

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS

**USO DA ICNOLOGIA, DOS ARGILOMINERAIS E DA
GEOQUÍMICA EM ROCHAS DE IDADE PERMIANA NA BACIA
DO PARANÁ, REGIÃO DE LAURO MÜLLER (SC), BRASIL**

ANTONIO BERNARDO REBELO TEIXEIRA

Volume I - Texto

ORIENTADOR: Geól. Rodí Ávila Medeiros

CO-ORIENTADOR: Dr. Carlos Emanuel de Souza Cruz

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Dra. Renata Guimarães Netto

Dr. René Rodrigues

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Geociências

1999

Teixeira, Antonio Bernardo Rebelo

Estratigrafia de seqüências: uso da Icnologia, dos Argilominerais e da Geoquímica em rochas da Idade Permiana na Bacia do Paraná, Região de Lauro Müller (SC), Brasil / Antonio Bernardo Rebelo Teixeira.— Porto Alegre, 1999.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. Estratigrafia de seqüências. 2. Icnologia. 3. Argilominerais. 4. Geoquímica. 5. Idade Permiana. 6. Paraná, Bacia do – Região de Lauro Müller – Santa Catarina. I. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Geociências. II. Título.

CDD- 20. ed. 551.7

A Luzenilde, Laís e Livia, pela tolerância de parte da minha ausência do convívio familiar, durante o período da dissertação.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO	vi
	ii
ABSTRACT.....	x
1 - INTRODUÇÃO	
1.1 - Considerações Iniciais e ojetivos.....	1
1.2 - Localização da Área e Acesso.....	3
1.3 - O Contexto Litoestratigráfico da Área na Geologia Regional	3
1.4 - Trabalhos Anteriores.....	5
1.4.1 - Estratigrafia de Seqüências.....	6
1.4.2 - Região de Lauro Müller (SC) e Adjacências	9
2 - METODOLOGIA	
2.1 - Metodologia Estratigráfica.....	12
2.2 - Metodologia Operacional.....	15
2.2.1 - Dados de Campo.....	15
2.2.2 - Dados de Laboratório.....	17
2.2.2.1 - Análise dos Argilominerais.....	17
2.2.2.2 - Análise Geoquímica.....	18
2.2.2.3 - Análise Palinológica.....	18
3 - ASSOCIAÇÃO FACIOLÓGICA	
3.1 - Considerações.....	19

3.2	-	Caracterização das Associações Faciológicas.....	20
3.2.1	-	Associação. Faciológica I (AF-I): Glácio-Marinha/ Fan-Deltas.....	21
3.2.1.1	-	Ambiente Depositional.....	24
3.2.2	-	Associação. Faciológica II (AF-II): Plataforma Marinha Com “Hummocky”.....	26
3.2.2.2	-	Ambiente Depositional.....	28
3.2.3	-	Associação. Faciológica III (AF-III) : Arenitos de “Shoreface” Médio/Superior.....	29
3.2.3.1	-	Ambiente Depositional.....	30
3.2.4	-	Associação. Faciológica IV (AF-IV) : Pelitos Marinho/ Marinho Marginal.....	31
3.2.4.1	-	Ambiente Depositional.....	31
3.2.5	-	Associação Faciológica V (AF-V): Flúvio-Estuarina.....	32
3.2.5.1	-	Ambiente Depositional.....	34
3.2.6	-	Associação. Faciológica VI (AF-VI) : Ilha de Barreira/ Laguna.....	36
3.2.6.1	-	Ambiente Depositional.....	37
4 - USO DA ICNOLOGIA			
4.1	-	Considerações.....	40
4.2	-	Iconofábricas em Testemunhos na Região de Lauro Müller (SC).....	44
4.3	-	Análise dos Resultados e Interpretação.....	45
4.4	-	Uso das Iconofábricas na Estratigrafia de Seqüências.....	47
5 - USO DOS ARGILOMINERAIS			
5.1	-	Considerações.....	49
5.2	-	A Expressão Paleoclimática.....	50

5.3	-	Argilominerais em Estuários.....	51
5.4	-	Argilominerais na Bacia do Paraná.....	52
5.5	-	Argilominerais em Testemunhos na Região de Lauro Müller (SC).....	54
5.6	-	Análise dos Resultados e Interpretação.....	55
6 - USO DA GEOQUÍMICA			
6.1	-	Considerações.....	57
6.2	-	Geoquímica na Bacia do Paraná.....	60
6.3	-	Análise dos Resultados e Interpretação.....	60
6.3.1	-	Elementos Químicos Maiores.....	60
6.3.2	-	Análise do Carbono Orgânico Total (COT) e Elementos Químicos Menores.....	61
6.3.3	-	A Relação Sr/Ba e o Teor de Boro.....	62
7 - PALINOLOGIA - APLICAÇÕES DA <i>TAPHONOMIA</i>			
7.1	-	Considerações.....	65
7.2	-	Análise dos Resultados e Interpretação.....	67
8 - ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS			
8.1	-	Considerações.....	69
8.2	-	A Opção do Modelo e o Pressuposto Tecono- Sedimentar.....	71
8.3	-	Estratigrafia de Seqüências em Bacias Tipo "Foreland".....	73
8.3.1	-	As Variações Locais – Sua Importância.....	75
8.4	-	Análise dos Ciclos Transgressivos/Regressivos na Região de Lauro Müller (SC).....	76
8.5	-	Evidências de Discordância do Tipo 1 e Vales Incisos...	82
9	-	CONCLUSÕES.....	84

10	-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
----	---	---------------------------------	----

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES - VIDE VOLUME II

AGRADECIMENTOS

Tão importante quanto a capacitação técnica adquirida durante o curso de Pós-Graduação em Estratigrafia, reputamos também a interação feita junto ao corpo docente de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a profissionais de órgãos afins como uma forma contínua de melhoria do nosso aprendizado.

Inicialmente, somos gratos à Petrobras/E&P-AM, através do seu Gerente Geral, Paulo César Amaro Aquino e ao Gerente de Exploração, César Guimarães Pereira que concordaram com a nossa liberação para a realização deste curso de Pós-Graduação, a nível de mestrado.

Ao geólogo Rodi Ávila Medeiros (*in memorian*), os nossos maiores agradecimentos, pois, em vida, em momento algum deixou de acolher as discussões deste orientando, numa capacidade de superação admirável na arte de educar, mesmo nos dias mais difíceis.

Aos Drs. Edison J. Milani (Petrobras); Almério B. França (Petrobras), e Michael Holz (UFRGS), pelas primeiras sugestões e incentivos, feitos antes mesmo da chegada em Porto Alegre, para que viéssemos a trabalhar com Estratigrafia de Seqüências na Bacia do Paraná.

Ao Dr. Joel C. de Castro (UNESP) pelo intercâmbio técnico inicial, envolvendo fotos de testemunhos da região de Lauro Müller (SC).

Ao geólogo Wilson Winter (Petrobras), pelo envio de dados geoquímicos do acervo de poços da Bacia do Paraná.

Ao Coordenador do Convênio Petrobras/UFRGS, Gerson J. S. Terra, pelo seu empenho diário no acompanhamento do curso, planejando e viabilizando a realização do calendário acadêmico, tarefa feita muitas vezes de forma discreta, mas que garantiu o bom andamento do curso.

Ao Gerente de Recursos Minerais da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), geólogo Luís Fernando F. de Albuquerque, que autorizou a cessão dos testemunhos da região de Lauro Müller. A interação técnica feita junto ao quadro de geólogos e técnicos desta empresa foi de grande importância para a compreensão do arcabouço geológico da área. Aos

geólogos Sérgio R. Leites e Ricardo da C. Lopes, pelas valiosas "dicas" sobre a Formação Rio Bonito e pela forma respeitosa com a qual éramos recebido na sede regional da companhia. Ao geólogo Antonio S. J. Krebs e ao sondador José Luís, agradecimentos especiais pela enorme colaboração prestada durante a fase de campo, sem a qual o caminho a ser seguido neste trabalho teria sido muito mais difícil. A Ana Lúcia B. F. Coelho, pela eficiência e orientação ao acesso bibliográfico da seção de documentação técnica.

Ao corpo docente e ao quadro técnico da UFRGS/Geociências, listados a seguir, que viabilizaram os resultados de várias análises e, acima de tudo, fomentaram boas discussões técnicas pertinentes ao tema desenvolvido:

- ao Dr. Paul E. Potter, pela sua grande capacidade de colaboração acadêmica, feita através de freqüentes sugestões e discussões extremamente enriquecedoras, principalmente na estratégia da elaboração desta dissertação e na disciplina necessária para o seu cumprimento;

- à Dra. Marleni Toigo, que de forma inestimável, realizou a leitura do material palinológico dos poços, sabidamente uma tarefa árdua. Estes agradecimentos são extensivos ao doutorando João G. Mendonça, pela sua colaboração no uso da microscopia com fluorescência;

- ao Dr. Milton Luiz L. Formoso, pela sua solicitude e pelos esclarecimentos técnicos no trato das questões sobre a geoquímica e os argilominerais;

- ao Dr. Luís F. de Ros, pelas observações e sugestões pertinentes à petrografia sedimentar e aos argilominerais;

- à Dra. Ruth Hinrichs e ao técnico Júlio, pelo resultado das análises de geoquímica obtidas pelos métodos de Absorção Atômica e Fluorescência de Raio X;

- a Renato Figueira, pela execução e obtenção dos resultados das análises de Difração de Raio X;

- à bibliotecária Renata Cristina Grün, pelas sugestões e revisões feita sobre as referências bibliográficas.

À Petrobras/CENPES, agradecemos a colaboração dos seguintes profissionais:

- à Dra. Sílvia M. do C. dos Anjos e a Técnica em Química Rose M. de L. Mencarelli, pelo grande empenho na execução e interpretação dos dados de argilominerais (DRX e MEV);

- ao Dr. René Rodrigues (DIVEX/SEBIPE) e ao corpo técnico da DIQUIM, que viabilizaram e realizaram análises de geoquímica de elementos maiores e menores;

Ao E&P-AM/GEXP/GELAB (Petrobras), na pessoa do seu gerente Sven Wolff e aos técnicos em geologia Elizabeth Saldanha e Ari Medeiros, pela confecção das lâminas palinológicas e pelas análises de calcimetria, respectivamente. Ainda ao colegas Ari e Nilo Matsuda, um agradecimento especial pela grande colaboração na edição final dos slides da apresentação.

À Dra. Renata G. Netto (UNISINOS), pelo incentivo e paciência durante a fase de ensino da Icnologia aplicada aos testemunhos.

Aos funcionários do convênio Petrobras/UFRGS, Mary R. Santos e João Henrique W. Castro (técnico em laminação), que colaboraram nos recursos de copiadora e na confecção de lâminas petrográficas.

A todos os colegas da turma/97, onde compartilhamos os diferentes momentos do nosso aprendizado. Em especial, a Laury Medeiros, pelo seu grande espírito de cooperação para o entendimento da evolução da Bacia do Paraná, além do fraterno e desprendido convívio social nestes dois anos. A Ricardo Latgé, pelas discussões filosóficas enriquecedoras sobre assuntos variados se, mormente não ligados diretamente à dissertação, contribuíram na nossa formação em um sentido mais amplo.

Aos colegas Eduardo Barbosa, Márcia Nogueira e Carlos Reis (Convênio Petrobras/UFRGS), pela grandiosa colaboração na edição das figuras, a qual foi fundamental na fase final do cumprimento do cronograma desta dissertação.

Finalmente, agradeço aos colegas do E&P-AM/Gelab Sven Wolff, Pekim T.Vaz e Alexandre Figueiras, pela revisão final do texto.

RESUMO

A Icnologia, os Argilominerais e a Geoquímica foram integradas aos estudos de Associação Faciológica com objetivo de testá-las como ferramentas auxiliares na caracterização de Seqüências Depositionais, segundo os conceitos da Estratigrafia de Seqüências (sentido Exxon). Para isso, foi selecionado o intervalo estratigráfico, compreendido do Sakmariano ao Kunguriano (Permiano), correspondente às formações Rio do Sul, Rio Bonito e base da Formação Palermo. A área de estudo está situada na borda leste da Bacia do Paraná, nos municípios de Orleans e Lauro Müller, região sul do estado de Santa Catarina.

Como metodologia de trabalho, foi selecionado um arcabouço estratigráfico considerando uma hierarquia de eventos de 3ª e 4ª ordem, inseridos em um evento de 2ª ordem, correspondente a uma superseqüência. Para isso, foram selecionados dez afloramentos, e os poços PB-18 e PB-20, com testemunhos, totalizando 500 m.

Foram interpretadas seis associações faciológicas, representadas, da base para o topo, por rochas glácio-marinha, plataforma marinha dominada por ondas com estrutura "hummocky", arenito de "shoreface" médio/superior, bioturbados, pelitos marinho/marinhos marginais, flúvio-estuarino e ilha de barreira/laguna. Admitiu-se ainda a formação de vales incisos para as região de Lauro Müller e para a área do poço RL-6, a partir da deposição das rochas flúvio-estuarinas.

O uso da Icnologia limitou-se à interface entre o topo da formação Rio do Sul e a base do Membro Triunfo da Formação Rio Bonito, onde a identificação da Icnofábrica de *Glossifungites* auxiliou na delimitação de limites de seqüência de alta freqüência. Além disso, foram reconhecidas, o predomínio das Icnofábricas de *Thalassinoides* e *Teichichnus* e, secundariamente, *Planolites*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Cylindrichnus*, *Monocraterion*, *Diplocraterion* e *Rosselia*, permitindo posicionar a interface entre estas formações na Icnofácies *Skolithos/Cruziana. Helminthopsis*,

Condrites e *Palaeophycus* passam a predominar quando da presença de subambientes mais restritos tipo baías e lagunas.

Os argilominerais identificados foram a caolinita, a clorita, a illita e o interestratificado illita-esmectita (I-S) do tipo ordenado. O predomínio da clorita e da illita, na Formação Rio do Sul e o da caolinita no Membro Siderópolis, indicam variações paleoclimáticas, onde, inicialmente, existiram condições mais frias e secas, passando para condições de clima mais quente e úmido.

Os pelitos transgressivos do Membro Paraguaçu da Formação Rio Bonito foram caracterizados pelos valores relativos mais elevados do interestratificado I-S, e do SiO_2 e Na_2O e, os menores valores relativos do Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 . Interpretou-se uma proveniência detrítica para estes argilominerais sendo associados a minerais micáceos e feldspáticos. As relações $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ e V/Cr indicam condições paleoambientais restritas, de caráter redutor, praticamente para todo o intervalo estudado. A relação Sr/Ba mostrou-se boa indicadora de eventos transgressivos no PB-18 e no poço 1-TV-4-SC, perfurado em posição mais distal na bacia.

Embora o uso da *Taphonomia* não tenha sido contemplada no objetivo inicial, a utilização da razão pólen/espores foi satisfatória. Pulsos transgressivos de alta frequência puderam também ser balizados pelas razões mais elevadas desta relação, havendo uma correlação razoável com as indicações advindas da curva da razão Sr/Ba .

Integrando-se os resultados destas várias ferramentas foi possível dividir o intervalo estratigráfico no PB-18, em sete seqüências deposicionais de 4ª ordem e, em cinco seqüências deposicionais, no PB-20. As variações encontradas nos estilos de estaqueamento estratigráfico entre as áreas perfuradas por estes poços, deve-se às variações locais no estilo tectono-sedimentar, dentro do modelo de bacias tipo “foreland” – parte distal, modelo este adotado para a sedimentação destas seqüências e que tiveram, na subsidência e no controle glácio-eustático, os agentes moduladores deste padrão estratigráfico.

ABSTRACT

The icnology, clay mineralogy, major and minor element geochemistry were used together with facies analysis to be tested as auxiliary tools in the characterization of depositional sequences, based on principles of sequence stratigraphy (*sensu* Exxon). This study was carried out in rocks of the stratigraphic interval from Sakmarian to Kungurian (Permian) corresponding to Rio do Sul and Rio Bonito formations. The selected area is located on the border of the Paraná Basin, in the State of Santa Catarina, near Lauro Müller and Orleans towns.

The methodology of investigation selected a stratigraphic framework considering a hierarchy events of third and fourth order included in a second order supersequence. Thus, 10 outcrops and 500 m of cores from two wells (PB-18 and PB-20) were described. Six faciologic associations were identified, including, rocks from base to top, glacio-marine/fan-deltas, platform with hummocky-cross-stratification, sandstones of middle/upper shoreface, marine to marginal marine, fluvio-estuarine and barrier island complex. The formation of incised valley is suggested in the Lauro Müller region and in the area of RL-6 well.

The use of icnology was focussed in the transition of the Rio do Sul Formation to the Triunfo Member of the Rio Bonito Formation. The presence of the Icnofabric of *Glossifungites* permitted to calibrate two high frequency sequence boundaries. Besides, others icnofabrics were recognized, as *Thalassinoides* and *Teichichnus*, and minor *Planolites*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Cylindrichnus*, *Monocraterion*, *Diplocraterion* and *Rosselia* which allowed to define, precisely, this transition in the *Skolithos/Cruziana* Icnofacies. In addition, *Helminthopsis*, *Condrites*, and *Palaeophycus* became important in rocks of bays and lagoons.

Kaolinite, chlorite, illite and ordered illite-smectite (I-S) were the clay minerals identified in the main pelitic intervals of the two wells. The content of chlorite and illite decreases from the Rio do Sul Formation toward

the Siderópolis Member (Rio Bonito Formation), while the content of kaolinite decreases in the opposite direction. This fact indicates a paleoclimatic variation, suggesting the deposition of the Rio do Sul Formation in a cold and dry weather, which became progressively warm and humid until the deposition of sediments of the Siderópolis Member.

The transgressive pelitic interval (Paraguaçu Mb.) is characterized by high relative proportions of illite-smectite, SiO_2 and Na_2O and low relative proportions of Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 . A detrital source with contents of mica a feldspars is suggested for these clay minerals. The $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ and V/Cr ratios suggest anoxic conditions. In addition, the Sr/Ba ratio, as observed in the PB-18 and 1-TV-4-SC wells, was considered as a good indicator of transgressive cycles. The minor element curves of molybdenum, nickel and copper have a good correlation with the total organic carbon curve suggesting a organic association.

Despite of the use of *Taphonomy* has not been considered in the main objective of this work, the high polens/spores ratio was helpful to point out these transgressive cycles as well as the Sr/Ba ratio does.

Integrating all these tools, it was possible to divide the stratigraphic interval of the PB-18 area in seven depositional sequences and in five depositional sequences the stratigraphic interval of the PB-20 area, both of fourth order. The vertical stratigraphic variation between these two areas was related to the model of foreland basin – distal part, which was used to explain the sedimentation architecture controlled mainly by subsidence and glacio-eustatic events.

Item - 1

- Figura 1.1** - Mapa de localização e geológico da área (fonte: Silva & Leites, inédito).
- Figura 1.2** - Área aflorante das rochas dos grupos Itararé, Guatá e Passa Dois (fonte: Milani *et al.*, no prelo).
- Figura 1.3** - Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (fonte: Milani, 1997).
- Tabela 1.1** - Evolução da classificação estratigráfica do Supergrupo Tubarão a partir de 1969 (fonte: França & Potter, 1988).

Item - 2

- Tabela 2.1** - Divisão de hierarquia estratigráfica para a Bacia do Paraná (fonte: Milani, 1997).
- Figura 2.1** - Seção estratigráfica entre poços situados nos municípios de Rio do Sul e Lauro Müller (SC). Fonte: Castro, 1994.
- Figura 2.2** - Mapa de localização geográfica das seções estratigráficas.

Item - 3

- Estampa 3.1** - Litofácies e estruturas da associação faciológica I no poço PB-20.
- Foto 3.1** - Conglomerado Orleans. Localização: Orleans (SC).
- Foto 3.2** - Detalhe do Conglomerado Orleans.
- Foto 3.3** - Camadas de arenito no Conglomerado Orleans.
- Foto 3.4** - Camadas de arenito com laminações plano-paralelas associadas ao Conglomerado Orleans.
- Foto 3.5** - Arenito com geometria sigmoidal no “Paredão das Esculturas”.

- Foto 3.6** - Camadas areno-conglomeráticas na seção inferior do “Paredão das Esculturas”.
- Figura 3.1** - Processos de transformações de fluxos (fonte: Mutti, 1992)
- Figura 3.2** - Fácies do sistema deltaico dominado por rio e gerado por inundações (fonte: Mutti *et al.*, 1996).
- Figura 3.3** - Fácies de fan-deltas dominado por inundações (fonte: Mutti *et al.*, 1996).
- Figura 3.4** - Geometria e fácies de barra sigmoidal gerada por inundações (fonte Mutti *et al.*, 1996).
- Figura 3.5** - Modelo Depositional das principais fácies do Grupo Itararé (fonte: Eyles *et al.*, 1993).
- Estampa 3.2** - Detalhe da associação faciológica II no poço PB-20.
- Estampa 3.3** - Exemplos da associação faciológica IIb no poço PB-18.
- Foto 3.7** - Arenito fluvial em discordância erosiva (Limite de Seqüências) sobre pelitos do Mb. Paraguaçu. Localização: cidade de Lauro Müller (SC).
- Foto 3.8** - Foto-detalle do contato erosivo no afloramento da foto 3.7.
- Foto 3.9** - Foto-detalle dos pelitos do Mb. Paraguaçu do afloramento da foto 3.7.
- Figura 3.6** - Modelo de processos físicos para a deposição de camadas arenosas tempestíficas (fonte: Reading, 1996).
- Estampa 3.4** - Exemplo da associação faciológica III no poço PB-18.
- Foto 3.10** - Afloramento de arenito (litorâneo) pertencente a associação faciológica IIII. Localização: Rodovia 438, a 700m da cidade de Orleans (SC).
- Foto 3.11** - Afloramento de arenito (litorâneo) pertencente a associação faciológica III. Localização: Rodovia SC-438, a 8 km do trevo da cidade de Orleans.
- Foto 3.12** - Arenito arcoseano em contexto estuarino. Localização: Rodovia 438, a 3 km da cidade de Lauro Müller.
- Foto 3.13** - Foto-detalle do afloramento da foto 3.12.

