679 p.
- Kumar, S. & Pandey, S. K. 2007. Microbial mat-induced sedimentary structures in the Neoproterozoic Bundi Hill Sandstone, Indargarh area, Rajasthan. *Current Science*, 93(7):1009-1012.
- Lange, F.W. & Petri, S. 1967. The Devoniano of Paraná. In: BIGARELLA, J.J. Problems in Brazilian Devonian Geology. *Boletim Paranaense de Geociências*, 21/22: 05-51.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Steemans, P.; Barrilari, I.M.R. 1995. Miospore evidence for pré-Emsian and latest Famennian sedimentation in the Devoniano from the Paraná basin, south Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67: 391-392.
- Macquaker, J.H.S. & Adams, A.E. 2003. Maximizing information from fine-grained sedimentary rocks: an inclusive nomenclature for mudstones. *Journal of Sedimentary Research*, 73(5): 735-744.
- Milani, E.J.; Kinoshita, E. M.; Araújo, L.M. & Cunha, P. R. C. 1990. Bacia do Paraná: Possibilidades petrolíferas da calha central. *Boletim de Geociências Petrobras*, 4 (1), p. 21-34.
- Milani, E.J.; Melo, J. H. G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2): 265-287.
- Mulder, T.; Syvitski, J.P.M.; Migeon, S.; Faugères, J.C. & Savoye, B. 2003. Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 861-882.
- O'Brien, N.R. & Slatt, R.M. 1990. *Argillaceous rock Atlas*. Springer Verlag, New York, 141 p.
- O'Brien, N.R.; Brett, C.E. & Woodard, M.J. 1998. Shale fabric as a clue to sedimentary process – example from the Williamson-Willowvale Shales (Silurian), New York. In: SCHIEBER, J.; ZIMMERLE, W. & SETHI, P. (Eds.) *Shale and Mudstones II*, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 55-66.
- Oliveira, S. F. 1997. *Palinologia da sequência devoniana da bacia do Paraná no Brasil, Paraguai e*

- Uruguai: *Implicações biocronostratigráficas, paleoambientais e Paleogeográficas*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 222 p.
- Pemberton, S. G.; Spila, M.; Pulham, A. J.; Saunders, T.; Maceachern, J. A.; Robbins, D. & Sinclair, I. K. 2001. Ichnology & Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems: Bem Nevis & Avalon Reservoirs, Jeanne D'Arc Basin. *Geol. Assoc. of Canada, Newfoundland, Short course notes*, 15, 343 p.
- Pereira, E. 1992. *Análise do Paleozóico médio da sub-bacia do Alto Garças, no Sudoeste de Goiás, bacia do Paraná, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 172 p.
- Petri, S. 1948. Contribuição ao estudo do Devoniano Paranaense. *Boletim da Divisão Geologia e Mineralogia, DNPM*, 129, 125 p.
- Picard, M. D. 1971. Classification of fine-grained sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 41(1): 179-195.
- Plink-björklund, P. & Steel, R. J. 2004. Initiation of turbidity currents: outcrop evidence for Eocene hyperpycnal flow turbidites. *Sedimentary Geology*, 165: 29-52.
- Potter, P.E.; Maynard, J.B. & Depetris, P.J. 2005. *Mud and Mudstones*. Springer Verlag, Berlin, 297 p.
- Ramos, A. N. & Formoso, M. L. L. 1975. Argilominerais das rochas sedimentares da bacia do Paraná. *Petrobras Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, 9, 72 p.
- Schieber, J. 2007a. Microbial mats on muddy substrates – examples of possible sedimentary features and underlying processes. In: SCHIEBER, J.; BOSE, P. K., ERIKSSON, P. G., BANERJEE, S.; SARKAR, S.; ALTERMANN, W. & CATUNEANU, O (Eds.). *Atlas of Microbial Mat Features Preserved Within The Siliciclastic Rock Record*. Elsevier, Amsterdam, p. 117-133.
- Schieber, J. 2007b. Oxidation of detrital pyrite as a cause for Marcasite Formation in marine lag deposits from the Devonian of the eastern US. *Deep-Sea Research II*, 54, p. 1312–1326.
- Schieber, J. 1991. Sedimentary structures: textures and depositional settings of shales from the lower belt supergroup, mid-proterozoic, Montana, U. S. A. In: BENNETT, R.H., BRYANT, W.R. & HULBERT, M.H. (Eds.). *Microstructure of Fine-Grained Sediments*. Springer Verlag, New York, p. 101-108.
- Schieber, J. 2002. The role of an organic slime matrix in the formation of pyritized burrow trails and pyrite concretions. *Palaos*, 17: 104-109.
- Schieber, J. 2003. Simple gifts and buried treasures – Implications of finding bioturbation on erosion surfaces in Black shales. *Sedimentary Record*, 1(2): 4-8.
- Schubert, G. 1995. *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Devoniano da bacia do Paraná NW, região da Chapada dos Guimarães – MT*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 166 p.