- Estampa 3.5** - Afloramento com “shift” de fácies entre sedimentos marinhos proximais (Fm. Rio do Sul) e os flúvio-deltaicos da Fm. Rio Bonito (Mb. Triunfo), com vale inciso associado.
- Estampa 3.6** - Exemplos de feições sedimentares da associação faciológica IV no poço PB-20.
- Estampa 3.7** - Exemplos da associação faciológica V nos poços PB-18 e PB-20.
- Foto 3.14** - Seção sedimentar com estrutura “Hummocky”. Localização: mina Boa Vista, Lauro Müller (SC).
- Foto 3.15** - Seqüência de corpos de arenito com geometria sigmoidal. Localização: mina Boa Vista, Lauro Müller (SC).
- Foto 3.16** - Corpos de arenito com geometria sigmoidal com estratificação cruzada tangencial. Localização: mina da Rocinha. 1km a oeste de Lauro Müller (SC).
- Foto 3.17** - Detalhe da foto 3.16. Estratificação cruzada com filmes de argila (ação de maré).
- Foto 3.18** - Sucessão de camadas em granodecrescência ascendente constituídas, na base, por arenito grosseiro com estratificação cruzada acanalada passando a folhelho e argilito. Localização: rodovia SC-438 a 1,9 km de Lauro Müller em direção a cidade de Guatá (SC).
- Figura 3.7** - Ambientes deposicionais em estuário dominado por onda e por maré (fonte: Dalrymple, Zaitlin & Boyd, 1992).
- Figura 3.8** - Evolução dos ambientes costeiros ao longo do tempo em relação as variações do nível do mar e o suprimento dos sedimentos (fonte: Reading, 1996, modificado de Dalrymple, Zaitlin & Boyd, 1992).
- Figura 3.9** - Evolução de um sistema de vale inciso (fonte: Dalrymple *et al.*, 1994).
- Estampa 3.8** - Exemplos da associação faciológica VI no poço PB-20.
- Foto 3.19** - Arenito transgressivo litorâneo (AF VI), sobre camada de carvão lagunar (carvão Barro Branco). Localização: mina Beluno, cidade de Siderópolis (SC).

- Foto 3.20** - Foto-detalhe de feições de truncamento das estruturas plano-paralelas de baixo ângulo.
- Foto 3.21** - Foto-detalhe da foto 3.19 mostrando "flasers" carbonosos no arenito transgressivo.
- Foto 3.22** - Foto-detalhe da foto 3.19 mostrando finas camadas de pelitos carbonosos (ação de maré).
- Figura 3.10** - Características morfológicas, oceanográficas e sedimentológicas de diferentes tipos de estuários (fonte: Reading, 1996).

Item - 4

- Figura 4.1** - Perfil batimétrico com as icnofácies respectivas (fonte: Netto, 1995).
- Figura 4.2** - Diagrama ilustrando diferentes icnofábricas (fonte: Savrda, 1995).
- Figura 4.3** - Associação de tracos fósseis característica da Icnofácies de *Glossifungites* (fonte: Pemberton, 1992).
- Figura 4.4** - Desenvolvimento esquemático de uma descontinuidade erosional demarcada por *Glossifungites* (fonte: Pemberton, 1992).
- Figura 4.5** - Representação esquemática de descontinuidades, dentro de um sistema de vale inciso, apoiado na interpretação da Icnofácies de *Glossifungites* (fonte: Darymple *et al.*, 1984).
- Tabela 4.1** - Icnofábricas identificadas nas rochas das formações Rio Bonito e Palermo na Bacia do Paraná, RS (fonte: Netto, 1995).
- Tabela 4.2** - Grau relativo de bioturbação (fonte: Netto, 1995).
- Estampa 4.1** - Icnofábricas identificadas no poço PB-18.
- Estampa 4.2** - Icnofábricas identificadas no poço PB-18.
- Estampa 4.3** - Icnofábricas identificadas no poço PB-20.
- Estampa 4.4** - Icnofábricas de *Glossifungites* no poço PB-20

Figura 4.6 - Principais ocorrências de icnofábricas, superfícies estratigráficas-chaves na seção superior da Formação Rio do Sul e na Formação Rio Bonito, no poço PB-18.

Figura 4.7 - Principais ocorrências de icnofábricas, superfícies estratigráficas-chaves, na seção superior da Formação Rio do Sul e na Formação Rio Bonito, no poço PB-20.

Item - 5

Foto 5.1 - Foto de MEV de argilominerais (ilita-esmectita) no poço PB-18 (fonte (Anjos & Versiani, 1999).

Foto 5.2 - Foto de MEV de argilominerais (ilita-esmectita) no poço PB-18 (fonte: Anjos & Versiani, 1999).

Figura 5.1 - Teor dos argilominerais nos intervalos argilosos no poço PB-18.

Figura 5.2 - Teor dos argilominerais nos intervalos argilosos no poço PB-20.

Figura 5.3 - Proporção relativa da ilita-montmorilonita no poço 1-TV-4-SC (fonte: Ramos & Formoso, 1975).

Item – 6

- Figura 6.1** - Diagrama de tempo de residência versus coeficiente de partição dos elementos químicos (fonte: Taylor & McLennan, 1985).
- Figura 6.2** - Diagrama composicional baseado na relação dos elementos químicos maiores de $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ e $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (fonte: Rollinson, 1995).
- Figura 6.3** - Concentração dos elementos maiores, expresso em óxidos, nos principais intervalos pelíticos do PB-18.
- Figura 6.4** - Concentração dos elementos maiores, expresso em óxidos, nos principais intervalos pelíticos do PB-18.
- Tabela 6.1** - Concentração dos principais elementos químicos no poço PB-18.
- Tabela 6.2** - Teor da matéria orgânica e razões $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ e Sr/Ba e teor de boro no poço PB-18.
- Figura 6.5** - Elementos químicos menores associados a matéria orgânica, exceto o cobalto, nos principais intervalos pelíticos no poço PB-18.
- Figura 6.6** - Razões $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ e V/Cr , V , Cr e COT com indicações de paleoredox e associação organófila (fonte: Wignall, 1994).
- Figura 6.7** - Elementos químicos menores: Sr, Ba e B nos principais intervalos pelíticos do poço PB-18.
- Figura 6.8** - Relação Sr/Ba no poço 1-TV-4-SC.
- Figura 6.9** - Concentração dos elementos Sr, Ba e a razão Sr/Ba, comparada a curva de K_2O .

Item - 7

- Figura 7.1** - Distribuição de palinomorfos em ambientes costeiros (fonte: Myers, 1996).
- Figura 7.2** - Percentual de pólenes e esporos nos pelitos do poço PB-18.

- Figura 7.3** - Percentual de pólen e esporos nos pelitos do poço PB-20.

Item - 8

- Figura 8.1** - Diagrama ilustrando a subsidência em três domínios da Bacia do Paraná (fonte: Milani *et al.*, no prelo).
- Figura 8.2** - Posicionamento relativo da Bacia do Paraná dentro de um perfil de bacia tipo , "foreland" (fonte: Milani, 1997).
- Figura 8.3** - Diagrama ilustrando um ciclo de acomodação de subsidência, acompanhada de mudança relativa do nível do mar e a arquitetura estratigráfica resultante (fonte Schwans, 1995).
- Figura 8.4** - Perfil integrado da análise estratigráfica de Seqüência de Alta Freqüência e a curva da razão Sr/Ba no poço PB-18.
- Figura 8.5** - Perfil integrado da análise estratigráfica de Seqüência de Alta Freqüência e a curva da razão Sr/Ba no poço PB-20.
- Estampa 8.1** - Elementos estratigráficos-chaves definidos com base no "shift" de fácies litológicas.
- Figura 8.6** - Seção longitudinal idealizada dentro de um vale inciso (fonte: Dalrymple *et al.*, 1994).
- Figura 8.7** - Seção estratigráfica de subsuperfície, "BA", na região de Lauro Müller (SC).
- Figura 8.8** - Seção estratigráfica, de subsuperfície, "BC" , em direção ao poço distal 1-SJQ-1-SC.
- Foto 8.1** - Exemplo de discordância do tipo 1 formada entre rochas flúvio-deltaicas do Membro Triunfo da Formação Rio Bonito e pelitos da Formação Rio do Sul no poço RL-4.

1 - INTRODUÇÃO

2 – METODOLOGIA

3 – ASSOCIAÇÃO FACIOLÓGICA

4 – USO DA ICNOLOGIA

5 - USO DOS ARGILOMINERAIS

6 - USO DA GEOQUÍMICA

7 - PALINOLOGIA

8 - ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS

Tabela 2.1

Divisão Hierárquica para a Bacia do Paraná

(fonte: Milani, 1997)

Ordem	Característica	Idade	Tempo Envolvido (m.a.)
I	Registro sedimentar total da bacia	Neo-ordoviciano/ Neocretáceo (450/±65 m.a.)	385
II	<u>Superseqüências</u>		
	Rio Ivaí	Carodociano-Landpveriano	22
	Paraná	Lockoviano-Frasniano	45
	Gondwana I	Westphaliano-Scythiano	65
	Gondwana II	Neoisiano-Eonoriano	19
	Gondwana III	Neojurássico-Berriasiano	22
III	Bauru	Aptiano-Maastrichtiano	50
	Seqüências Estratigráficas de escala regional a Local	Diversas	Inferior a 10 m.a
IV	Seqüências/Parasseqüências	Diversas	Até (1 m.a.)

Tabela 4.2

Grau Relativo da Bioturbação

(fonte: Netto, 1995)

Intensidade da Bioturbação	Símbolo	Equivalência a Bottjer & Droser (1991)
Fraca	(b)	ii ₁₋₂ (bioturbação até 10%)
Moderada	(B)	ii ₃₋₄ (bioturbação de 10%-60%)
Plena	(B)	ii ₅₋₆ (bioturbação de 60%-100%)

obs - ii_{1,2,...6}: índice de icnofábrica definido por Bottjer & Droser (1991).

TABELA 4.1

Icnofábricas Identificadas nas rochas das Formações Rio Bonito e Palermo na Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul
(fonte: Netto, 1995)

Índice da Icnofábrica	Características
IF ₁	Incomunidade <i>Helminthopsis-Palaeophycus-Planolites</i> . Presença de <i>Chondrites</i> e <i>Helminthoidea</i> . Domina a morfologia horizontal e normalmente desenvolvem-se em substratos pelíticos, ricos em matéria orgânica. A energia é baixa.
IF ₂	Icnocomunidade <i>Diplocraterion-Ophiomorpha-Skolithos</i> . Secundariamente, podem estar presentes <i>Arenicolites</i> , e <i>Monocraterion</i> . Domina a morfologia vertical, em estratos arenosos, sem matéria orgânica. A energia é alta a moderada.
IF _{2g}	Icnocomunidade <i>Ophiomorpha-Skolithos</i> . <i>Diplocraterion</i> freqüente e associação esporádica de <i>Thalassinoides</i> . Dominam as escavações longas, preenchidas por sedimentos diferentes aos da rocha hospedeira, cortando as escavações anteriores em atividades de "firmground" dentro da icnofácies de <i>Glossifungites</i> .
IF ₃	Icnocomunidade <i>Helminthopsis-Palaeophycus-Planolites-Rosselia-Thalassinoides-Teichichnus</i> . Também encontram-se associados: <i>Agrichnium</i> , <i>Ancorichnus</i> , <i>Asterosoma</i> , <i>Aulichnites</i> , <i>Bergaueria</i> , <i>Bifungites</i> , <i>Curvolithos</i> , <i>Gordia</i> , <i>Monomorphichnus</i> , <i>Olivellites</i> , <i>Palaeobullia</i> , <i>Rhizocorallium</i> , <i>Rutichnus</i> e <i>Chondrites</i> (raro). Presença freqüente de: <i>Arenicolites</i> , <i>Diplocraterion</i> , <i>Ophiomorpha</i> e <i>Skolithos</i> . As morfologias são compostas por formas intercaladas verticais e horizontais, associadas a depósitos heterolíticos e arenitos fino com laminação ondulada formando os "hardgrounds", onde se alternam momentos de alta e baixa energia. É a icnofábrica mais diversificada.
IF ₄	Icnocomunidade mono específica de <i>Teichichnus</i> e secundariamente <i>Palaeophycus</i> e <i>Thalassinoides</i> . Dominam formas horizontais, ricas em "spreiten" em sedimentos heterolíticos ricos em cimentos carbonáticos. Ausência da matéria orgânica. Deposição em águas rasas com aumento na energia do meio.

Tabela 6.1
Concentração dos Principais Elementos Químicos
no Poço PB-18
Região de Lauro Muller (SC)

ELEMENTOS MAIORES (% ÓXIDOS)	FM. RIO DO SUL n.d: 5	FM. RIO BONITO MB. TRIUNFO n.d: 4	FM. RIO BONITO MB. PARAGUAÇU n.d: 16	FM. RIO BONITO MB. SIDERÓPOLIS n.d: 6	FM PALERMO (base) n.d: 3
SiO ₂	54,54 (7,96)	60,82 (2,62)	69,00 (5,60)	58,80 (1,36)	62,07 (6,43)
Al ₂ O ₃	22,80 (4,16)	21,33 (3,24)	18,71 (4,71)	28,22 (4,50)	21,8 (3,51)
Na ₂ O	(1,56) (0,36)	(1,60) (0,12)	(1,88) (0,57)	0,85 (0,35)	(1,05) (0,25)
K ₂ O	5,48 (1,19)	4,97 (0,95)	3,99 (1,11)	4,13 (0,74)	4,35 (0,57)
CaO	0,59 (0,25)	0,27 (0,03)	0,43 (0,17)	0,41 (0,32)	0,40 (0,06)
Fe ₂ O ₃	10,07 (3,25)	7,95 (3,30)	3,99 (0,73)	4,90 (2,97)	7,94 (3,83)
MnO	0,05 (0,01)	0,03 (0,004)	0,022 (0,004)	0,08 (0,13)	0,023 (0,005)
MgO	3,42 (1,08)	2,14 (0,33)	1,23 (0,25)	0,95 (0,37)	1,19 (0,42)
P ₂ O ₅	0,25 (0,09)	0,09 (0,01)	0,09 (0,05)	0,20 (0,22)	0,10 (0,04)
TiO ₂	1,23 (0,22)	1,00 (0,06)	0,65 (0,19)	1,35 (0,17)	1,00 (0,10)

obs: - n.d: números de dados .
- o primeiro número é a média aritmética simples.
- o segundo número, entre parênteses, é o desvio padrão

Tabela 6.2

Teor da Matéria Orgânica
e Razões: V/(V+Ni), V/Cr Sr/Ba e Teor do Boro
no Poço PB-18
Região de Lauro Muller (SC)

INDICADORES GEOQUÍMICOS	FM. RIO DO SUL	FM. RIO BONITO MB. TRIUNFO	FM. RIO BONITO MB. PARAGUAÇU	FM. RIO BONITO MB. SIDERÓPOLIS	FM PALERMO (base)
COT (%)	0,97 (0,18) n.d: 4	1,43 (1,26) n.d: 4	1,06 (1,62) n.d: 6	2,95 (2,13) n.d: 6	1,46 (1,06) n.d: 3
V/(V+Ni)	0,83 (0,02) n.d: 5	0,85 (0,04) n.d: 4	0,90 (0,10) n.d: 16	0,85 (0,08) n.d: 6	0,64 (0,39) n.d: 3
V/Cr	1,57 (0,18) n.d: 5	2,191 (0,85) n.d: 4	3,39 (1,40) n.d: 16)	5,24 (7,88) n.d: 6	0,86 (0,59) n.d: 3
Sr/Ba	0,23 0,03 n.d: 5	0,24 (0,06) n.d: 4	0,45 (0,17) n.d: 16	0,12 (0,03) n.d: 6	0,23 (0,07) n.d: 3
B (ppm)	74,20 (24,47) n.d: 5	64,75 (10,51) n.d: 4	80,50 (39,34) n.d: 5	72,00 (14,12) n.d: 6	61,33 (5,91) n.d: 3

obs: - o primeiro número é a média aritmética simples.
- o segundo número, entre parênteses, é o desvio padrão
- n.d: números de dados .

Tabela

Características Principais dos Intervalos Marinhos Transicionais e Eventos
Transgressivos no poço PB-18.

Região de Lauro Muller (SC)

Evento	Sr/Ba	Argilomineral Característica Diagnósticas
Intv. Transicional Proximal Inf. Mb. Triunfo (172-175m)	0,19	
Intv. Transicional Proximal Sup. Mb. Siderópolis (93-43m)	0,12	
SIM Mb Paraguaçu (107,5 m)	0,92	
Intv. Transgr. - 3 Base Mb. Paraguaçu (140-167m)	0,45	
Intv. Transgr. - 2 Fm. Rio do Sul (182-191m)	0,29	
Intv. Transg. - 1 Fm. Rio do Sul (199-205,5m)	0,22	

Tabela 7.1

Razão Pólen/Esporos nos Intervalos Pelíticos no Poço: PB-18
Região de Lauro Muller, SC

EVENTO	PÓLENS/ESPOROS
Intv. Transgressivo Base da Fm. Palermo intv.: 23-43 m. N.D.=4	1,59-2,26 1,87 (0,29)
Intv. Transicional Proximal Total Mb. Siderópolis intv.: 43-93 m. N.D.= 2	0,33-0,39 0,36 (0,04)
SIM MB. PARAGUAÇU prof.:107,5 m.	Sem análise
Intv. Transgressivo Base do Mb. Paraguaiçu intvs.: 139-150m e 154-168m. ND.: 3	1,28-15,95 6,35 (8,32)*
Intv. Transicional Proximal Mb. Triunfo intv.: 172-175 m. N.D.: 1	1,81 1,81
Intv. Transicional Proximal. Fm. Rio do Sul intv.: 182-191m. N.D.: 2	1,21-1,80 1,51 (0,41)
Int. transicional Proximal Fm. Rio do Sul intv.: 199-205,5 m. N.D.: 2	0,66-0,73 0,70 (0,05)
Intv. Marinho Fm. Rio do Sul intv.: 259-274m. N.D.: 4	1,48-8,22 5,09 (3,44)

obs: - na razão pólen/esporo o primeiro intervalo são os valores min. e max.

- * o elevado desvio padrão deve-se ao valor anômalo da razão pólen/esporo na profundidade de 155m , sedo igual a 15, 95, bem superior aos demais valores da sua população que é de 1,81.

IF₁ - icnocomunidade Helminthopsis-Palaeophycus-Planolites. Presença de Chondrites e Helminthoidea. Domina a morfologia horizontal e normalmente desenvolvem-se em substratos pelíticos, ricos em matéria orgânica. A energia é baixa.

IF₂ - icnocomunidade Diplocraterion-Ophiomorpha-Skolithos. Secundariamente, podem estar presentes Arenicolites, e Monocraterion. Domina a morfologia vertical, em estratos arenosos, sem matéria orgânica. A energia é alta a moderada.

IF_{2g} - icnocomunidade Ophiomorpha-Skolithos. Diplocraterion freqüente e associação esporádica de Thalassinoides. Dominam as escavações longas, preenchidas por sedimentos diferentes aos da rocha hospedeira, cortando as escavações anteriores em atividades de "firmground"ⁱⁱⁱ dentro da icnofácies de Glossifungites.

IF₃ - icnocomunidade Helminthopsis-Palaeophycus-Planolites-Rosselia-Thalassinoides-Teichichnus. Também encontram-se associados: Agrichnium, Ancorichnus, Asterosoma, Aulichnites, Bergaueria, Bifungites, Curvolithos, Gordia, Monomorphichnus, Olivellites, Palaeobullia, Rhizocorallium, Rutichnus e Chondrites (raro). Presença freqüente de: Arenicolites, Diplocraterion, Ophiomorpha e Skolithos. As morfologias são compostas por formas intercaladas verticais e horizontais, associadas a depósitos heterolíticos e arenitos fino com laminação ondulada formando os "hardgrounds", onde se alternam momentos de alta e baixa energia. É a icnofábrica mais diversificada.

IF₄ - icnocomunidade monoespecífica de Teichichnus e secundariamente Palaeophycus e Thalassinoides. Dominam formas horizontais, ricas em "spreiten" em sedimentos heterolíticos ricos em cimentos carbonáticos. Ausência da matéria orgânica. Deposição em águas rasas com aumento na energia do meio.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais e Objetivos

Esta dissertação teve como objetivos testar a aplicação da Icnologia, dos Argilominerais e da Geoquímica (elementos maiores e menores) no estudo da Estratigrafia de Seqüências, onde se procurou interpretar os vários pulsos transgressivos/regressivos das rochas de idade Eopermiana (formações Rio do Sul e Rio Bonito e base da Formação Palermo), na Bacia do Paraná, na região de Lauro Müller (SC).

O intervalo cronoestratigráfico analisado é atrativo para tais estudos por várias razões. A primeira, por já existir um bom acervo de conhecimento geológico envolvendo as unidades do Grupo Itararé e do Grupo Guatá, na qual estão inseridas as unidades litoestratigráficas analisadas.

Mais recentemente, com o advento dos conceitos da Estratigrafia de Seqüências (final da década de 70 e início da década de 80), surgiram vários trabalhos de dissertação dentro desta nova "visão", os quais, sistematicamente, vêm contribuindo para a construção de um estratigrafia mais dinâmica e moderna para a Bacia do Paraná.

Em segundo lugar, a região escolhida dispõe de vários afloramentos, alguns em minas a céu aberto, além de contar também com uma malha com mais de uma centena de poços perfurados pela Companhia de Recursos Minerais (CPRM) para a exploração do carvão mineral. Como fator relevante à área estudada, encontra-se inserida a famosa seção estratigráfica-tipo do Gondwana, na América do Sul, descrita originalmente

por C. White em 1908. Quatro dos seus principais afloramentos referentes às rochas das formações Rio do Sul e Rio Bonito foram contemplados na fase descritiva dos trabalhos de campo.

Os testemunhos contínuos sacados em subsuperfície, nos poços PB-18 e PB-20, totalizando 500 m, permitiram uma boa descrição faciológica vertical. Foi utilizado como "datum" estratigráfico de referência a superfície transgressiva da base da Formação Palermo, bem definida nos perfis de raios-gama.

As principais fácies sedimentares descritas envolvem ambiente costeiro/transicional do tipo glácio-marinho, com fan-deltas associados; plataformas marinhas dominada por tempestades e complexos flúvio-estuarinos associados a vales incisos. No subambiente ilha de barreira/laguna há o desenvolvimento de várias camadas de carvão que constituem em interesse comercial, compondo o quadro econômico do que é conhecido como Bacia Carbonífera de Santa Catarina (Nunes *et al.*, 1990).

O uso da Icnologia, em subsuperfície, esteve restrito à interface deposicional compreendendo o topo da Formação Rio do Sul e o Membro Triunfo (Fm. Rio Bonito), por ser o melhor intervalo para a aplicação dos conceitos de icnofábricas. Entre estas, destacou-se a Icnofábrica de *Glossifungites* utilizada como indicadora de superfícies estratigráficas-chaves (limites de seqüências e superfícies transgressivas). A aplicação desta ferramenta foi referenciada aos trabalhos de Netto (1995), que descreveu, de forma sistematizada, as icnocomunidades das rochas das formações Rio Bonito e Palermo, tendo sido um grande passo para a utilização desta ferramenta na estratigrafia moderna.

Para os argilominerais e os elementos geoquímicos (maiores e menores), procurou-se utilizar relações que melhor refletissem variações paleoambientais e paleoclimáticas. Desta forma, estudou-se o comportamento das tendências das curvas da caolinita, da clorita, da illita e da illita/esmectita e dos elementos químicos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO , Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , MgO , P_2O_5 e TiO_2) e menores (Mo, Ni, Cu, Co, V, Ni, Cr, Sr e Ba), nos principais intervalos pelíticos amostrados ao longo da seção estratigráfica.

Os últimos trabalhos com estas aplicações datam da década de 70 (Ramos & Formoso, 1975 e Rodrigues & Quadros, 1976). Por conseguinte, não contemplavam, ainda, uma integração à Estratigrafia de Seqüências

Embora não tenha sido objeto principal desta dissertação, utilizou-se também a *taphonomia*, através da relação pólen/espores, como uma ferramenta a auxiliar na montagem do arcabouço estratigráfico. Esta relação tem sido testada com relativo sucesso na bacia por Holz (1995), para caracterizar os tratos de sistemas.

A visão tectono-sedimentar utilizada para suportar a evolução dos pulsos transgressivos/regressivos de alta freqüência foi feita segundo o modelo de bacias tipo "foreland" (Schwams, 1995). Partiu-se, inicialmente, de uma hierarquia de eventos de 3ª ordem, na qual interpretaram-se sete seqüências deposicionais de 4ª ordem, inseridas dentro da unidade estratigráfica denominada de Superseqüência I (Milani, 1997).

1.2 - Localização da Área e Acesso

A região de Lauro Müller, na qual está inserida a área de estudo, localiza-se na porção sul do Estado de Santa Catarina. Está situada a 53 km ao norte da cidade de Criciúma, sendo esta um dos principais pólos industriais no ramo da cerâmica. De Porto Alegre (RS), o acesso à área é feito pela BR-101 e, posteriormente, pelas rodovias SC-446 e SC-438. As cidades de Criciúma, Orleans ou mesmo Lauro Müller dispõem de infraestrutura adequada para apoiar as atividades básicas de campo (figura 1.1).

1.3 - O Contexto Litoestratigráfico da Área na Geologia Regional

A Bacia do Paraná, com área de 1.600.000 km², possui o maior registro de depósitos sedimentares Gondwânicos na América do Sul

(França & Potter, 1988). Apesar da grande espessura da coluna sedimentar, na ordem de 5.000m, composta principalmente por rochas de idade Paleozóica e secundariamente Mesozóica, a área aflorante restringe-se a praticamente 5% do volume de rochas devido a grande ocorrência do complexo de lavas basálticas pertencentes a Formação Serra Geral que cobrem a maioria destes sedimentos. A seção sedimentar aflorante, restringe-se praticamente as bordas da bacia, sendo a de interesse para esta dissertação a borda leste, onde afloram rochas pertencentes ao grupos Itararé, Guatá e Passa Dois (figura 1.2).

O seu preenchimento compreende seis superseqüências, separadas por discordâncias regionais que refletiram importantes paradas na sedimentação (Milani, 1997) (figura 1.3). Na região de Lauro Müller, as unidades litoestratigráficas aflorantes e testemunhadas em subsuperfície que compuseram os estudos da Estratigrafia de Seqüências pertencem ao Grupo Itararé (Formação Rio do Sul) e ao Grupo Guatá (formações Rio Bonito e Palermo).

O Grupo Itararé tem sido amplamente estudado ao longo destes anos, com diferentes propostas de classificações estratigráficas. França & Potter (*op. cit.*), propuseram uma nova subdivisão baseados em dados de subsuperfície de dezenas de poços, correlações estratigráficas interregionais e afloramentos em vários pontos da bacia. Com isso, foram individualizados três grandes ciclos deposicionais (inferior, médio e superior) correspondendo a três novas formações, denominadas de Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (tabela 1.1).

A Formação Taciba cujo Membro Superior denominado de Rio do Sul fora interpretado como de ocorrência localizada no estado de Santa Catarina, é considerada, atualmente, por França (*com. verbal*) de abrangência mais regional, podendo ser elevada à categoria de formação, tal como proposto por Schneider *et al.* (1974). A seção-tipo desta formação situa-se nas proximidades da cidade de Rio do Sul (SC), com espessura de 350 m, sendo constituída por argilitos, folhelhos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos.

Nos estudos de Castro (1994), nas regiões de Rio do Sul, Alfredo Wagner e Lauro Müller e, principalmente, nos trabalhos de correlação regional em subsuperfície de França & Potter (1988), todos interpretam a primeira incursão marinha já na porção mediana do Grupo Itararé (topo da Formação Campo Mourão). Evidências marinhas são também descritas para as rochas da Formação Rio do Sul, sendo identificados fósseis como braquiópodes, crinóides, foraminíferos (Schneider *et al.*, 1974) e Tasmanites (Castro, 1980, *apud* França & Potter, *op. cit.*).

Para a Formação Rio Bonito (Grupo Guatá), adotou-se a subdivisão apresentada por Schneider *et al.* (*op. cit.*), sendo dividida da base para o topo nos Membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. Ressaltam os autores que esta divisão é válida somente para o flanco leste da bacia.

O intervalo estratigráfico correspondente à Formação Palermo, definida originalmente por White em 1908, na vila homônima no Município de Lauro Müller (SC), praticamente não foi contemplado neste estudo, sendo descrito somente a sua seção basal (interface com o Membro Siderópolis), por constituir-se em um "datum" estratigráfico com assinatura bem característica em perfil de raios-gama.

1.4 - Trabalhos Anteriores

A Bacia do Paraná é uma das bacias paleozóicas brasileiras mais bem estudadas. Relacionar trabalhos anteriores, principalmente os de cunho litoestratigráfico, torna-se repetitivo, uma vez que já foram amplamente divulgados por diversos meios de comunicação científica (congressos, revistas especializadas, boletins técnicos, entre outros).

Além dos trabalhos de cunho acadêmico (tese de mestrado e doutorado), é digno de citação a realização do 2º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná (1995), onde se percebe uma maior contribuição de trabalhos com o enfoque da Estratigrafia de Seqüências.

Assim, para este item, os trabalhos anteriores ficaram restritos aos estudos mais recentes, cujo enfoque tenha sido dado principalmente à Estratigrafia de Seqüências das rochas do Grupo Guatá.

Excetuam-se a este critério aqueles trabalhos desenvolvidos sobre a Icnologia, os Argilominerais e a Geoquímica, áreas estas de interesse para esta dissertação, cujo trabalhos serão abordados com maiores detalhes nos itens respectivos.

1.4.1 - Estratigrafia de Seqüências

- Alves (1994), através da análise de dados de rochas da Formação Rio Bonito, em afloramentos e testemunhos de subsuperfície, na região de Candiota (RS), identificou seis parasseqüências de 4ª ordem contidas numa seqüência de 3ª ordem (Seqüência Alfa). Descreve a presença de vales incisos preenchidos, inicialmente, por depósitos do sistema fluvial, evoluindo para planície costeira com a presença de sistemas barreira/laguna com camadas de carvão associadas.

- Menezes (1994), trabalhando com testemunhos de sondagens, na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul (Bagé, Candiota, Pedras Altas e Herval), com rochas do Grupo Itararé e da Formação Rio do Rasto, interpretou quatro seqüências deposicionais de 2ª ordem (5-50 Ma), e dentro destas, cinco seqüências deposicionais de 3ª ordem. Atribuiu principalmente à eustasia, o caráter de principal agente modelador do arcabouço estratigráfico para o nível hierárquico de 2ª ordem.

A nível de 3ª ordem, não foram encontrados elementos de comparação que identificassem o agente geológico modelador. Ressalta o autor que movimentações tectônicas diferenciadas de blocos do embasamento que se equivalem em tempo, a esta hierarquia (0,5-5 Ma), ocorreram em diferentes regiões (Candiota, Uruguai; noroeste do Rio Grande do Sul e flanco nordeste da Bacia do Paraná).

- Lopes (1995), utilizando dados de rochas de superfície e subsuperfície das formações Rio Bonito e Palermo, na região entre Butiá e São Sepé (RS), definiu quatro seqüências deposicionais de 3ª ordem (3- 6 Ma).

A formação das superfícies erosivas foram atribuídas às movimentações tectônicas, as quais reativaram antigas zonas de fraqueza do escudo Sul-Rio-Grandense. Entre os esforços principais citam-se as movimentações tardihercinianas e o soerguimento isostático do escudo pelo recuo da capa de gelo, no final da glaciação Neocarbonífera/Eopermiana.

Foram interpretados os seguintes sistemas deposicionais principais: deltaico, estuarino, barreiras litorâneas a marinho raso e o sistema costa afora.

- Holz (1995), através de dados de subsuperfície das rochas da Formação Rio do Sul à base da Formação Irati, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Cachoeirinha, Gravataí, Osório, Capão da Canoa e Tramandaí), reconheceu quatro seqüências de 3ª ordem, delimitadas por discordâncias do tipo 1 e 2. Também identificou oito associações faciológicas (AF's), compreendendo fácies glácio-marinhas com leques aluviais associados, flúvio-estuarinas, mar raso e mar restrito.

Através da integração regional dos dados, interpretou um forte controle tectônico sobre a sedimentação, baseado no fato de que determinados limites de seqüências só ocorrem nas áreas vizinhas, estando ausentes na área em questão. Com isto, interpretou a presença de uma zona de subsidência diferencial, o que teria contribuído para a formação de diferentes contextos faciológicos da sedimentação, além de conferirem um certo diacronismo para algumas superfícies de inundação de 3ª ordem, quando correlacionadas a distâncias superiores a 200 km. Outro fato relevante, desenvolvido pelo autor, foi o de verificar uma relação entre o condicionamento do registro palinológico (relação pólen/espores) e os tratos de sistemas de mar baixo, transgressivo e alto.

Segundo o autor, mesmo com a baixa densidade de amostragem, foi possível verificar que o teor de esporos tende a aumentar significativamente em períodos de mar baixo, enquanto que os pólenes são

percentualmente mais significativos nas rochas de trato transgressivo e de mar alto.

- Etgeton (1997), trabalhando com o intervalo litológico do Permiano/Eotriássico, na área entre Tramandaí e Gravataí (NE do estado do Rio Grande do Sul), com dados de subsuperfície, reconheceu seis associações faciológicas mantendo boa semelhança com as associações anteriormente descritas por Holz (1995), por tratar-se da mesma área.

Identificou quatro seqüências deposicionais de 3ª ordem e duas de 4ª ordem, atribuindo em primeiro lugar, à eustasia o papel de agente controlador deste arcabouço.

Apesar dos esforços em utilizar a geoquímica de isótopos do carbono e do oxigênio, os resultados não foram animadores. Os valores anormalmente negativos para os isótopos de carbono e oxigênio prejudicaram a caracterização da passagem do Permiano para o Triássico. No entanto, serviram para ajudar a caracterizar o limite de seqüência da base da Formação Rio do Rasto.

- Milani (1997) apresentou um dos trabalhos mais amplos sobre a Bacia do Paraná. A evolução tectono-sedimentar foi integrada à evolução Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental, possibilitando, com isto, uma visão geotectônica mais integrada dos eventos, principalmente a dos cinturões orogênicos.

O estudo da subsidência, realizado em quatro diferentes situações geológicas, permitiu delimitar "ciclos" de subsidência mais rápida, intercalados a períodos de desaceleração, sendo este comportamento atribuído a influência da orogenia ao longo da fase de preenchimento da bacia.

Com isto, foram individualizados seis superseqüências de 2ª ordem (Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo), limitadas por discordâncias que marcam paradas significativas na sedimentação. Foram denominadas, da mais velha para a mais nova, de Superseqüências: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru.

Uma das contribuições mais importantes advindas desta análise mais regional foi a alternativa de se interpretar a Bacia do Paraná dentro do contexto de bacias tipo "foreland", a partir do Devoniano.

1.4.2 - Região de Lauro Müller (SC) e Adyacências

Diferentemente do estado do Rio Grande do Sul, onde atualmente existem vários trabalhos que se apoiam nos conceitos modernos da Estratigrafia, a região de Lauro Müller (SC), por sua vez, não apresenta, ainda, um acervo bibliográfico considerável.

Por estar situada dentro da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, existem inúmeros paredões de mina a céu aberto (municípios de Siderópolis, Criciúma e Lauro Müller), constituindo-se em áreas atrativas para diferentes estudos estratigráficos, desde o uso da estratigrafia física mais convencional, até a caracterização de rochas-reservatório.

Ressalta-se que a seção-tipo do Gondwana, na América do Sul, foi definida exatamente ao longo dos afloramentos que margeiam a estrada da Serra do rio do Rasto, através dos trabalhos pioneiros do geólogo I.C. White em 1908. Como herança geológica dessas pesquisas, originou-se, à época, um capítulo dedicado ao estudos destas rochas o qual foi denominada de "Sistema de Santa Catarina", compreendendo desde os "Conglomerados Orleans" (Grupo Itararé), até as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Tais trabalhos resultaram na elaboração da famosa Coluna White, referenciada como a coluna estratigráfica-tipo da Bacia do Paraná e de todo o Gondwana da América do Sul.

Compondo parte do que atualmente é a rodovia SC-438, esta antiga estrada, no trecho compreendido entre a cidade de Lauro Müller e os altos da Serra Geral, corta um extenso pacote de rochas sedimentares que representam as unidades litoestratigráficas desde a Formação Rio do Sul (Grupo Itararé), até os basaltos da Formação Serra Geral.

- Castro (1994) elaborou um roteiro geológico de campo, onde reedita, à luz de novas interpretações, os afloramentos pertencentes à Coluna White.

Este roteiro constituiu-se de grande utilidade durante a fase de aquisição de dados de campo para esta dissertação, pois possibilitou um acesso rápido ao conhecimento das unidades estratigráficas da seção-tipo da bacia, além de apontar alguns afloramentos que foram utilizados no arcabouço estratigráfico apresentado neste trabalho.

- Winter & Matte (1994), também estudando as rochas em subsuperfície da Formação Rio Bonito, na região do planalto catarinense identificaram superfícies estratigráficas chaves denominadas de SER (superfície erosiva transgressiva), SE (superfície de exposição subaérea) e SAM (superfície de afogamento marinho), as quais delimitam cinco seqüências deposicionais de 4ª ordem, estando compostas principalmente pelos tratos de mar baixo e transgressivo.

- Dias (1995), baseado nos ciclos de ocorrência das camadas de carvão no Membro Siderópolis na área da cidade de Criciúma (SC), subdividiu informalmente este Membro em três subintervalos: i-) associação litofaciológica superior (transgressivo); ii-) associação litofaciológica média (seqüência Barro Branco) e iii-) associação inferior (seqüência Bonito). Tal subdivisão deveu-se a reduzida escala de trabalho (1:25.000) e a grande espessura do Membro Siderópolis (100-125m), originando uma cartografia mais detalhada para monitorar as ocorrências das camadas de carvão.

- Della Fávera *et al.* (1995), valendo-se dos preceitos da Estratigrafia de Seqüências identificaram para os sedimentos das formações Rio Bonito e Palermo, na região de Criciúma, duas seqüências deposicionais de 3ª ordem compondo uma unidade maior de 2ª ordem.

- Matte (1995), estudando as rochas em superfície e subsuperfície da Formação Rio Bonito na região de Alfredo Wagner e Rio do Sul (SC), identificou onze seqüências deposicionais de alta freqüência (4ª ordem) dentro de um arcabouço estratigráfico transgressivo/regressivo.

A seqüência de 3ª ordem corresponde à Formação Rio Bonito, sendo dividida em três Tratos de Sistemas: i-) Mar Baixo, ii-) Transgressivo e iii-) Mar Alto. Foram atribuídos, para esta seqüência, fatores tectônicos e

climáticos como os grandes elementos controladores. Para as seqüências de 4ª ordem, atribuiu-se o controle glácio-eustático.

Matte (*op. cit.*) identificou dezenove litofácies, as quais foram associadas aos seguintes sistemas deposicionais: flúvio-estuarino, lagunar, baías, planície interdeltáica e ambiente de plataforma ("shoreface" superior, médio e inferior).

- Milani *et al.* (no prelo), estudando os afloramentos da Coluna White, no intervalo litoestratigráfico compreendendo as rochas do Grupo Itararé à Formação Palermo, delimitaram cinco seqüências deposicionais de 4ª ordem. Interpretaram a ocorrência de um vale inciso com limite erosivo feito nas rochas do Grupo Itararé (Seqüência I). O seu preenchimento deu-se através da sedimentação flúvio-estuarina da Formação Rio Bonito (Seqüências II, III e IV), culminando com a transgressão marinha da base da Formação Palermo.

2 - METODOLOGIA

A metodologia foi dividida sob dois enfoques: i-) Metodologia Estratigráfica, isto é, a forma de como o tema foi abordado dentro dos preceitos da Estratigrafia e ii-) Metodologia Operacional, na qual se trata das questões de normatizações e apresentações dos dados (seleção de poços, limites da área, escalas de descrição, equipamentos laboratoriais, tipos de análises, etc).

2.1 - Metodologia Estratigráfica

Uma boa análise em Estratigrafia de Seqüências depende fundamentalmente de dois princípios: - do entendimento dos conceitos básicos inerentes a esta ferramenta e - da forma de abordagem de uma sucessão estratigráfica.

Esta última pode ainda ser vista através de modelos cronoestratigráficos, baseados entre correlações locais e a carta do ciclo global de Haq *et al.* (1988), e pela análise e predição de litologias e padrões estratais (Posamentier & Allen, no prelo).

Para esta dissertação fez-se a opção sobre o uso da Estratigrafia de Seqüências aplicada ao estudo dos padrões estratais de empilhamento vertical das seqüências, admitidos como produtos de pulsos cíclicos transgressivos/regressivos. Dentro deste enfoque, o primeiro passo foi definir a escala de trabalho.

A despeito das várias propostas existentes na literatura para a hierarquia de eventos aloestratigráficos (Vail *et al.*, 1991), muitas delas refletem características e peculiaridades inerentes à própria região estudada. Ao se transportar estes modelos para outras áreas, trazem consigo características que necessariamente não refletem as novas condições geológicas testadas.

Assim, para manter coerência nos estudos da Bacia do Paraná, utilizou-se o arcabouço estratigráfico apresentado por Milani (1997), onde foi interpretado um conjunto de seis superseqüências, depositadas em ciclos tectono-sedimentares de 2ª ordem, limitadas por discordâncias de caráter inter-regional (tabela 2.1).

As formações Rio do Sul e Rio Bonito e a base da Formação Palermo, investigadas na área de Lauro Müller, estão inseridas dentro da Superseqüência Gondwana I (figura 1.3). Tomando como exemplo a própria Formação Rio Bonito, as datações bioestratigráficas fornecem seus limites temporais de deposição compreendidos do Sakmariano ao Kunguriano, (Milani *op. cit.*). Isto compreende, pelo menos, 20 Ma. Logo, qualquer trabalho de cunho estratigráfico na bacia que se utilize da marcação de eventos transgressivos/regressivos em ciclos menores estes estarão dentro de uma hierarquia de 3ª ordem.

Devido ao caráter cíclico de alta freqüência admitido, aqui, para o empilhamento estratigráfico, principalmente no topo da Formação Rio do Sul e na sua interface com a Formação Rio Bonito, o estudo foi refinado para uma hierarquia de quarta ordem, através de dados de rocha de testemunhos de subsuperfície e afloramentos.

Uma vez definida a escala inicial de trabalho, seguiu-se o cumprimento de algumas etapas fundamentais para o entendimento da aplicação conceitual. Para definir os limites do "quadro" geológico da região de Lauro Müller, tomou-se como referência a metodologia feita por Posamentier & Allen (no prelo), resumida em:

- Arcabouço Paleogeográfico: inicialmente, procurou-se relacionar a região estudada dentro do contexto geológico da borda leste da Bacia do Paraná. Utilizando a seção estratigráfica de Castro (1994),

constatou-se que o principal "sítio" deposicional na porção sul do estado de Santa Catarina está nas regiões de Alfredo Wagner e Rio do Sul, situadas ao norte da região de Lauro Müller (figura 2.1). Com esta visão mais ampla tornou-se mais "predutível" acompanhar a dinâmica da sedimentação e avaliar possíveis reflexos nas variações das associações de fácies sedimentares.

- Associação de Fácies e Ambientes Depositionais: foi a principal etapa. Suportou a maior parte da interpretação estratigráfica e direcionou o "estilo" de correlação feito entre os poços para se chegar ao modelo da evolução estratigráfica. Para isso, foram utilizadas as descrições de testemunhos, afloramentos e assinaturas de perfis de raios gama, os quais serão discutidos de forma detalhada dentro da metodologia operacional.

- Superfícies de Inundação e Limites de Seqüências: a definição destas superfícies vieram da integração da descrição sedimentológica desenvolvida na etapa anterior, somadas à interpretação dos dados de icnologia, argilominerais, geoquímica e *taphonomia* (pólens e esporos). A integração destas várias ferramentas, com o enfoque à Estratigrafia de Seqüências, foi um dos objetivos principais desta dissertação.

- Padrão de Empilhamento das Fácies e Identificação dos Tratos de Sistemas: uma vez definidas as principais superfícies estratigráficas (superfícies de inundação, limites de seqüência), partiu-se para a análise do padrão do empilhamento das fácies e a identificação dos tratos de sistemas.

Reunindo as interpretações obtidas nestas quatro etapas foi possível estabelecer o arcabouço estratigráfico da região de Lauro Müller, equivalente ao intervalo litológico da Formação Rio do Sul, Formação Rio Bonito e Base da Formação Palermo. As duas seções estratigráficas interpretadas, uma "strike" e a outra "dip", tiveram como "datum" de referência a base da Formação Palermo. A localização destas seções podem ser vistas na figura 2.2.

2.2 - Metodologia Operacional

Dois trabalhos foram básicos durante a fase inicial de planejamento e seleção dos dados. O primeiro foi o Projeto Borda Leste desenvolvido, pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM para a pesquisa de carvão mineral na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (Aborange & Lopes, 1986), na qual se insere a região estudada.

Através da verificação da malha de sondagem de 1 km por 1 km, foram selecionados os poços PB-18 e PB-20, por terem sido testemunhados, continuamente, ao longo de todo o intervalo de interesse.

Apesar da grande quantidade de furos de sondagem (na ordem de centenas), a grande maioria não atravessou toda a seção sedimentar, sendo interrompidos logo após a perfuração da camada de carvão Bonito, dentro do Membro Siderópolis.

O segundo trabalho, foi o roteiro geológico sobre a Coluna White (Castro, 1994), tendo sido de grande utilidade para o reconhecimento dos afloramentos pertencentes às formações Rio do Sul e Rio Bonito. Durante a primeira viagem de campo foi fundamental o apoio e a orientação dada pelo geólogo Antonio S.J. Krebs (CPRM), além de discussões sobre a geologia da borda leste da bacia.

2.2.1 - Dados de Campo

A cidade de Barro Branco serviu de limite sul para a área estudada uma vez que, a partir deste ponto, em direção ao município de Criciúma, a região está sob tema de outra dissertação de mestrado, ora em desenvolvimento pelo geólogo Paulo E. Vieira (Convênio Petrobras/UFRGS).

O limite leste é dado naturalmente pela embasamento aflorante da bacia. Com isso, foram incorporados os "conglomerados Orleans" e o afloramento onde se encontram as "Paredão das Esculturas"¹ situados na

¹ Paredão das Esculturas: afloramento no qual foram esculpidos os famosos painéis de motivos religiosos feitos pelo artista José Fernandes (Zé Diabo).

cidade de Orleans. Estes afloramentos são bons exemplos da ação de processos de fluxos gravitacionais nos sedimentos da Formação Rio do Sul.

No trecho Orleans-Lauro Müller, as investigações geológicas foram restritas somente ao longo da rodovia SC-438, na qual foram contemplados quatro afloramentos (pontos IV, V, VI e VII, figura 1.1).

O limite norte e oeste, é dado pela própria faixa aflorante da Formação Rio Bonito. Nestas áreas, existem vários cortes em leitos de rios/estradas marginais e paredões de minas sendo possível selecionar bons afloramentos. Tomando-se com referência a cidade de Lauro Müller, limitaram-se os trabalhos de superfície, nas suas imediações a uma área de 4 km² aproximadamente.

Os poços com testemunhos selecionados foram o PB-18 (270 m de rocha) e o PB-20 (255 m de rocha), situados 5 km a oeste e 8 km a norte da cidade de Lauro Müller, respectivamente (figura 1.1). As descrições foram feitas no galpão de guarda do acervo litológico da CPRM, localizado na cidade de Criciúma.

A escala de descrição utilizada foi de 1:100, sendo posteriormente reduzida para 1:200, durante a fase de correlação rocha-perfil (raios-gama).

O procedimento descritivo iniciou com a caracterização litológica, incluindo-se as feições sedimentares primárias e secundárias, para, em seguida, estabelecer as fácies, as associações de fácies e a interpretação dos ambientes deposicionais.

De posse desta primeira interpretação e com o apoio do perfil de raios-gama, foi realizada a amostragem nos principais intervalos radioativos, compreendendo dos pelitos da Formação Rio do Sul aos pelitos da base da Formação Palermo e totalizando 70 amostras para o PB-18 e 50 amostras para o PB-20. Posteriormente, uma nova seleção para estas amostras conforme o método analítico de interesse, foi encaminhada aos laboratórios da UFRGS/Geociências, da Petrobras/Cenpes e da Petrobras/E&P-AM.

Para as rochas aflorantes, além das descrições sedimentológicas, foi dada ênfase à geometria das seções siliciclásticas e ao

padrão de empilhamento vertical definido conjuntamente com o uso do cintilômetro, o qual foi gentilmente cedido pela CPRM. Ao todo, foram investigados cerca de 15 afloramentos, incluindo cortes de estradas, leitos de rio e "paredões" de minas de carvão.

A identificação das icnofábricas e sua interpretação dentro do contexto da bacia, seguiu a metodologia utilizada por Netto (1995). Utilizaram-se as dependências do laboratório da Unisinos, sob a orientação da Dr^a Renata Netto.

2.2.2 - Dados de Laboratório

2.2.2.1 - Análise dos Argilominerais

As 24 amostras selecionadas no PB-18, foram analisadas no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (Cenpes) da Petrobras, no Setor de Geologia de Rochas-Reservatório (Segres).

O método utilizado foi o de Difração de Raios-X da mineralogia total (método do pó) e da fração argila (fração inferior a 2 micra). Seguiu-se a fase de preparo e interpretação dos difratogramas de acordo com os procedimentos demonstrados na Comunicação Técnica 76/98 (Anjos & Mencarelli).

As 21 amostras selecionadas no PB-20, tiveram os seus difratogramas realizados no laboratório de DRX da UFRGS/Geociências, em equipamento Diffraktometer, modelo D-5.000 (Siemens). A etapa de interpretação dos dados foi feita com a colaboração dos técnicos do Cenpes/Segres.

2.2.2.2 - Análise Geoquímica

As 35 análises de elementos maiores e menores das amostras do PB-18, foram realizadas no Cenpes/Diquim (Divisão de Química), através do Espectrômetro de Fluorescência de Raio-x, marca Philips, modelo PW, tubo de ródio (Rh). Excetua-se a este método, o elemento químico boro, para o qual foi utilizado um Espectrômetro de Massa Perkin Elmer - Elan 6000, segundo a técnica analítica denominada de ICP-MS ("inductively coupled plasma-mass spectrometer").

Parte do volume destas amostras foi enviada ao Laboratório de Geologia da Petrobras/E&P-AM e submetidas à análise de calcimetria no equipamento denominado de Manocalcímeter (Geoservice). Para a reação com as amostras foram, utilizadas ampolas de ácido clorídrico a 17,5%.

Por sua vez, as 33 análises de elementos maiores e menores do PB-20 foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da UFRGS/Geociências, em um equipamento modelo Rigaku RIX 2000, com tudo de Ródio (Rh) e anodo refrigerado.

Para este poço, foram incorporados na apresentação formal desta dissertação tão somente os resultados da razão entre os elementos químicos estrôncio e bário. Os resultados dos elementos maiores foram entretanto utilizados nos estudos de comparação com os resultados do PB-18.

2.2.2.3 – Análise Palinológica

A confecção de 65 lâminas palinológicas foi feita no Laboratório de Geologia da Petrobras/E&P-AM. A quantificação e os estudos de *taphonomia* dos palinomorfos foram do mérito da Dr^a Marleni Toigo (UFRGS/Geociências). Coube ao autor desta dissertação, a integração destes resultados às demais ferramentas utilizadas dentro dos preceitos da Estratigrafia de Seqüências.

3 - ASSOCIAÇÃO FACIOLÓGICA

3.1 - Considerações

A utilização do conceito de fácies, que na sua forma simplificada é rerepresentada por Reading (1996) como "... corpo de rocha com características específicas", tem sido aplicado das mais variadas maneiras. Em linhas gerais, pode contemplar três grandes atributos: i-) Físicos (litologia, estruturas e biológicos); ii-) Genético onde enfatiza o processo formador do registro rochoso (ex.: fácies turbidítica; fácies trativa, fácies de suspensão, etc) e iii-) Ambiental onde ressalta o ambiente deposicional no qual determinado corpo rochoso foi depositado.

Por tratar-se de um termo introduzido na Geologia há mais de cem anos (Gressly, 1838, *apud* Reading, *op. cit.*), foi aplicado ao longo deste tempo de diferentes maneiras por diferentes grupos de geólogos.

Entre estes, podem ser citados três grandes grupos: - o primeiro, formado por Ingleses/Holandeses/Shell; o segundo, formado por especialistas com atuação na Costa do Golfo (USA), e o terceiro, representado pela Escola Cratônica/North Western/Exxon. Cada grupo tinha uma visão própria do conceito de fácies, o qual foi tremendamente influenciado pelos "estilos" geológicos das bacias sedimentares onde cada grupo atuava.

Walker & James (1992), em trabalho de atualização conceitual de modelos faciológicos, consideram a variação relativa do nível do mar, como um atributo importante. Sugerem ainda, uma maior utilização dos limites de discontinuidades (aloestratigrafia), mais até que a própria homogeneidade litológica interna, como o atributo principal para a faciologia, dando assim um maior dinamismo aos modelos dos ambientes deposicionais.

3.2 - Caracterização das Associações Faciológicas

Os diversos trabalhos existentes na área de estratigrafia e sedimentologia na Bacia do Paraná podem ser divididos, em linhas gerais, em duas grandes categorias: i-) aqueles que inicialmente optaram por caracterizarem as fácies através dos atributos físicos (Stevaux, 1986; Canuto, 1993, Lopes, 1995, Matte, 1995, entre outros) e ii-) aqueles que optaram pela caracterização das fácies através do contexto paleoambiental (Alves, 1994 e Holz, 1995, entre outros).

Holz (*op. cit.*) descreve a faciologia através de agrupamento de sucessões faciológicas para a melhor compreensão do empilhamento das rochas de idade Eopermiana no nordeste do Rio Grande do Sul. Interpreta oito associações faciológicas, relacionando-as com o contexto deposicional na qual foram depositadas (e.g. Associação Faciológica I: ritmitos lacustres e leques aluviais, etc).

Esta metodologia facilita a ordenação de idéias quando se trabalha com algumas centenas de metros de rochas (testemunhos e afloramentos), trazendo ao leitor maior facilidade de assimilação do contexto geológico. Alia-se a isto, o fato de simplificar a construção dos tratos de sistemas e das seqüências deposicionais, conforme lembrado por Holz (*op. cit.*).

Desta forma, entre os "estilos" de apresentação de fácies citados anteriormente, optou-se, para esta dissertação, por uma descrição para a associação faciológica que privilegia o paleoambiente, semelhante a adotada por Holz (*op. cit.*), por contemplar dois aspectos principais: i-) trabalha com as associações faciológicas e nelas, internamente, apresenta o conteúdo descritivo dos litotipos, tornando a leitura mais prazerosa e ii-) os intervalos cronoestratigráficos estudados por Holz (*op. cit.*) e os desta dissertação são cronoequivalentes, na sua porção média-inferior, abrangendo as unidades litoestratigráficas das formações Rio do Sul e Rio Bonito. Esta pretensa padronização para as associações faciológicas entre as duas áreas poderá facilitar trabalhos futuros de integração regional.

3.2.1 - Associação Faciológica I (AF-I): Glácio-Marinha/Fan-Deltas

A seção sedimentar em subsuperfície, perfurada pelos dois poços (PB-18 e PB-20), assenta-se de forma discordante sobre o embasamento de composição granítica. Estes poços apresentam empilhamento vertical diferenciado entre si. Os litotipos reconhecidos para esta associação pertencem à Formação Rio do Sul (Grupo Itararé).

Os quatro grupos principais de litotipos identificados em testemunhos e afloramentos foram: i-) folhelhos sem seixos pingados; ii) folhelhos com seixos pingados; iii-) folhelhos (ou siltitos), interlaminaados com arenitos muito fino com aspecto "rítmico" e iv-) seção areno-conglomerática (estampa 3.1).

Na área do poço PB-18, o registro da sedimentação inicial está representado por um pacote de 7 m de espessura de folhelho preto, carbonoso, com raras lentes de arenito muito fino e ocorrência localizada de pulsos centimétricos de diamictito com fragmentos centimétricos de rochas ígneas (seixos pingados). Superimposta a estes pelitos e em contato erosivo, encontra-se depositada uma seção de 3,5 m de espessura de conglomerado polimítico, matriz arenosa, com granodecrescência ascendente, passando a arenito de granulometria média. São descritos estruturas de escorregamento, fluidização, estratificação cruzada de pequeno porte e filmes argilosos, apontando para um subambiente canalizado em condições subaquosas para a sua deposição, sob a influência de maré.

Esta associação faciológica é finalizada neste poço com a ocorrência de 3,5 m de espessura de folhelho cinza-escuro/preto, de ritmicidade milimétrica com freqüentes seixos pingados.

Na área do PB-20 (estampa 3.1), o registro da sedimentação inicial está representado através de uma seção, com 5 m de espessura, de conglomerado polimítico com fragmentos de dimensões de até 8 cm, matriz areno-argilosa, de granulometria fina a média. São observadas feições trativas, principalmente nos níveis mais silticos. Gradações inversas

localizadas, fluidizações e feições de escorregamentos denotam atuação de processos rápidos de sedimentação, tipo fluxos gravitacionais.

Fraturas preenchidas por calcita e piritização são freqüentes, sendo associadas a eventos diagenéticos posteriores. Distinguem-se, pelo menos, cinco pulsos conglomeráticos em escala centimétrica, com base erosiva e em ciclos granodecrescentes ascendentes, passando a arenito finos a muito-fino, com estratificações de correntes (cruzadas acanaladas de pequeno porte) e "ripples" unidirecionais.

Sobreposto a este intervalo ocorre uma seção relativamente contínua, de 12 m de espessura, com arenito de coloração creme-clara, caolinítico, aspecto pintalgado, de regular a boa seleção, com clastos argilosos dispersos, com estratificações cruzadas acanaladas, plano-paralelas (?) e filmes de argilas. Secundariamente, são descritos estruturas de escape de fluidos e escorregamentos. Estruturas tipo "hummocky" podem ser observadas na passagem desta seção para as rochas interlaminaadas sobrepostas.

Esta associação é finalizada no PB-20, com o registro de 16 m de espessura de interlaminaados de folhelho preto e arenito muito-fino com freqüentes seixos pingados (mm-cm). Descrevem-se, ainda, estruturas de escape de fluido e escorregamento. O contato interlaminar é normalmente abrupto e, internamente, há a tendência ao desenvolvimento da gradação normal.

Em superfície, foram interpretados como pertencentes à Associação Faciológica I (AF I), as rochas dos seguintes afloramentos:

- Ponto I: Rodovia Criciúma-Orleans (SC-446). Afloramento em corte de estrada (3 km de Orleans). É constituído de interlaminaados (aspecto rítmico) de folhelho cinza-escuro, síltico e arenito fino com seixos pingados de tamanhos variados (centimétricos a matações).

- Ponto II: "Conglomerado Orleans", margem direita do rio Tubarão, na cidade de Orleans. De ocorrência restrita a esta área, encontra-se depositado, de forma discordante sobre o embasamento, um pacote de rochas de aproximadamente 10 a 12 m de espessura. A seção inferior é constituída por pulsos areno-conglomeráticos polimíticos, de espessura

métrica, com abundância de grânulos, seixos e matações de rochas granítico-gnáissicas e básicas, angulosos-subangulosos, matriz suportado (areno-argilosa). Intercalam-se camadas centimétricas a métricas de arenito de granulometria média a muito grosseira, com níveis contínuos de seixos centimétricos alinhados (fotos 3.1 e 3.2).

Formas canalizadas, estratificações cruzadas acanaladas, gradações inversas e laminações plano-paralelas podem ser observadas ao longo de uma descrição vertical do afloramento (fotos 3.3 e 3.4). As três medidas tomadas da paleodireção das formas canalizadas indicam a direção NW/SE.

Recobrimo esta seção inferior ocorrem camadas de arenito com 2 a 3 m de espessura (estimada), branco-amarelado (cores de alteração), de regular a boa seleção, friável, com laminações plano-paralelas.

- Ponto III: Paredão das Esculturas - Estrada marginal ao rio Tubarão em direção ao terminal de Orleans. Este afloramento de 10 m de espessura, aproximadamente, é posicionado, estratigraficamente, acima dos "Conglomerados Orleans" descritos anteriormente. A seção inferior está constituída por vários lobos sigmoidais de arenito quartzo-feldspático, grosseiro a muito grosseiro, intercalados a lobos arenosos, conglomeráticos, separados por níveis argilosos de boa continuidade lateral (fotos 3.5 e 3.6). Estratificações cruzadas de médio porte, marcas de onda de crista reta com paleocorrente N350°W e "drapes" argilosos também são observados.

A seção superior está representada por arenito branco-amarelado, muito fino, maciço (?), friável. Sua espessura não foi estimada devido ao difícil acesso. Segundo informações do geólogo Sérgio Leites (CPRM), esta seção apresenta boa continuidade lateral nas circunvizinhas da cidade de Orleans.

3.2.1.1- Ambiente Depositional

O que é conhecido como "Conglomerado Orleans" (Castro, 1994) está sendo interpretado, nesta dissertação, como um depósito formado pela diferenciação a partir de transformações de fluxos gravitacionais (fluxos detríticos coesivos, Mutti, 1992). Os seixos e matacões estão suportados pela força da matriz areno-argilosa, e resultante do "congelamento" por coesão e fricção dos grãos de rocha (fácies F2, Mutti, 1992). Por sua vez, as camadas de arenito associadas com níveis de seixos alinhados constituem a fácies F4 (figura 3.1).

Estes depósitos areno-conglomeráticos podem estar geneticamente ligados às rochas da seção inferior do afloramento do "Paredão das Esculturas" (ponto III), compondo um bom exemplo de processos deposicionais tipo transformações de fluxos.

Tradicionalmente, o afloramento do Paredão das Esculturas tem sido interpretado com pertencente ao sistema flúvio-deltaico clássico (Castro, *op. cit.*).

Mutti *et al.* (1994) demonstraram que depósitos produzidos por processos de enxurradas catastróficas (fluxos hiperconcentrados, correntes de turbidez de alta e baixa densidade) são bastante comuns em bacias tectonicamente ativas. Muitas vezes são subestimados ou mesmo omitidos em uma interpretação de um perfil "upstream" do sistema fluvial. Tais fluxos podem ser "disparados" por ações dos seguintes mecanismos: - chuvas torrenciais, - degelo da própria geleira ou mesmo da neve.

A *priori*, existem dois grandes ambientes deposicionais nos quais estão referenciados estas transformações: i-) fan-deltas ("flood-dominated fan-delta") e ii-) sistemas flúvio-deltaicos ("river-delta systems") (Mutti *et al.*, 1996). Apesar de algumas diferenças marcantes na evolução da formação das fácies, a fase inicial nas duas situações é caracterizada por fluxos detríticos coesivos e hiperconcentrados (figuras 3.2 e 3.3).

Esses autores reconhecem ainda a presença de camadas arenosas, mais finas, que podem formar dois tipos de associações básicas:

i-) barras sigmoidais (figura 3.4) e ii-) lobos fluviais. A construção de uma ou outra associação vai depender da relação do volume de sedimentos versus o volume da fase aquosa. Quando há o predomínio do volume de sedimentos sobre o volume da fase água, durante o fluxo, desenvolvem-se as barras sigmoidais. De forma inversa, quando há o predomínio do volume da fase aquosa sobre o volume dos sedimentos, há a tendência de se formarem lobos fluviais.

Pelas características texturais, geometria dos corpos e pela pretensa associação vertical aos "Conglomerados Orleans", as rochas da seção inferior/média do "Paredão das Esculturas" situados na margem oposta do rio Tubarão (ponto III) podem ser interpretadas dentro da primeira associação (barras sigmoidais), evoluídas a partir de processos de diferenciação de fluxos gravitacionais, conforme demonstrado nas figuras 3.2. 3.3 e 3.4.

Em subsuperfície, a seção areno-conglomerática nos poços PB-18 e PB-20 também foi associada à atuação de processos de fluxos gravitacionais. Tais processos estavam originalmente associados ao material de degelo, os quais evoluíram, por transformações de fluxo, para correntes de turbidez arenosa de baixa densidade. Estas, por sua vez, foram as responsáveis pela deposição dos estratos interlaminados de aspecto rítmicos desta associação.

Os seixos pingados associados aos ritmitos e aos folhelhos bacinais foram provenientes de "rain-out" resultante da presença de geleiras na bacia, conforme modelo apresentado por Eyles *et al.* (1993).

Com base na identificação destes processos, idealizou-se para a formação dos depósitos da AF-I um paleoambiente glácio-marinho com sistemas de fan-deltas associados (figura 3.5).

Holz (1995) interpretou na região nordeste do Rio Grande do Sul, um modelo deposicional semelhante para o intervalo cronoequivalente, onde a atuação de processos de fluxos gravitacionais e correntes de turbidez também tiveram forte atuação.

3.2.2 - Associação Faciológica II (AF-II): Plataforma Marinha com "Hummocky"

Nesta associação foram englobados duas seqüências plataformais: - a plataforma marinha rasa, pertencente à Formação Rio do Sul (AF-IIa) e a plataforma marinha rasa equivalente ao Membro Paraguaçu da Formação Rio Bonito (AF-IIb). O registro sedimentar destas plataformas forma as maiores espessuras de toda a seção analisada.

A AF-IIa, com espessura máxima de 51 m no PB-20 (intervalo 175/226 m), é constituída por uma seqüência onde se alternam lâminas ou mesmo camadas milimétricas/centimétricas de siltito (secundariamente folhelho) cinza-esverdeado, cinza-escuro, com arenito fino a muito. O contato basal entre estes dois litotipos é normalmente abrupto e, dentro das finas camadas, observa-se gradação normal. Ocasionalmente, registra-se a ocorrência de "linsen" com fluxo oscilatório, principalmente no topo do intervalo, próximo a passagem para a AF-III.

A estrutura sedimentar dominante é a "hummocky" (HCS) e, secundariamente, estruturas de correntes unidirecionais. O contato inferior com a AF-I e o superior, com a AF-III, tende a ser gradacional.

Em relação a AF-I, observa-se a ausência de seixos pingados e diamictito e, ao mesmo tempo, um aumento relativo de arenito na razão arenito/siltito(folhelho) dentro das interlaminações. A assinatura em perfil de raios-gama é relativamente monótona (60-80 API) (estampa 3.2).

A AF-IIb, por sua vez, é representada principalmente pelos sedimentos do Membro Paraguaçu. Nos dois poços descritos, a sua espessura máxima é de 74m (PB-18). A exemplo da AF-IIa, também é formada por camadas de pequena espessura e por interlaminados de siltito cinza-esverdeado com arenito cinza-esbranquiçado, granulometria fina a muito fina. A estrutura dominante é a HCS (estampa 3.3). Secundariamente, podem ocorrer microlaminações cruzadas cavalgantes, feições de escorregamento e fluidizações.

Diferentemente da AF-IIa, cujo registro sedimentar foi feito de forma contínua, a AF-IIb pode também ocorrer intercalada a outras associações. O melhor exemplo são os dois afloramentos situados na rodovia SC-434, na saída da cidade de Lauro Müller em direção a Guatá² onde estão associadas as AF's IV/V (fotos 3.7, 3.8 e 3.9).

A seção inferior do primeiro afloramento é constituída por argilito cinza-esverdeado que passa verticalmente para interlaminações de arenito fino/siltico com argilito. Apresentam estruturas de onda tipo "wavy" e "linsen", "climbing wave ripples", estruturas em chamas e fluidizações. "Hummocky" de pequeno porte pode ser identificado nas porções mais arenosas, apesar do "desmanche" do afloramento. Estas litofácies representam o registro da sedimentação plataformar da AF-IIb (foto 3.9)

Assentado de forma erosiva sobre os pelitos da AF-IIb (foto 3.8), encontra-se um espesso pacote (5 a 6 m de espessura), de arenito branco-amarelado, granulometria grossa a conglomerática, quartzo-feldspático, caolinítico, padrão granodécrescente ascendente, estratificação cruzada acanalada. Trata-se da sucessão de vários corpos amalgamados, separados por camadas argilosas de pequenas espessura (cm), sendo interpretados dentro do contexto do sistema fluvial (AF-V). O sentido de mergulho das camadas é de 280-340° (foto 3.7).

O segundo afloramento, distando 400 m do primeiro (sentido para a cidade de Guatá), apresenta na sua seção média-inferior um intervalo de arenito de granulometria fina, ortoquartzítico, boa seleção, friável, com estratificação plano-paralela a cruzada de baixo ângulo. Foram interpretados como tendo sido depositados em ambiente litorâneo (praia).

Esta seqüência (flúvio/litorânea) é novamente recoberta por sedimentos siltico-argilosos com HCS, sinalizando o retorno das condições plataformais. Tal constatação foi feita em caminhamentos de campo nas imediações da própria cidade de Lauro Müller.

Uma característica importante da AF-IIb, em subsuperfície, é a sua excelente correlação lateral, constituindo-se em um intervalo

² correspondem aos pontos 2 e 3 do roteiro geológico de Castro (1994).

transgressivo regional, encerrando, na sua porção mediana, uma superfície de inundação máxima de 3ª/4ª ordem (ver item 8.5).

3.2.2.2 - Ambiente Depositional

Conceitualmente, os sistemas marinhos rasos no qual se enquadra esta associação comportam uma grande variação de sistemas deposicionais que vão desde o ambiente de praia até o “shoreface” externo (Walker & James, 1992). São ainda tremendamente sensíveis às flutuações do nível do mar podendo facilmente desenvolver superfícies erosivas, graças ao perfil relativamente raso no qual se desenvolvem, tal como as plataformas modernas, mares epíricos e as partes rasas das bacias “foreland” (Walker & James, *op. cit.*).

Baseado no predomínio da estrutura HCS, o ambiente interpretado para a AF-II foi de uma plataforma marinha rasa, dominada por tempestades, situando-se dentro na parte “offshore”/“shoreface” inferior.

Myrow & Southard (1991), em estudos de modelagem laboratorial para explicar a grande variação de estratificações em arenitos plataformais (46 tipos de combinações), concluiu que HCS podem ser gerados a partir da combinação de fluxos oscilatórios e unidirecionais, baseado nas suas histórias iniciais de velocidades e subsequente desaceleração.

Esta concepção de fluxos oscilatórios vem ganhando cada vez mais adeptos na comunidade científica (Cheel, 1991; Duke, Arnott & Cheel, 1991, *apud* Reading, *op. cit.*), cujo modelo para a formação dos depósitos pode ser simplificado em quatro etapas: 1-) erosão basal inicial dos sedimentos devido à ação dos fluxos combinados, gerando a formação de marcas de sola e intraclastos; 2-) formação do principal depósito tempestítico com a estrutura tipo “hummocky”, ainda sob a ação de fluxos combinados 3-) depósitos “esmaecidos” com presença de “ripples” de onda (padrões de cristas retas e bifurcadas), indicando um retorno ao regime de

fluxo inferior das correntes oscilatórias e 4-) deposição de pelitos pós-tempestitos (figura 3.6).

3.2.3 - Associação Faciológica III (AF-III): Arenitos de “Shoreface” Médio/Superior

A ocorrência desta associação, em subsuperfície, está limitada ao topo da seqüência plataformal da AF-IIa, sendo o contato entre ambas feito de forma transicional. A bioturbação intensa, bem como a ausência de feições sedimentares tipicamente trativas do sistema fluvial, serviram de atributos para individualizar esta associação da AF-V (flúvio-estuarina).

É constituída por arenito cinza-esbranquiçado/esverdeado, granulometria fina a muito fina e de boa seleção. As principais estruturas sedimentares observadas são originadas pela ação de maré e de ondas tais como “ripples” de corrente, filmes argilosos (“drapes”) e HCS. Os intervalos bioturbados apresentam Icnofábricas dominantes de *Theichichnus* e *Thalassinoides* (estampa 3.4).

A sua assinatura em perfil é tipicamente progradacional e agradacional (PB-18, intervalo: 205/221m, estampa 3.4).

A correlação lateral em subsuperfície dependerá da presença, ou não, de superfícies erosivas (limites de seqüências) superimpostas que caracterizam a passagem entre as formações Rio do Sul e Rio Bonito. Em determinadas situações, tanto a AF-IIa como a AF-III encontram-se ausentes, como é o caso da área perfurada pelo poço RL-6 (Rio Laranjeiras nº 6). A análise sobre a evolução das seqüências deposicionais e os limites erosivos associados serão melhor discutidos no item 8.

Em superfície, foram englobados nesta associação os seguintes afloramentos nesta associação:

- Ponto IV: situado a 700 m do trevo de Orleans na margem direita da rodovia SC-438 no sentido de Lauro Müller (figura 1.1). É constituído por arenito branco-amarelado, fino, boa seleção, friável, com estrutura dominante plano-paralela. A leitura de cintilometria (contagem total)

registrou valores de 20-25 cps (ciclos por segundo), considerados relativamente baixos e representativos de areias relativamente "limpas", isto é, sem argilidade. As quatro medidas de atitudes de camadas apontam sentido geral para NNW, com 5° de mergulho (foto 3.10).

- Ponto V: situado a 8 km do trevo de Orleans na margem esquerda da rodovia SC-438 (figura 1.1). É constituído por arenito branco, fino de regular a boa seleção, friável e com estratificações plano-paralelas. Apresenta na seção mediana corpos com geometria sigmoidal, com estratificações cruzadas (?), depositados sobre uma superfície contínua argilosa, de coloração avermelhada (foto 3.11). A cintilometria mostrou valores na ordem de 40 a 50 cps.

- Ponto VI: situado a 3 km de Lauro Müller, na SC-438 (Orleans-Lauro Müller). É constituído por arenito médio a grosseiro, avermelhado, argiloso, caolinítico com estratificações de grande a médio porte, tabulares a tangenciais (fotos 3.12 e 3.13).

- Ponto VII: localizado no leito do rio Tubarão na cidade de Lauro Müller. É representado por uma seqüência de corpos arenosos, amalgamados, de granulometria muito grosseira, caoliníticos. Predominam as estratificações tabulares e tangenciais na base, com geometria sigmoidal. O sentido da paleocorrente medida nestes corpos é de 180/220° (foto D da estampa 3.5).

3.2.3.1 - Ambiente Depositional

Para os intervalos da AF-III, analisados nos poços PB-18 e PB-20, o uso da Icnologia foi de grande importância para a definição paleoambiental. O amplo predomínio das Icnofábricas de *Thalassinoides*, *Teichichnus* e *Planolites* (Icnofácies *Skolithos/Cruziana*), possibilitaram o seu posicionamento dentro do contexto marinho plataformar de "shoreface" médio/superior, em ambiente bem oxigenado e de alta energia. As discussões paleoambientais mais detalhadas serão abordadas no item 4, que trata do uso da Icnologia.

O predomínio das feições de maré sobre as feições HCS, a sua ocorrência relativamente espessa (15 m no PB-20), além do seu caráter progradacional/agradacional, evidenciando um razeamento do sistema, sinalizam variações paleoambientais importantes na bacia.

De fato, como será melhor discutido na Análise Estratigráfica dos Pulsos Transgressivos/Regressivos (item 8), a partir deste intervalo, variações cíclicas do nível do mar de alta frequência (4ª ordem) parecem modelar a arquitetura do arcabouço estratigráfico.

3.2.4 - Associação Faciológica IV (AF-IV): Pelitos Marinho/Marinho Marginal

Pemberton (1992) denomina de ambiente marginal os subambientes tipo planície costeira, planície de maré, e baía interdistributária que coexistem em um ambiente estuarino, tal a sua complexidade em individualizá-los.

Adotou-se esta nomenclatura para denominar os sedimentos pelíticos (folhelho e siltito) cinza-escuros, pretos, carbonosos, com restos vegetais, marcas de raízes, concreções piritosas e bioturbações moderadas. Podem ocorrer intercalações de arenito, muito-fino, levemente calcífero. As estruturas observadas são "climbing ripples" de correntes de maré, com feições de truncamentos ocasionais (estampa 3.6).

Estes pelitos formam boa parte dos marcos argilosos identificados nos perfis de raios-gama. Quando recobrem as barras estuarinas das AF-V, formam conjuntos de parasseqüências retrogradacionais bem definidos nos perfis.

3.2.4.1 - Ambiente Deposicional

A região de interflúvio, como é conhecida a área deposicional de baixa energia situada dentro de regiões estuarinas, é bastante complexa, tal a presença de vários subambientes de difícil separação.

As planícies de maré formam longas faixas na linha de costa, sendo mais desenvolvidas em regimes de macromaré e em costas lamosas de baixo gradiente (Reading, 1996). Compreendem boa parte das planícies deltaicas, lagoas, estuários, bacias, e planícies lamosas.

São divididos em duas zonas principais: supramaré, acima do nível da maré alta e intermaré, compreendida entre os níveis máximos de maré alta e baixa. Os canais estuarinos, por sua vez, ficam normalmente na zona de inframaré.

Pelas feições sedimentares observadas na AF-IV e pela sua associação com as demais fácies, interpretou-se, para esta associação, um predomínio do perfil de inframaré/ intermaré.

Um ponto relevante sobre estes intervalos argilosos é o de definir o grau da influência marinha e com isto estabelecer a relação de pulsos transgressivos/regressivos. Para isto, utilizou-se a Icnologia, os Argilominerais e a Geoquímica com os objetivos de analisar a dinâmica de sedimentação. Cada um destes métodos terá seus resultados analisados de forma específica, nos itens 4, 5 e 6, sendo posteriormente integrados a uma interpretação conjunta dentro da Estratigrafia de Seqüências.

3.2.5 - Associação Faciológica V (AF-V): Flúvio-estuarina

Esta associação é a que apresenta o maior número de recorrências verticais ao longo do intervalo analisado. Pode ser descrita tanto nos testemunhos dos poços como em afloramentos, principalmente nos paredões das minas a céu aberto, em rochas do Membro Siderópolis.

Em subsuperfície, é constituída por arenito creme-claro, com granulometria que varia de grosseiro a muito grosseiro (PB-18, intervalo 74/84 m) e média a fina (PB-18, intervalo 57/66 m). A composição principal é quartzo-feldspática e, secundariamente, mica, caolinita e clastos centimétricos de pelitos (argilosos ou carbonosos), ocorrendo, principalmente, nas bases dos canais. Estratificações cruzadas, laminações onduladas e filmes argilosos são bastantes comuns (estampa 3.7).

Quanto à presença de icnofábricas, há um nítido predomínio da *Ophiomorpha* ao longo das recorrências verticais desta associação, principalmente no poço PB-20.

O intervalo 110/125m no PB-20 mostra uma sucessão de corpos amalgamados, com espessuras variando de 1 a 2 m, em padrão granodecrescente ascendente discreto. A natureza dos contatos com as litologias subjacentes é normalmente erosiva ou abrupta.

Em superfície, são vários os afloramentos que ilustram esta associação. Entre eles, estão os "paredões" das minas a céu aberto onde diversas companhias atuam na exploração das três principais camadas de carvão: Bonito, Irapuá e Barro Branco (seção superior da Formação Rio Bonito, Membro Siderópolis), constituindo-se em excelentes áreas para estudo de geometria e padrões de empilhamento de depósitos siliciclásticos.

O afloramento mais representativo da AF-V, correspondendo às primeiras incursões flúvio-deltaicas da Formação Rio Bonito (Mb Triunfo) na área, situa-se na rodovia SC-438, na cidade de Lauro Müller (estampa 3.5).

A sua seção basal é constituída por uma sucessão de vários corpos de arenito com geometria sigmoidal de espessura métrica, coloração cinza claro-escuro, granulometria média a fina, de composição quartzo-feldspática, assentados em discordância erosiva sobre os pelitos da Formação Rio do Sul (AF-III e AF-IV), bem delimitada no afloramento.

Estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte são descritas na base destes corpos sigmoidais. Secundariamente, observam-se nos intervalos areno-argilosos intersigmoides, "ripples" de corrente e filmes argilosos contínuos, de espessura milimétrica/centimétrica. As medidas de paleocorrentes nas estratificações cruzadas são para SW (250° e 230°, Castro, 1994).

Não foi possível descrever o afloramento na sua porção mediana-superior, devido a dificuldades de acesso (vegetação existente e topografia íngreme). Mas, estima-se uma altura de aproximadamente de 20 a 30m com afinamento para cima, na espessura destes corpos sigmoidais associados a um aumento na presença de pelitos.

Os demais afloramentos, comentados a seguir, estão estratigraficamente posicionados na seção superior da Formação Rio Bonito (Mb. Siderópolis).

A mina Boa Vista, situada a 1 km ao norte da cidade de Lauro Müller, apresenta na seção inferior-média da sua principal "parede", um grande conjunto de corpos de arenito com coloração branco-amarelada, granulometria fina-média e espessura vertical do intervalo na ordem de 3 a 4m (fotos 3.14 e 3.15). Os contatos inferior e superior com as demais associações de fácies são abruptos. O sentido de três medidas de paleocorrente tomadas no topo de algumas sigmóides foi de 20°.

A mina da Rocinha (ponto IX), situada a 2 km a oeste de Lauro Müller, próximo as margens do rio homônimo, apresenta excelentes exposições desta associação flúvio-estuarina. Além disso, pode-se observar a forte influência de processos de maré, principalmente pela presença contínua de pares de filmes de pelitos carbonosos. Corpos arenosos com geometria sigmoidal e ricamente construídos com estruturas de "tidal bundles" são os melhores registros da influência da maré nesta associação (fotos 3.16 e 3.17).

O afloramento situado na rodovia SC-438 (Lauro Müller-Guatá), a 1,9 km da Lauro Müller (ponto X)³, representa uma associação em granodecrescência ascendente de arenito de granulometria grosseira, com estratificações cruzadas de médio porte, passando a folhelho cinza-esverdeado. Esta associação está relacionada a um sistema fluvial. O conjunto está capeado pela camada de carvão Bonito com espessura aproximada de 3 metros (foto 3.18).

3.2.5.1 - Ambiente Depositional

Antigos depósitos estuarinos não eram amplamente reconhecidos pela falta de uma padronização da terminologia, além da

³ corresponde ao ponto 4 do roteiro geológico de Castro (1994).

própria complexidade em se tratar com ambientes transicionais (Clifton, 1982, Zaitlin & Shultz, 1990, *apud* Dalrymple *et al.*, 1992).

Dalrymple *et al.* (*op. cit.*), definem estuário como: a "porção marinha" de um sistema em vale que recebe sedimentos de origem tanto fluvial como marinha, contendo fácies influenciadas por processos de maré, de ondas e fluvial. Geograficamente, estende-se desde o limite de influência da fácies de maré até as fácies costeiras presentes na "desembocadura" destes vales (figuras 3.7a e 3.7b).

Com isto, antigos sistemas deposicionais interpretados inicialmente como deltaicos, foram reinterpretados como sistemas estuarinos. Esses autores ressaltam ainda que os processos físicos atuantes neste ambiente devem ser necessariamente bem discriminados e bem entendidos, pois ao serem analisados dentro da dinâmica de sedimentação costeira, terão papel fundamental na caracterização das rochas decorrentes das variações cíclicas do nível do mar.

O melhor desenvolvimento dos estuários ao longo do tempo dá-se, preferencialmente, nos tratos transgressivos. Entretanto, podem coexistir situações intermediárias com o desenvolvimento de sistemas deltaicos, sendo que esta passagem será função da razão de sedimentação e da variação do nível do mar (figura 3.8).

Na definição de Dalrymple *et al.* (1994), é mencionada a presença de vales para o desenvolvimento do ambiente estuarino. Estes vales são conhecidos na literatura mais recente como sistemas de vales incisos e são definidos como: "*feições topográfica, baixas, alongadas e mais largas que as formas usuais de canais. São escavados por sistemas fluviais durante os tratos de mar baixo*" (figura 3.9).

A característica básica do ambiente de sedimentação dentro destas feições é a mudança brusca de fácies em direção às fácies marinhas, logo após a incisão fluvial. O preenchimento dá-se, preferencialmente, por sucessões transgressivas contendo depósitos de estuários capeados por folhelhos marinhos, em repostas às subidas relativas do nível do mar durante os tratos transgressivos e de mar alto (Barclay & Krause, 1993, *apud* Dalrymple, *op. cit.*). Excessão a este modelo existe quando os vales incisos

se desenvolvem em plataformas com baixo gradiente topográfico, onde sistemas deltaicos, de tratos de mar baixo, passam a ser desenvolvidos na desembocadura dos vales, fazendo com que diminua a interferência das variações do nível do mar, perfil adentro.

Com base nas características deste modelo e a sua similaridade às relações estratigráficas observadas nas rochas estudadas na região de Lauro Müller, propõe-se a ocorrência de um vale inciso com eixo de sedimentação preferencial na direção NW/SE, cujas justificativas serão discutidas com maiores detalhes no item 8.

3.2.6 - Associação Faciológica VI (AF- VI) : Ilha de Barreira/ Laguna.

Esta associação pode ser identificada tanto em subsuperfície como em superfície através dos vários afloramentos do Membro Siderópolis.

As rochas representativas do complexo ilha de barreira são constituídas, em subsuperfície, por arenito cinza-esbranquiçado, creme-amarelado, de granulometria média a fina, boa seleção, com baixa frequência de filmes argilosos. As estruturas sedimentares primárias não são muito bem visíveis, predominando o aspecto maciço e eventuais intervalos com laminações plano-paralelas (estampa 3.8).

Em superfície, foram interpretados dentro do complexo de ilha de barreira os afloramentos de arenito de coloração branca-amarelada, granulometria fina, friável, apresentando laminações plano-paralelas ou cruzadas de baixo ângulo, que ocorrem na mina Beluno, localizada na cidade de Siderópolis (fotos 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22).

Por sua vez, os pelitos do complexo lagunar são constituídos por folhelho e argilito cinza-escuro, esverdeado, carbonoso, com restos de vegetais e moderadamente bioturbados.

Associados a estes intervalos argilosos encontram-se várias camadas (centimétricas/métricas) de carvão mineral, que compõem as maiores reservas de carvão coqueificável no território nacional.

A Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, como é conhecida esta porção da Bacia do Paraná, apresenta doze camadas de carvão. Destaca-se pela maior consistência lateral, espessura e recuperação de carvão metalúrgico, as camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito Inferior (Nunes *et al.*, 1990).

A AF-VI apresenta boa correlação lateral, formando com a base argilosa da Formação Palermo, um bom marco regional, o qual serviu de “datum “ para as seções estratigráficas.

3.2.6.1 - Ambiente Depositional

A dinâmica de sedimentação no sistema ilha de barreira/laguna, dentro de um contexto estuarino, é fortemente controlada pelo domínio do principal processo sedimentar (ondas ou maré).

Reading (1996), exemplifica diferentes tipos de sistemas fluviais que sofreram a ação destes processos (ondas ou maré), acrescidos de outra variável à amplitude da maré (micro, meso e macromaré).

Para exemplificar estas diferenças, toma-se com exemplo, a figura 3.10. Nos casos A, B e C, há o predomínio dos processos formados por ondas, sendo que no caso A, as ilhas de barreira favorecem o desenvolvimento de lagunas e, conseqüentemente, as melhores condições para a formação de turfeiras. Além disso, a presença do sistema fluvial é relativamente pequena, desaguando diretamente na laguna.

No caso B, a configuração das lagunas já é mais extensa e passam a ter comportamento misto, isto é, laguna/estuário. Tal variação faz-se sentir nos cursos fluviais que passam a ter contribuição de ingressões marinhas.

No caso C, o sistema ilha de barreira é praticamente ausente e a área passa a ter um comportamento totalmente estuarino. Desprovido desta proteção natural, o sistema fluvial desemboca em condições mais abertas, favorecendo as incursões marinhas, rio adentro. Se a energia das

correntes de maré for superior à energia das ondas, o caso C passa então para o caso D, onde se desenvolvem as barras estuarinas.

Para a área de Lauro Müller, este modelo aplica-se muito bem para explicar a sedimentação equivalente ao intervalo superior da Formação Rio do Sul (AF-III) e a da Formação Rio Bonito (AFs IV, V, e VI).

As condições estuarinas relativamente mais francas (caso C no modelo) seriam obtidas durante a deposição dos arenitos flúvio-estuarinos AF-V (Mb. Triunfo). Neste tempo, não houve condições de formação de sistemas de ilhas de barreira e, por conseguinte, não favoreceu a formação de lagunas mais restritas. Isto pode justificar a ausência de camadas de carvão, semelhantes as que ocorrem no membro Siderópolis (Bonito, Irapuá e Barro Branco).

As condições de formação do sistema de ilhas de barreira só foram alcançadas já na parte superior da Formação Rio Bonito (Mb. Siderópolis), situação esta que transporta o modelo para o caso B.

Outro ponto importante a ser abordado é a passagem entre situações de estuário, laguna/estuário e laguna. Hayes (1975, 1979, *apud* Reading *op. cit.*), relacionou essas passagens às variações das maré (macromaré, meso e micromaré). Observou que em linhas de costas onde predominam as macromarés, a ocorrência do sistema de ilhas de barreiras é bem menos freqüente.

Por sua vez, a atuação das micromarés e das mesomarés faz-se mais diretamente na morfologia da barreira. No caso das micromarés, as ilhas tendem a ser longas e estreitas, com abundantes tempestades de "washover" que podem ultrapassar o sistema e assim retrabalhar os sedimentos lagunares. Canais e deltas de maré não são freqüentes.

No caso das mesomarés, as ilhas de barreiras são caracterizadas por abundantes canais e deltas de maré, sendo afetadas tanto por processos de ondas como de maré.

Como base nestas características pode-se aventar a hipótese de que predominou, para a interface dos sedimentos das formações Rio do Sul/ Rio Bonito, um regime de macromarés, evoluindo posteriormente, na seção superior da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis), para um

sistema de meso/micromarés. Isto pode explicar a presença de tempestitos retrabalhando os níveis de carvão depositados no "back-barrier", tão comum na área (foto 3.14).

4 - USO DA ICNOLOGIA

4.1 - Considerações

A Icnologia, ciência que estuda os registros da atividade orgânica junto ao substrato (traços fósseis), tem avançado bastante no suporte às interpretações da Estratigrafia de Seqüências. Isto faz-se, principalmente na identificação de superfícies estratigráficas-chaves, através do reconhecimento de icnofácies controladas pelo substrato e pela análise das sucessões icnológicas verticais.

Entre os vários autores que se utilizam destes princípios estão: Brett 1998; Savrda, 1995; Pemberton, 1992; Droser, 1991 e Bottjer & Droser, 1991. Walker & James (1992), reconhecendo a importância do uso desta ferramenta, dedicam, na última edição do livro "Facies Models...", um capítulo inteiro sobre a Icnologia aplicada à Estratigrafia de Seqüências.

A valorização do método chega bem próximo à visão integrada de Brett (*op. cit.*), denominada de "bio-geo-história", na qual as rochas devem ser estudadas dentro de uma maior aproximação dos processos físicos e biológicos.

As grandes vantagens da utilização dos traços fósseis residem em que: seus registros são praticamente "in situ", isto é, formados durante ou logo após a deposição dos sedimentos; possuem larga ocorrência no tempo geológico; são de restrita localização ambiental, e, geralmente, estão associados às rochas ditas "afossilíferas". Este caráter autóctone ajuda na caracterização dos eventos relativos à sedimentação, além de sinalizar os padrões comportamentais e ecológicos dos organismos.

Netto (1995) apresenta um excelente histórico sobre a evolução conceitual da Icnologia, aplicando-os posteriormente às rochas da Formação Rio Bonito/Palermo, na Bacia do Paraná. Aponta os trabalhos de Seilacher (1967) como "a grande obra" para a sedimentologia, onde se passou a usar as icnofácies como um guia de condições ambientais, com ênfase na profundidade.

Posteriormente, esta relação com a profundidade foi revista por Frey *et al.* (1990, *apud* Netto, *op. cit.*) e hoje se admite que a distribuição dos organismos é muito mais condicionada a parâmetros ecológicos, aos quais foram submetidos (salinidade, turbidez, razão de sedimentação, entre outros), do que propriamente à profundidade.

Colocar a Icnologia como uma ciência independente tem sido um grande desafio para os especialistas. Apesar da sua enorme contribuição para diferentes áreas, pode-se dizer que é ainda reduzido o número de geocientistas que se utilizam dos seus benefícios.

No Brasil, os trabalhos pioneiros remontam ao início da década de 1960 (Beurlen, 1962 e 1965; Santos & Campanha 1969; Campanha & Mabesoone, 1974; Suguio & Martin 1976; Muniz & Ramires, 1977 e Campanha, 1979, *apud* Stevaux, 1986). Mais recentemente, Netto (*op. cit.*) e Borghi *et al.* (1997). A Petrobras, através do seu Centro de Pesquisa (CENPES), também se mobilizou na difusão destes conhecimentos para o seu corpo técnico, lançando o seu primeiro atlas sobre Icnologia (Abreu *et al.* 1993).

Considerados estes aspectos, aceitou-se o desafio de iniciar o aprendizado nesta ciência com o firme propósito, doravante, de não mais utilizar a tradicional frase: "... moderadamente bioturbado, pouco bioturbado ...", tão comum nas descrições de rochas sedimentares.

Existem várias classificações na literatura para tratar dos traços fósseis (filogenia dos organismos geradores dos traços; a etológica e a taxonômica entre outras). A escolha dependerá do perfil do pesquisador e, naturalmente, da sua experiência em lidar com tais classificações.

Para esta dissertação, utilizaram-se os conceitos descritivos baseados na morfologia dos diferentes tipos de traços fósseis impressos nos sedimentos. A classificação etológica, como é corretamente denominada, encontra-se bem resumida por Abreu *et al.* (1993).

Os icnofósseis, da mesma forma que as estruturas sedimentares, são associados em icnofácies. A principal característica das Icnofácies é a sua recorrência através do tempo geológico, desde que sejam mantidas as mesmas condições ambientais. Recebem nomes formais com

base nos traços fósseis representativos, sendo reconhecidas 09 icnofácies: *Scoyenia*, *Trypanites*, *Teredolites*, *Glossifungites*, *Psilonichnus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos* e *Nereites*. Apesar de terem o nome do gênero de um icnofóssil característico, este, necessariamente, não precisa estar sempre presente. Estas icnofácies são todas de ambiente marinho. Entretanto, Buatois & Mángano (1993) reconheceram 02 icnofácies continentais a *Mermia* e a *Termitichnus*.

Ressalta-se que a relação das icnofácies com a profundidade deve ser feita de forma relativa e não absoluta. Isto facilita acompanhar as variações de possíveis variações laterais dentro de um perfil paleobatimétrico, principalmente na região transicional mar/continente (figura 4.1).

O mais importante é ter em mente a influência dos parâmetros ambientais (salinidade, energia de ondas/correntes, taxa de sedimentação entre outros) que irão condicionar a abundância e a distribuição dos "animais-traçadores". Ambientes com alta energia e com variações freqüentes de salinidade (por exemplo), estuários, tenderão a ter espécies mais oportunistas, icnocomunidades menos diversificadas do que aquelas em que as condições são menos estressantes.

Dois conceitos são fundamentais para uma boa descrição dos traços fósseis:

- Icnofábrica: refere-se a todo o aspecto da textura e da estrutura interna de um sedimento, resultante da bioturbação ocorrida em qualquer escala (Bromley & Ekdale, 1986, *apud* Bromley, 1996) (figura 4.2);
- Icnocomunidade: é um conjunto de icnofábricas que ocorrem normalmente associadas, possuindo um estreito vínculo a uma determinada litofácies.

Devido ao seu caráter prático, optou-se pela utilização do conceito da Icnofábrica para a descrição dos testemunhos dos poços PB-18 e PB-20.

Entre as nove icnofácies listadas anteriormente, foi destacada a de *Glossifungites* pela sua grande utilização na Estratigrafia de Seqüências. Trata-se de uma assembléia de traços fósseis (*Thalassinoides*,

Gastrochaenolites, *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Psilonichnus* e *Arenicolites* (*Rhizocorallium*), cuja escavações de moradia, verticais a sub-verticais, desenvolvem-se em substratos semi-consolidados conhecidos como "firmground"⁴ (Pemberton, 1992; Bromley, 1996) (figura 4.3).

Os "animais-traçadores" cortam o conjunto de traços fósseis, mais antiga, desenvolvida nos sedimentos argilosos de origem marinha a marinho marginal. Estas superfícies demarcam descontinuidades que refletem pausas na sedimentação, geralmente acompanhadas por erosão, correspondendo, em muitos casos, a Limites de Seqüência (LS) de Tratos de Mar Baixo (TMB) (figura 4.4). Normalmente ocorrem na porção marinha dos vales incisivos, "canyons" submarinos e em "shoreface" de TMB (regressão forçada), posicionadas nos limites de parasseqüências desenvolvidas nas superfícies marinhas de inundação. Geralmente são acompanhadas pela Superfície Transgressiva (ST) (Figura 4.5).

Em ciclos transgressivos/regressivos de alta freqüência pode ocorrer uma justaposição da superfície transgressiva e do limite de seqüências do TMB. Esta configuração é denominada por Pemberton (1992) de "... amalgamated (co-planar) lowstand erosion and transgressive erosion surface", sendo produzidas quando as condições do TMB expõem o substrato, sendo que as condições marinhas que permitirão a colonização só serão alcançadas na fase transgressiva, imediatamente posterior. Esta situação parece ser freqüente nas descrições dos testemunhos dos poços, principalmente no PB-20, os quais serão discutidos a seguir.

4.2 - Ícnofábricas em Testemunhos na Região de Lauro Müller (SC)

Devido à maior ocorrência de icnocomunidades, à boa definição das estruturas sedimentares de maré e aos padrões de parasseqüências - bem definidos em perfil, os intervalos descritos a seguir, ganharam "status" de intervalos estratigráficos-chaves para o melhor

⁴ firmground: tipo de substrato incluído na classificação baseada na intensidade de litificação (Pemberton, 1992).

entendimento dos ciclos transgressivos/regressivos de alta frequência. Litoestratigraficamente, compreendem a interface do topo da Formação Rio do Sul e a seção flúvio-estuarina do Membro Triunfo, da Formação Rio Bonito.

Na etapa descritiva dos testemunhos dos poços PB-18 e PB-20, foram utilizadas, como referência, as quatro icnofábricas definidas por Netto (1995) (tabela 4.1). A determinação do índice de icnofábricas (ii) - medição da quantidade da bioturbação, também seguiu os critérios usados por Netto (*op. cit.*), os quais encontram-se resumidos na tabela 4.2.

No PB-18, os intervalos analisados foram:

- Intervalo 205/220m: as icnofábricas dominantes são: *Thalassinoides*, *Teichichnus* e *Planolites*. Em importância menor estão presentes, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Cylindrichnus*, *Monocraterion* e *Diplocraterion*. Corresponde a Icnocomunidade IF₃, com intensidade de bioturbação plena (> 70%) (estampa 4.1).

- Intervalo 191/198 m: foram identificados como icnofábricas dominantes: *Thalassinoides* e *Teichichnus* e, secundariamente, *Helminthopsis* (IF₃) e *Palaeophycus*. Estas icnofábricas secundárias passam a predominar quando as seções arenosas, contendo os *Thalassinoides* e *Teichichnus*, passam, de forma gradacional, aos intervalos argilosos. É o caso do intervalo 192/191m, onde há o amplo domínio de *Palaeophycus* e *Planolites*. A analogia do intervalo é feita à IF₃ com intensidade da bioturbação de moderada a fraca (b a B) (estampa 4.2).

- Intervalo 173/182m: a icnofábrica dominante é a *Chondrites*, associada a IF₁.

No poço PB-20, foram reconhecidas as seguintes icnofábricas:

- Intervalo 169/176 m: as Icnofábricas dominantes são: *Thalassinoides* e *Teichichnus*. Em segunda ordem estão: *Palaeophycus*, *Planolites* e *Rosselia*. Corresponde a icnocomunidade IF₃, com intensidade de bioturbação plena (> de 60%)(estampa 4.3).

No intervalo superior 161/169m, ocorre uma seqüência de interlaminações de folhelho preto e arenito muito fino com estrutura de

microhummocky, com provável associação da Icnofácies *Cruziana*. No topo e base desta seqüência, a profundidade de 160 m e 169 m, respectivamente, dentro de corpos arenosos - interpretados pelas estruturas sedimentares como barras estuarinas, há a ocorrência da associação da Icnofácies *Glossifungites* (IF_{2g}) (estampa 4.4).

- Intervalo 148/161 m: na parte inferior do intervalo predominam as Icnofábricas de *Palaeophycus* e *Planolites*. Utilizando-se as tabelas 4.1 e 4.2, pode-se correlacioná-lo a icnocomunidade IF₁, com intensidade de bioturbação moderada (B). Na parte superior do intervalo, estas icnofábricas desaparecem e, praticamente, só ocorre a de *Ophiomorpha* (IF₂).

É relevante mencionar que, a partir deste intervalo, as recorrências verticais de icnofábricas nos pacotes arenosos tornam-se, praticamente, monoespecíficas, com o amplo predomínio da Icnofábrica de *Ophiomorpha*, presente em todos os intervalos flúvio-estuarinos.

De forma pontuada, foram identificadas no intervalo 60/65 m (Membro Paraguaçu), a Icnofácies *Cruziana* e a 40 m, a Icnofácies *Glossifungites* (IF_{2g}) (Membro Siderópolis).

4.3 - Análise dos Resultados e Interpretação

A análise das icnofábricas revelou dois aspectos interessantes: a baixa icnodiversidade das icnocomunidades e a variação no grau de intensidade da bioturbação. Estas características são, segundo Pemberton (1992), indicativas de ambientes estuarinos, tendo, principalmente, as flutuações de salinidade, combinadas a outros fatores (variações de temperatura, exposição subaérea, turbulência de lâmina d'água e níveis de oxigenação), como um fator determinante para a criação de um ambiente estressante para os diferentes grupos de organismos.

O amplo predomínio de *Teichichnus* e *Thalassinoides* associados a diferentes icnocomunidades secundárias, permitiram posicioná-las na interface das Icnofácies *Skolithos/Cruziana* (figura 4.1),

atribuindo-se ao intervalo em questão, a seguinte interpretação paleoambiental:

Para as rochas depositadas nos intervalos 205/220m (PB-18) e 169/176m (PB-20), interpretou-se um paleoambiente plataformal ("shoreface" médio), formado no final da deposição dos depósitos de tempestades da AF-II (plataforma marinha com "hummocky"), em ambiente relativamente bem oxigenado e de alta energia. Litologicamente, estes intervalos são constituídos por corpos arenosos com predomínio de estruturas de maré e pertencem a AF-III.

Para as rochas depositadas nos demais intervalos descritos, as condições paleoambientais tornaram-se mais restritas. A presença de *Helminthopsis* e *Chondrites* nos sedimentos pelíticos carbonosos denunciam condições de circulação semi-restritas, do tipo baía/laguna. A recorrência vertical das Icnofábricas de *Teichichnus* e *Thalassinoides* (IF₃), nos pacotes areno-pelíticos associados, denotam que as condições estuarinas permaneceram, mas, em lâmina d'água mais rasa, em virtude do desaparecimento das icnofábricas típicas de ambientes marinho mais franco (*Cylindrichnus*, *Rosselia*) nos depósitos em questão.

O amplo domínio monoespecífico da Icnofábrica *Ophiomorpha*, a partir da profundidade de 155m no PB-20, deve-se provavelmente, ao seu caráter extremamente oportunista nos substratos arenosos, instáveis em ambiente de alta energia (Bromley, 1990, *apud* Netto, 1995). Isto pode ter sido favorecido pelo seu hábito trófico, já que seus "produtores" estão aptos a assumirem o hábito que melhor responda ao novo meio (Bjerstedt 1987, *apud* Netto, *op. cit.*), apresentando, assim, uma maior tolerância ambiental, o que faz com que ocorram em fácies diferentes a sua específica.

As Icnofábricas de *Ophiomorpha* estão sempre associadas a sedimentos com estruturas de maré, podendo, com isto, servirem de elementos-indicadores destes processos na ausência de feições/estruturas sedimentares mais diagnósticas. Netto (*com. verbal*) também observa este tipo de associação em depósitos (barras de maré) no estado do Rio Grande do Sul, acreditando que a monoespecificidade tem conotações

paleoecológicas/paleoambientais que acabam por restringir a presença de outros organismos "escavadores".

Este é o modelo paleoambiental idealizado para a interface entre as formações Rio do Sul e Rio Bonito, isto é, condições plataformais mais "francas", cederam espaço para o desenvolvimento de condições estuarinas a flúvio-estuarina.

Como visto anteriormente, por ocasião da descrição das associações faciológicas, estas condições estuarinas são desenvolvidas dentro de vales incisos, modelo este aqui proposto para a região de Lauro Müller. E é dentro deste contexto que será discutida, a aplicação das icnofábricas para definir os elementos-chaves da Estratigrafia de Seqüências.

4.4 - Uso das Icnofábricas na Estratigrafia de Seqüências

As recorrências verticais das icnocomunidades IF₃ (barras estuarinas) com a IF₁ (pelitos marinhos marginais), ajudaram a estabelecer as superfícies-chaves e os respectivos tratos de sistemas de alta freqüência nos poços PB-18 e PB-20 (figuras 4.6 e 4.7).

Estas separações estão melhores definidas no poço PB-20, permitindo, com o apoio do perfil de raios-gama, estabelecer, para o intervalo de 148/175m, um conjunto de parasseqüências retrogradacionais.

Por sua vez, a ocorrência de Icnofábricas de *Glossifungites* nas profundidades de 169m e 161 m nos testemunhos do PB-20 (estampa 4.4), dão subsídios para se delimitar dois Limites de Seqüências (LS), em duas situações distintas.

O primeiro LS aparece na profundidade de 169m. Interpretou-se uma justaposição de duas superfícies erosivas - a que define um LS e uma Superfície Transgressiva (ST), formando o que é denominado na literatura de superfícies erosivas amalgamadas ou co-planares (Pemberton, 1992) (estampa 4.4 foto a). Para esta situação, os depósitos referentes ao TMB, praticamente não existem. As evidências para a marcação destas

superfícies foi associada a uma camada de pelitos de espessura centimétrica, com presença da Icnofácies de *Glossifungites* indicando a ocorrência da LS, seguida da presença de "clastos" de pelitos, os quais foram associados a ST.

O segundo LS, a profundidade de 161m (PB-20), teve a sua delimitação feita também pela nova ocorrência de *Glossifungites*, desenvolvidas sobre um substrato pelítico contendo a Icnofácies Cruziana (estampa 4.4, foto b).

Os corpos arenosos que contêm esta icnofábricas representam o início de uma série de recorrências verticais de barras estuarinas progracionais, depositadas em condições paleobatimétricas mais rasas que a anterior. Periodicamente foram afogadas por superfícies transgressivas, definindo os Tratos de TMB e TT de alta frequência (4ª ordem).

Taylor & Gawthorpe (1993, *apud* Savrda, 1995) mostraram, para arenitos marinhos do Jurássico do Mar do Norte, que deslocamentos de fácies das icnofábricas, em direção ao continente, são as únicas evidências das pequenas variações do nível do mar. Para as rochas de idade Permiana na região de Lauro Müller, entretanto, além das indicações das icnofábricas para variação do nível do mar, as relações extraídas da geoquímica e da tafonomia também ajudaram a sinalizar estas variações com serão vistas nos itens 6 e 7.

5 - USO DOS ARGILOMINERAIS

5.1 - Considerações

De forma mais usual, os argilominerais têm sido utilizados para a caracterização de ambiente marinho, não-marinho e transicional (Inglès & Guerrero, 95; Inglès & Anadón, 91; Lonnie, 82, Feuillet & Fleischer, 80, entre outros). O uso vinculado à Estratigrafia de Seqüências é ainda incipiente, vindo a colaborar, de forma indireta, através de assembléias que reflitam condições paleoclimáticas e, com isto, serem inferidos eventos geológicos mais globais, tais como transgressões/regressões.

Para isso, deve-se partir de determinadas premissas que nortearão uma interpretação mais correta, através da identificação da origem do conjunto dos argilominerais, isto é, se detrítica (alogenica) ou diagenética. Estas duas origens, inteiramente distintas entre si, conduzirão a diferentes interpretações.

A origem detrítica associa os argilominerais a sedimentos continentais, devendo ser resultante, tanto qualitativamente como quantitativamente, do padrão de distribuição de argilominerais estáveis, como produtos da atuação do intemperismo, induzido pelo tipo de clima atuante na área de proveniência. Desconsidera-se, para efeitos de uma análise mais simplificada, eventuais perdas (erosão seletiva) e transformações durante a fase de transporte continente-bacia, bem como prováveis alterações pós-deposicionais.

Por sua vez, os argilominerais autigênicos passam a ter a sua interpretação referenciada à área de deposição e não mais à área de proveniência. Com isto, abre-se uma fronteira inteiramente nova para estudos na área da diagênese, principalmente aquelas direcionadas a investigar a sua influência na permoporosidade de reservatórios com hidrocarbonetos.

Esta identificação não é tarefa fácil, principalmente quando se trabalha com sedimentos pelíticos, tornando-se necessário o uso de

equipamentos laboratoriais mais sofisticados como o MEV (microscópio eletrônico de varredura), ou mesmo a petrografia sedimentar.

Para esta dissertação, foi dada ênfase no comportamento dos argilominerais frente às variações paleoclimáticas, como também a análise de possíveis correlações associados a eventos transgressivos significativos nesta porção da bacia.

Além disso, pesquisou-se sobre a distribuição dos argilominerais em estuários, tal a sua importância para a região de Lauro Müller. A discussão é apresentada no item 5.3.

5.2- A Expressão Paleoclimática

A análise dos sedimentos pelíticos marinhos nos oceanos do recente tem sido o grande provedor dos conhecimentos da dinâmica de sedimentação, origem e transformações dos argilominerais, constituindo-se no referencial para a interpretação das condições paleoclimáticas (Singer, 1984).

A esmectita é concentrada nos oceanos do hemisfério sul, sendo associada ao grande predomínio de material vulcânico. A ilita ocorre com maior frequência nos oceanos do hemisfério norte do que nos oceanos do hemisfério sul, e são associadas, principalmente, a desembocaduras de rios, sendo um dos argilominerais mais abundantes.

A clorita, freqüentemente associada a ilita, é mais abundante nos solos e sedimentos continentais de alta latitude (Biscaye, 1965 Jacobs, 1970, *apud* Singer, *op. cit.*). É um produto detrítico estável, derivado do intemperismo mecânico em altas latitudes. Uma assembléia mineral contendo clorita e ilita na fração argila, além de quartzo, micas e anfíbolitos na fração síltica, tem sido freqüentemente observada em solos e sedimentos produzidos em áreas de alta latitude, sob intemperismo de clima frio e seco.

As esmectitas, por outro lado, formam-se pela intensa atividade do intemperismo químico, podendo ser um produto de degradação normal

da rocha fonte em climas temperados ou serem minerais neoformados em clima semi-árido.

Em situações ideais, a clorita mais a illita e a esmectita compõem dois grupos antitéticos, isto é, quando aumenta a illita, diminui a esmectita e vice-versa.

Diferentemente, para as regiões tropicais, onde a lixiviação e o intemperismo químico são intensos, há um predomínio de argilominerais do grupo da caolinita e da gibsitita.

Chamley (1989) enumera alguns pressupostos básicos para que se faça uma interpretação paleoclimática. Entre estes, podem ser citados: i-) o conjunto dos argilominerais deve ser de origem detrítica e que não tenha sido afetado significativamente por processos diagenéticos; ii-) a área fonte (continental) deve ser razoavelmente bem conhecida, com paleosolo desenvolvido como produto da ação do intemperismo desenvolvido em condições paleoclimáticas razoavelmente estáveis. As argilas, uma vez transformadas em sedimentos, transportadas e preservadas dentro da área bacinal conservarão, "a priori", as suas características originais permitindo a sua utilização como indicadores do tipo do paleoclima.

5.3 - Argilominerais em Estuários

Os primeiros trabalhos feitos em estuários e deltas (Griffin & Ingram, 1955, *apud* Chamley, *op.cit.*), mostram fortes ajustes composicionais dos argilominerais a este ambiente transicional, sendo isto atribuído às variações nas condições químicas, principalmente a da salinidade. Observaram ainda um aumento da clorita e da illita em relação a esmectita e a caolinita, a partir das águas doces em direção a água mais salinas (rio Neuse, Carolina do Norte, USA). Trabalhos posteriores feitos nas décadas de 60 e 70, em diferentes regiões (Nelson, 1960; Chamley, 1964 e 1968; Folger, 1972 e Hathaway, 1972, *apud* Chamley, 1989), não foram

conclusivos sobre a real influência hidrogeoquímica desta interface estuarina, muitas vezes, chegando-se a interpretações opostas.

O famoso estuário do rio Garonne (Gironde, SW da França), serve para exemplificar interpretações conflitantes. Latouche (1971, 1972, *apud* Chamley, *op. cit.*), observou um decréscimo progressivo da razão illita/esmectita a partir dos sedimentos de água doce em direção aos depósitos de plataforma do Atlântico. Argumenta o autor que esta variação, provavelmente ocorra em função do longo tempo de residência das argilas dentro do estuário, antes de serem remobilizadas para oceano. Atribuiu a geração da illita à transformação diagenética da esmectita.

De forma contrária, Mélières & Martin (1969), e Martin (1971, *apud* Chamley, *op. cit.*), atribuíram origem detrítica para este argilomineral, que era mantido em suspensão por processos associados aos ciclos das marés e assim pode ser transportado para o oceano.

Como se constata, através deste pequeno resumo, existem ainda ambigüidades de interpretação sobre o comportamento dos argilominerais em zonas estuarinas. Com isso, a transposição de “modelos” e “idéias” de uma área para outra deve ser feita com cautela.

5.4 - Argilominerais na Bacia do Paraná

Os primeiros trabalhos sobre argilominerais na Bacia do Paraná datam das décadas de 1960/70 (Delaney & Formoso, 1960; Formoso, 1963; Formoso & Figueredo, 1966; Ramos 1970; Rodrigues & Quadros, 1976, *apud* Formoso *et al.*, 1993). Stevaux (1986) para caracterizar os sedimentos argilosos da Formação Rio Bonito utilizou os argilominerais.

O trabalho mais abrangente foi o de Ramos & Formoso (1975), reapresentado por Formoso *et al.* (1993) no 10TH International Clays Conference (Melborne, Austrália), onde foram estudadas 1.052 amostras de testemunhos de sondagens de 43 poços, localizados na porção leste e sul da Bacia do Paraná. Abrangeu amostras representativas desde o Grupo

Itararé até a Formação Botucatu, contemplando todas as formações intermediárias.

Para as rochas pelíticas do Grupo Itararé, foi diagnosticado um amplo predomínio das ilitas e das cloritas ferruginosas sobre a caolinita, a esmectita e o interestratificado ilita-esmectita (I-S). Para os pelitos da Formação Rio Bonito, há o predomínio do interestratificado I-S, muitas com elevado grau de ordenação para a maioria das amostras. Estão presentes, ainda, a clorita e a ilita. A caolinita e a esmectita são, geralmente, de ocorrência mais escassa.

Formoso *et al.* (*op. cit.*) ressaltam o incremento elevado da caolinita, quando da sua associação as camadas de carvão. Atribuíram à ação do paleoclima na áreas fonte (escudo brasileiro) como o grande agente formador destas suítes de argilominerais. Partiram da premissa de que são de origem detrítica e que variações litológicas e a diagênese por soterramento não desempenharam papéis significativos na composição final destas argilas.

O aumento do interestratificado I-S e o aparecimento da caolinita na passagem dos sedimentos do Grupo Itararé para os sedimentos da Formação Rio Bonito, sugerem um incremento na intensidade do intemperismo na área fonte, sob condições de paleoclima temperado e úmido.

Formoso *et al.* (*op. cit.*) atribuem também grandes variações climáticas durante a deposição destes sedimentos, os quais seriam os principais fatores para a geração dos maiores valores e da grande diversidade dos tipos dos interestratificados I-S.

5.5 - Argilominerais em Testemunhos na Região de Lauro Müller (SC)

Foram analisadas 24 e 21 amostras dos poços PB-18 e PB-20, respectivamente, envolvendo os pelitos das formações Rio do Sul, Rio Bonito e Palermo. A mineralogia total destas amostras está composta por argilominerais, quartzo, plagioclásio e K-feldspato.

O conjunto de argilominerais está composto pela caolinita, clorita, ilita e interestratificado ilita-esmectita (I-S) do tipo ordenado, com teor de camadas de ilita na ordem de 65 a 90% (Anjos & Mencarelli, 1998). O MEV foi utilizado para a caracterizar a origem em quatro amostras no Membro Paraguaçu (PB-18).

A presença da ilita ordenada, praticamente em todas as amostras, e o elevado teor da ilita no interestratificado I-S, podem ser indicativos da ação da diagênese.

Entretanto, a análise dos resultados do MEV, feita por Anjos & Versiani (1999), mostrou que a origem destes argilominerais é predominantemente detrítica, tendo sido identificados processos de neoformação com morfologia da clorita, ilita e interestratificado (I-S), somente nas bordas da “massa” dos argilominerais (foto 5.1). Feições de argila autigênica de morfologia filamentosa são mais raras e só foram identificadas em uma única amostra (foto 5.2). Volumetricamente, esses minerais neoformados parecem desempenhar um papel secundário na composição final destes argilominerais.

Baseado nestes fatos, admitiu-se a origem detrítica para estes argilominerais, as quais serviram para suportar as discussões apresentadas a seguir.

No PB-18 a caolinita, apresenta dois comportamentos bem distintos. O primeiro, com baixos valores (< 10%)⁵, está associado aos pelitos da Formação Rio do Sul e dos Membros Triunfo e Paraguaçu, da Formação Rio Bonito. No segundo, correspondendo ao Membro Siderópolis, há uma elevação significativa dos seus valores, chegando a alcançar até 45% (figura 5.1).

O interestratificado I-S apresenta uma tendência crescente nos seus valores, chegando a 45% da representação da fração argilosa (< 2 micra) no Membro Paraguaçu, a profundidade de 108 m (PB-18). Através da assinatura do perfil de raios-gama e da descrição sedimentológica foi

[C1] Comentário:

⁵ valores recalculados para a fração argila inferior a 2 micra.

posicionada para esta profundidade a ocorrência de uma superfície de inundação máxima.

A clorita possui os seus maiores valores dentro dos pelitos da Formação Rio do Sul (10-30%), com tendência decrescente, chegando a 0% frente a SIM.

No intervalo superior, dentro do Membro Siderópolis, não há um padrão muito bem definido, ficando os valores oscilando entre 0 e 20%. Por sua vez, a curva da illita possui um comportamento relativamente crescente com a profundidade.

As mesmas tendências de variações verticais nos comportamentos destes argilominerais também foram verificados nos poços PB-20 e 1-TV-4-SC (figuras 5.2 e 5.3).

De forma resumida, pode-se dizer que a clorita e a illita predominam nos pelitos da Formação Rio do Sul; a caolinita apresenta a sua concentração máxima dentro do Membro Siderópolis e o interestratificado I-S está melhor desenvolvido nos pelitos transgressivos do Membro Paraguaçu.

5.6 - Análise dos Resultados e Interpretação

Os maiores valores da clorita e da illita e a inexistência da caolinita na seção estratigráfica, dentro da Formação Rio do Sul, indicam condições paleoclimáticas mais frias e secas, compatíveis como o final do período glacial periglacial da Bacia do Paraná de idade Gzeliana/Asseliana (Milani, 1997).

Os valores contrastantes da caolinita nos pelitos do Membro Siderópolis, por outro lado, mostram mudanças para um paleoclima mais temperado e úmido. Cabe aqui mencionar uma segunda origem para a sua formação, associada aos ácidos orgânicos liberados das camadas de carvão do sistema transgressivo ilha de barreira/laguna (AF-VI).

As tendências das curvas sugerem que o paleoclima foi o grande agente modulador da composição da assembléia de argilominerais, conforme preconizado por Formoso *et al.* (1993).

As superfícies de inundação são relativamente bem marcadas pela tendência das curvas da clorita e da illita-esmectita (figuras 5.1 e 5.2), tornando-se um bom sinalizador do evento transgressivo na região de Lauro Müller.

6 - USO DA GEOQUÍMICA

6.1 - Considerações

A investigação de parâmetros geoquímicos de elementos maiores e menores, suas proporções e relações em sedimentos pelíticos, tem sido normalmente utilizadas para diferenciar os paleoambientes não-marinho, transicional e marinho (Walters *et al.*, 1987; Spear & Amim, 1981; Lonnie, 1982; Potter *et al.*, 1963, entre outros).

Como um indicador paleoambiental, tem possibilitado à Estratigrafia de Seqüências um melhor refinamento das recorrências verticais de eventos transgressivos/regressivos, aplicado em várias partes do mundo (Chen *et al.*, 1997; Schutter, 1996; Isaksen & Bohacs, 1995, entre outros).

Entretanto, para melhor compreender as relações e afinidades entre elementos químicos e suas aplicações à Estratigrafia Química, torna-se necessário conhecer alguns fundamentos geoquímicos básicos.

A maioria dos folhelhos é constituída por proporções variadas de três frações: i-) a detrítica, ii-) a carbonática e iii-) a fração formada por precipitados de compostos químicos/orgânicos (Plant & Jones, 1989).

A disponibilidade de um determinado elemento para ser “precipitado” dentro de uma destas frações é função de duas propriedades: i-) Coeficiente de Partição - razão entre sua concentração no sistema aquoso natural (agente intemperizante), e a sua concentração na parte superior da crosta terrestre (rocha preexistente e ou solo) e ii-) Tempo de Residência -razão entre sua massa nos oceanos e sua média anual nos fluxos aquosos (descargas de rios), despejados nos oceanos (Taylor & McLennan, 1985) (figura 6.1).

Em linhas gerais, elementos com baixo valores de tempo de residência e de coeficiente de partição, como as terras raras, Y, Sc, Ti, Zr, Hf Al, Ga, Th, Nb, Sn, Be, são rapidamente excluídos da fase aquosa e incorporados à fração detrítica podendo, com isto, refletir condições de proveniência de argilominerais.

Por outro lado, elementos com alto coeficientes de partição e elevado tempo de residência, como a maioria dos elementos alcalinos, o boro e o urânio, permanecem em solução por um longo período de tempo.

Outros elementos, como o ferro e o manganês, apesar de apresentarem baixa mobilidade geoquímica, são de uso mais restrito para a interpretação de área fonte, pois as suas solubilidades são fortemente dependentes das mudanças do estado de oxidação.

As relações dos elementos vanádio, níquel e cromo ($V/V+Ni$) e (V/Cr) são citadas por Wignall (1994) como indicadoras de condições de paleoredox. Em ambientes oxidantes, a relação $V(V+Ni)$ é inferior a 0,46, enquanto que para os ambientes anóxicos e euxínicos esta relação passa a ser superior a 0,57 e 0,83, respectivamente. Esta relação se prevalece da similaridade do comportamento geoquímico do vanádio e do níquel, os quais podem ser concentrados em complexos orgânicos, que são preferencialmente preservados sob condições anóxicas (Wignall, *op. cit.*).

A relação V/Cr , quando superior a 2 pode indicar condições anóxicas. Valores inferiores a 1 indicam condições normais de oxidação (Dill, 1986, *apud* Wignall, *op. cit.*). Dyvok (1984, *apud* Wignall, *op. cit.*), sugere que a relação Ni/Co pode refletir níveis de oxigênio. Altos valores podem ser diagnósticos de anoxia.

Chen *et al.* (1997), em trabalhos de estratigrafia do Quaternário, no Delta Yangtze (leste da China), demonstram que alguns índices geoquímicos são indicativos das transgressões marinhas. Concluíram que a maioria dos elementos traços, incluindo Sr, Ba, B, Ga e V, tiveram suas concentrações alteradas durante o nível do mar alto, por ocasião da mistura de águas doce e marinha.

Entre estes índices estão as razões Sr/Ba e B/Ga utilizadas como indicadoras de transgressões marinhas. O estrôncio, por apresentar uma maior mobilidade geoquímica, pode mover-se mar adentro. O bário, ao contrário, apresenta baixa mobilidade precipitando, na forma de sulfato em ambientes mais proximais como os estuarinos (Chen *et al.*, *op. cit.*).

Nos estudos do Delta Yangtze, as litofácies marinhas apresentaram valores para Sr/Ba superiores a 0,36; as litofácies transicionais entre 0,21 e 0,34 e as litofácies terrígenas entre 0,21 e 0,14.

Por sua vez, o boro é um dos elementos mais concentrados na água do mar e é adsorvido principalmente pela illita, em ambientes costeiros e marinhos (Couch, 1971; Hills & Levinson, 1975; Dominik & Stanley, 1993, *apud* Chen, *op. cit.*). Em contraste, o gálio é derivado, de forma primária, do intemperismo de solos sendo largamente adsorvido pela esmectita nos ambientes continentais. Desta forma, a razão B/Ga, pode, segundo estes autores, fornecer uma boa indicação dos ambientes marinhos e não-marinhos.

O boro foi muito utilizado na décadas de 60 e 70 como um elemento indicador das condições marinhas, com inferências sobre o cálculo da paleosalinidade (Curtis, 1964; Fleet, 1965; Lerman, 1966; Landergren & Carvajal, 1968; Harder, 1970 e Couch, 1971).

No entanto, Tucker (1988) apresentou argumentos que restringem o uso deste elemento como indicador de paleosalinidade, baseado no fato de que nem todas as argilas fixam o boro na mesma proporção. Alguns autores, mostram que há uma forte afinidade com a illita (Hingston, 1964; Fleet, 1965, *apud* Tucker, *op. cit.*), enquanto outros autores afirmam que a esmectita também é capaz de adsorver o boro tanto quanto a illita (Tourtelot, Schultz & Huffman, 1961; Lerman, 1966, *apud* Tucker, *op. cit.*).

6.2 - Geoquímica na Bacia do Paraná

Em relação à aplicação dos conceitos da Estratigrafia Química, utilizando elementos maiores e menores às rochas Permianas da Bacia do Paraná, pode-se dizer que, praticamente, inexistem na literatura trabalhos com este enfoque.

Embora de caráter preliminar, Rodrigues & Quadros (1976) foram os primeiros a caracterizarem os folhelhos das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. Para isto, utilizaram os argilominerais e o elemento

boro. Segundo os autores, os teores deste elemento são bons indicadores da paleosalinidade. Para as rochas do Grupo Itararé, raramente ultrapassam 100 ppm, enquanto que para as formações Rio Bonito e Palermo, situam-se nos intervalos de 51 a 140 ppm e de 76 a 320 ppm, respectivamente.

6.3 – Análise dos Resultados e Interpretação

6.3.1 - Elementos Químicos Maiores

Utilizando-se as relações logarítmicas das razões dos óxidos dos elementos maiores $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, através do diagrama de classificação de Herron (1988, *apud* Rollinson, 1995), a maioria das amostras analisadas no poço PB-18 estão dentro do campo dos folhelhos com baixa presença do ferro (figura 6.2).

Ainda no PB-18, a análise qualitativa das curvas de tendências do comportamento geoquímico dos principais óxidos dos elementos maiores com a profundidade (figuras 6.3 e 6.4) e as suas respectivas médias aritméticas (tabela 6.1), apontam os pelitos transgressivos do Membro Paraguaçu como o intervalo estratigráfico de menores valores de: Al_2O_3 ; K_2O ; Fe_2O_3 ; MnO e do TiO_2 e com os maiores valores relativos de SiO_2 e Na_2O . Os óxidos de CaO , Na_2O e P_2O_5 não apresentam tendências que os diferenciem.

Nos pelitos da Formação Rio do Sul, os elementos ferromagnesianos são, comparativamente, os que apresentam as maiores médias percentuais ($\text{MgO} = 3,42\%$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10,07\%$). O teor de Fe_2O_3 da amostra a profundidade de 272 m (PB-18), chega a alcançar o valor de 16,1 %, bem acima da média do intervalo (10,07%). A ocorrência destes elementos químicos foi associada ao argilomineral clorita por apresentar grande similaridade no comportamento de tendências da sua curva versus a profundidade, além de se considerar que a estrutura cristalina deste argilomineral permitir a incorporação destes elementos (figura 5.1).

A Superfície de Inundação Máxima (SIM), inserida na porção média-superior do Membro Paraguaçu, apresenta características de comportamento geoquímico peculiares, diferente, inclusive, do comportamento geral da unidade estratigráfica que a encerra. O teor do SiO_2 é de 61,90%, valor este abaixo da média do intervalo litoestratigráfico do Membro Paraguaçu (69,00%). A concentração do Al_2O_3 é de 25,70%, estando acima da média do intervalo (média do intervalo: 18,71). O titânio, elemento de origem detrítica e de baixa mobilidade geoquímica, é outro elemento característico para a SIM, onde apresenta a sua menor concentração ($\text{TiO}_2 = 0,26\%$).

Observou-se, ainda, que a curva de comportamento geoquímico com a profundidade, da maioria dos óxidos dos elementos maiores, mostra “quebras” próximas aos principais limites de seqüências anteriormente definidos durante a fase de descrição das rochas (figuras 6.3 e 6.4).

6.3.2 - Análise do Carbono Orgânico Total (COT) e Elementos Químicos Menores

O valor médio relativo mais elevado do COT registrado no poço PB-18, foi nos pelitos do Membro Siderópolis (2,95%), enquanto que o menor valor médio relativo está nos pelitos da Formação Rio do Sul (0,97%) (tabela 6.2).

Os teores elevados estão no contexto deposicional flúvio-estuarino da associação faciológica V (AF-5), sendo relacionados a vegetais de origem continental desenvolvidos em condições paleoambientais de clima quente e úmido (Bortolluzzi *et al.*, 1978).

A análise das curvas do comportamento geoquímico do molibdênio, níquel e cobre mostra boa correlação com a curva de COT, demonstrando serem elementos pertencentes a uma associação organófila (figura 6.5). O cobalto nitidamente apresenta comportamento oposto,

estando mais enriquecido nos pelitos transgressivos do Membro Paraguaçu onde estão os menores valores de COT.

Utilizando os índices citados por Wignall (1994), para as relações $V/(V+Ni)$ e V/Cr é possível, indicar para todo o intervalo estratigráfico investigado, condições paleoambientais restritas, de caráter redutor (figura 6.6).

O índice geral médio das 34 amostras analisadas do PB-18, para a relação $V/(V+Ni)$ é de 0,81, portanto, dentro da faixa sugerida pelo autor para as condições anóxicas. Esta média é ainda maior nos pelitos do Membro Paraguaçu (0,90).

A relação V/Cr , para as formações Rio do Sul e Rio Bonito (tabela 6.2), também foi considerada como indicativa de condições mais restritas (redutoras), coerente com a indicação feita pela relação $V/(V+Ni)$.

6.3.3 - A Relação Sr/Ba e o Teor de Boro

Partindo-se da aplicação da relação Sr/Ba com indicadora de transgressões marinhas, conforme aplicado por Chen *et al.* (1997), calculou-se valores médios da relação Sr/Ba e do Boro (tabela 6.2).

Com isto, constatou-se, no PB-18, a ocorrência de três comportamentos geoquímicos distintos. O inferior, no qual engloba os pelitos da Formação Rio do Sul e do Membro Triunfo, com valores médios de 0,23 a 0,24. O segundo, representado pelos pelitos do Membro Paraguaçu, possuindo valor médio de 0,45. O terceiro, englobando os pelitos do Membro Siderópolis, com valor médio de 0,12. Estas variações são bem identificadas quando plotadas ao longo da profundidade (figura 6.7).

Esta tendência crescente da razão Sr/Ba, em direção a seção pelítica do Membro Paraguaçu, também foi constatada nos poços PB-20 e 1-TV-4-SC (figura 6.8), sendo que este último foi perfurado em posição mais distal na bacia, em relação ao PB18 e PB-20.

Desta forma, os maiores valores da relação Sr/Ba indicam, progressivamente, a presença de pulsos transgressivos culminado no PB-18

(figura 6.7), com o valor máximo de 0,92 na profundidade de 108 m, coincidente com a Superfície de Inundação Máxima (SIM), interpretada anteriormente, com base nos perfis de raios-gama e descrição das rochas. Este comportamento também foi constatado no poço 1-TV-4-SC (figura 6.8), inclusive com valores da relação Sr/Ba, superiores aos registrados no PB-18. Entretanto, no PB-20 (figura 6.9) os valores mais elevados da relação Sr/Ba, estão associados aos intervalos de maior radioatividade dentro do Membro Triunfo (figura 6.9) e não dentro dos pelitos do Membro Paraguaçu, a exemplo do dois poços anteriores.

Este novo comportamento da curva no PB-20 pode estar indicando a ocorrência de pulsos transgressivos, já dentro do intervalo litoestratigráfico Membro Triunfo, unidade portadora dos principais depósitos transicional-continental (flúvio-deltaico), na Formação Rio Bonito.

Outras interpretações podem ser extraídas do PB-18. As menores razões Sr/Ba, encontradas nos pelitos do Membro Siderópolis, permitiram a interpretação de que estas rochas foram depositadas em ambiente relativo mais proximal, refletindo a maior aproximação da linha de costa ao longo de todo o intervalo analisado.

Para ajudar na determinação da origem do estrôncio, submeteu-se à análise de calcimetria, cinquenta amostras de rochas pelíticas, não sendo registrada a ocorrência de carbonatos (calcita e dolomita). Por sua vez, a análise petrográfica feita em duas amostras da SIM (PB-18, prof.: 108m), também não mostrou minerais carbonáticos, tendo sido indentificado apenas o quartzo, feldspatos, micas (muscovita) e argilominerais.

Diferentemente do modelo inicial adotado por Chen *et al.* (1997), no qual atribuíram origem marinha para o estrôncio no Delta Yangtze, interpretou-se uma origem detrítica para as rochas da região de Lauro Müller, tanto para o estrôncio como para o bário os quais foram associados aos K-feldspatos e às micas (potássicas), devido a boa correlação entre as curvas de comportamento geoquímico com a curva do óxido de potássio (figura 6.9).

Por sua vez, o boro não foi diagnóstico para a delimitação destes eventos transgressivos na mesma hierarquia estabelecida pela relação Sr/Ba. A sua curva de tendência no PB-18 (figura 6.7) mostra os seus maiores valores, na base do Membro Paraguaçu, alcançando 166 ppm na profundidade de 155 m ; enquanto que o teor nos pelitos da SIM chega a 61 ppm. Por apresentar uma curva de comportamento geoquímico semelhante à da illita, a sua ocorrência foi associada a este argilomineral.

7 - PALINOLOGIA – APLICAÇÕES DA TAPHONOMIA

7.1 - Considerações

Embora a Palinologia não tenha sido contemplada nos objetivos iniciais desta dissertação, o seu uso, através da *Taphonomia*, tem sido utilizado com relativo sucesso na caracterização de tratos dos sistemas e na indicação das superfícies estratigráficas-chaves em diferentes bacias sedimentares. Trabalhos aplicados no Golfo do México (Arthur Leblanc in: Wilson, 1971, *apud* Holz & Dias, 1998) e mais recentemente na Bacia do Paraná (Holz, 1995), serviram de incentivo para testar o método nas rochas de idade Eopermiana na região de Lauro Müller (SC).

O princípio baseia-se no fato de que os diferentes registros palinológicos podem refletir o nível de variação do nível do mar e, com isso, adquirir caráter preditivo nas flutuações de eventos transgressivos/regressivos (Gregory & Hart, 1992, Blondel *et al.* 1993, *apud* Holz, *op. cit.*).

Em geral, nos Tratos de Mar Baixo (TMB) há o predomínio de palinóforos terrígenos produzidos por plantas de ambiente higrófilos e, secundariamente, formas marinhas. Nos Tratos Transgressivos (TT) os registros palinológicos da plataforma mostram um maior teor de componentes marinhos, com a presença de pólenes de plantas de ambientes mesófilos-xerófilos, os quais foram dispersados pelo vento a grandes distâncias, favorecidos pela sua própria morfologia que facilita o transporte pelo ar.

Nos Tratos de Mar Alto (TMA) ocorre a diminuição das formas marinhas, havendo a tendência de aumentar o teor de pólenes, com o enriquecimento de componentes higrófilos.

Em resumo, os grãos de pólenes são amplamente distribuídos a longa distância pela ação do vento, enquanto que esporos por não apresentarem uma morfologia que lhes facilite o transporte aéreo, apresentam uma distribuição geográfica menor e mais próxima ao

continente. Quanto maior a relação pólen/espores, mais distal serão os folhelhos “receptores” destes palinomorfos e normalmente estarão associados a eventos transgressivos. De forma inversa, quanto maior for a presença de esporos, mais próximos da área fonte estarão estes sedimentos (figura 7.1).

Adicionalmente podem ser interpretadas condições de paleoclima. Bortolluzi *et al.* (1978), em estudos palinológicos desenvolvidos nas rochas de subsuperfície e afloramentos das formações Rio Bonito e Palermo, na região de Lauro Müller, apresentaram algumas indicações sobre o paleoclima à época da deposição destes sedimentos. A abundância de esporos triletes lisos, apiculados e zonados - normalmente associados a *Pteridophyta*, do grupo das *Lycopsidea*, são em determinados horizontes, preferencialmente desenvolvidos em clima úmido e solo inundado por águas doces (Russo, Archangelsky & Gamero, 1978, *apud* Bortolluzi, *op. cit.*). As camadas de carvão associadas foram interpretadas como tendo sido depositadas sob este paleoclima.

O predomínio de pólen monossacados, bissacados e estriados, em outros horizontes, poderia corresponder a uma vegetação mais afastada da bacia sedimentar. Isto os levou a supor a existência de um decréscimo gradual da umidade, provavelmente tornando o clima mais seco, propiciando o desenvolvimento de outro tipo de vegetação.

A relação vertical entre estes palinomorfos refletiram, segundo os autores, variações cíclicas do paleoclima, onde alternavam-se períodos de clima úmido a períodos de clima mais seco (Bortolluzi *et al.*, *op. cit.*).

7.2 - Análise dos Resultados e Interpretação

A análise quantitativa do conteúdo palinológico dos principais intervalos pelíticos perfurados pelos poços PB-18 e PB-20, foram realizados através do padrão de contagem de 300 pontos, em média.

O conteúdo palinológico foi distribuído em espécimens dos seguintes grupos: esporos, pólen, microplacton marinho e algas. Utilizou-se

critérios morfológicos para a separação dentro do grupo dos esporos e dos pólenes. Os esporos foram separados em triletes lisos, triletes apiculados, triletes zonados e monoletes; enquanto que o grupo dos pólenes em monossacados, bissacados, estriados e monossulcados

Os intervalos 80/140 m, no PB-18, e 55/100 m, no PB-20, correspondendo a maioria da seção do Membro Paraguaçu, tiveram a sua interpretação prejudicada devido a ausência da matéria orgânica ou mesmo pela sua má preservação (carbonização).

Para efeitos de descrição e caracterização dos elementos estratigráficos chaves, esta análise foi dividida em dois grande intervalos: i-) o Inferior, correspondendo à Formação Rio do Sul e aos Membros Triunfo e Paraguaçu-seção basal da Formação Rio Bonito e ii-) Superior, correspondendo à interface do Membro Siderópolis e à base da Formação Palermo (figuras 7.2 e 7.3).

Intervalo Inferior - os intervalos pelíticos da seção basal da Formação Rio do Sul, interpretados durante a fase de descrição de rochas como de origem marinha, apresentam valores relativos elevados da razão pólenes/esporos, chegando a alcançar 13,00 no PB- 20 (profundidade de 229,5 m, figura 7.3).

Com base nos princípios deste método, tais sedimentos foram associados a pulsos transgressivos, compondo a Associação Faciológica IV (marinho/marinho marginal).

O limite de seqüências correspondente a passagem entre os sedimentos da formações Rio do Sul e Rio Bonito, bem definido pelas ferramentas anteriores, está bem assinalado pela variação do comportamento das curvas de pólenes e esporos. A partir deste limite, revertendo um processo de diminuição da razão pólenes/esporos com a diminuição da profundidade, verificou-se uma tendência crescente para esta relação, indicando uma retomada de pulsos transgressivos em direção ao Membro Paraguaçu.

Tomando-se como exemplo o PB-20, para melhor ilustrar a identificação das superfícies de inundação, observou-se que, geralmente no final de cada intervalo pelítico, a proporção de pólenes supera a dos esporos.

Estes valores mais altos também coincidem com os maiores valores de radioatividade da curva de raios-gama, sendo, então, assinalada a presença de quatro superfícies de inundação de 4ª ordem, para o intervalo de 100 a 140 m (figura 7.3).

Intervalo Superior: duas observações são pertinentes no PB-18 para este intervalo. A primeira, são os baixos valores da razão pólen/espores nos pelitos do Membro Siderópolis (razão =0,36), contrapondo-se aos valores mais altos dos pelitos transgressivos da base da Formação Palermo (razão=1,87), estabelecendo uma passagem relativa brusca entre estas duas unidades, passagem esta também bem assinalada pelos perfis de raios gama e pela variação na associação faciológica descrita anteriormente. Para o PB-20, entretanto, não se observou uma boa definição destas tendências através da relação pólen/espores.

O segundo fato importante é que, de maneira geral, nas amostras no Membro Siderópolis, há o predomínio de esporos tipo triletes zonados. Por apresentarem uma camada mais espessa e serem mais ornamentados sofrem, conseqüentemente, menor transporte aéreo do que os esporos de forma mais simples (triletes lisos/monoletes), sendo depositados mais próximos à área fonte.

Estes dados indicam que o contexto paleoambiental para os sedimentos das associações faciológicas do Membro Siderópolis encontravam-se, comparativamente ao intervalo estratigráfico do Membro Triunfo, em posição mais próxima do continente.

Vale salientar que esta maior aproximação ao continente também fora assinalada pela baixa razão da relação Sr/Ba.

8 - ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS

8.1 - Considerações

Durante a elaboração da pesquisa sobre o uso da Estratigrafia de Seqüências deparou-se com a grande variedade de trabalhos sobre a sua aplicação em diferentes bacias sedimentares. Isto é uma nítida demonstração de que esta “nova” visão de analisar os estratos sedimentares quebrou, efetivamente, o paradigma do uso da Estratigrafia Tradicional (*sensu* do Código Estratigráfico Norte-Americano, 1983).

Defendida por muitos e refutada por outros, o uso desta nova ferramenta parece ter superado a fase inicial de aceitação. Ao longo destas últimas duas décadas de aplicação, desde os primeiros trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisadores da Exxon, no final da década de 70 (Vail, Mitchum, Sangree, Thompson ente outros), muitos dos conceitos originais que sustentavam o modelo - baseado inicialmente na sísmica, foram melhorados à medida que eram introduzidas novas escalas de observação dos estratos rochosos, principalmente através de dados geofísicos de poços e afloramentos (Van Wagoner *et al.*, 1991; Van Wagoner *et al.*, 1996).

Revisões conceituais, bem como a sua utilização em bacias consideradas inicialmente de difícil aplicação, como as intracratônicas e as de “foreland” (Schwans, 1995; Weimer & Posamentier, 1994), efetivamente consolidaram a aplicação do método.

Além disso, a utilização de novas ferramentas, como a Bioestratigrafia, a Icnologia, e a Geoquímica, iniciou a fase de “refinamento”, numa demonstração inequívoca de que geocientistas, provenientes destas áreas, estão realizando trabalhos integrados relativamente bem consistentes.

Entretanto, é importante mencionar que parte desta nova “visão” está alicerçada em conceitos conhecidos há bastante tempo.

Holz (1998), em trabalho de revisão sobre a evolução dos conceitos na estratigrafia, ressalta que vários dos conceitos atualmente em evidência já eram do conhecimento dos estratígrafos, desde o início do século, tais como as discordâncias apresentadas por Schuchert, em 1916; os ciclos globais estáticos com controle tectônico e o reconhecimento de hiatos temporais entre estratos - o “onlap”, desenvolvido por Grabau, em 1906, entre outros. Tais conceitos precedem, inclusive, o grande marco na Estratigrafia que foi o trabalho de Sloss *et al.*(1949), no qual foram definidos, para o craton Norte-Americano, quatro seqüências estratigráficas, delimitadas por discordâncias regionais sob forte controle tectônico (Holz, *op. cit.*).

Com o surgimento da sismoestratigrafia em 1977, vários destes conceitos foram retomados, de forma integrada, por pesquisadores ligados ao Grupo da Exxon (Vail, Mitchum, Sangree, entre outros), configurando o modelo de análise de seqüência deposicional, cuja ênfase básica é dada aos seus limites feitos caracterizados por discordâncias regionais controladas pelas variações eustáticas. Tal modelo vem sendo considerado por muitos como um novo marco da revolução dentro da Estratigrafia Moderna.

As proposições iniciais e, posteriormente, algumas das suas modificações, foram divulgadas através de vários trabalhos clássicos (Van Wagoner *et al.*, 1996; Vail *et al.* 1991; Posamentier *et al.*, 1988, Vail *et al.*, 1984, entre outros).

Por outro lado, esta revolução acabou por estimular a comunidade científica que não tardou em apresentar modelos alternativos. Entre eles, citam-se Galloway (1989), que através da Estratigrafia Genética propõe como limites de seqüências as superfícies de inundação, em vez de

discordâncias; Walker (1990), através dos conceitos das unidades aloestratigráficas, não “privilegia” tanto a eustasia como fator condicionante para a geração das discordâncias. Einsele & Seilacher (1982); são também seguidores de uma sustentação genética através de uma estratigrafia cíclica de eventos.

Mial (1997) argumenta que ainda não há técnicas refinadas de datação cronestratigráfica para suportarem a afirmativa de que as sucessões estratigráficas de caráter global, controladas pelas variações eustáticas do nível do mar, apresentam esta correlação cíclica global.

Durante a realização de curso na UFRGS em 1997, Van Wagoner enfatizou que a utilização do conceito de parasequências deve ser aplicado apenas em caráter local e não a nível regional, devido ao fato de que o limite das parasequências faz-se por superfícies de inundação marinha sendo que o seu avanço, continente adentro, depende da fisiografia e da dinâmica de sedimentação próximo à linha de costa.

Esta análise tornou-se necessária para ser ter uma percepção crítica da evolução da história da Estratigrafia. Trabalhos de pesquisa, tanto os de cunho acadêmico, como os aplicados à prospeção de bens minerais - principalmente na exploração de hidrocarbonetos, devem, por princípio, sempre tentar falsear o “modelo”, para introduzir modificações necessárias visando o seu aprimoramento. Como disseram Posamentier & Allen (1993): “... a Estratigrafia de Sequências é uma ferramenta e não um modelo rígido”.

8.2 - A Opção do Modelo e o Pressuposto Tectono-Sedimentar

A história tectono-sedimentar da Bacia do Paraná, vem exigindo constantes desafios dos pesquisadores que nela atuam, no sentido de que se construa o seu modelo evolutivo frente às premissas da Estratigrafia Moderna. Entre as recentes contribuições mais notáveis - devido a sua abrangência inter-regional e ao fato de analisar toda a coluna sedimentar, está a tese de doutoramento de Milani (1997). Algumas das

suas conclusões serviram para nortear a linha de metodologia de estudo do intervalo cronoestratigráfico de idade Eopermiana, na região de Lauro Müller, como segue:

- a definição de uma hierarquia própria de eventos para a bacia, com a individualização de seis superseqüências de 2ª ordem, separadas por discordâncias interregionais, já abordadas no item 2.1 (tabela 2.1).

- a mudança do modelo conceitual de bacia intracratônica para bacia tipo “foreland”, a partir do Devoniano, abriu uma nova perspectiva de análise da Bacia do Paraná.

- como consequência, a história de subsidência passa a ser associada aos efeitos de propagação dos mecanismos flexurais litosféricos provenientes das várias fases orogênicas na margem convergente do Gondwana sul-ocidental. Os vários ciclos de aceleração e desaceleração que pontuaram a história foram também associados às várias orogenias, sendo de especial interesse para o intervalo cronoestratigráfico discutido nesta dissertação, a Orogenia Sanrafaélica (Eopermiana), que condicionou o desenvolvimento da espessa seção sedimentar regressiva (Fm. Rio Bonito).

- a constatação da não-sincronismo dos registros estratigráficos da Bacia do Paraná frente às oscilações eustáticas de variação global da curva de Vail e aos ciclos de sedimentação cratônica global preconizados por Sloss, idealizados originalmente como síncronos, mundialmente.

- a geração do espaço sedimentar foi fortemente condicionada pelo movimento flexural do embasamento, onde este respondeu aos esforços compressivos originados na margem ativa do paleocontinente. O Eopermiano, período onde se depositaram os sedimentos do Grupo Itararé e os da Formação Rio Bonito, correspondeu às menores taxa de subsidência no domínio central da bacia (figura 8.1).

Baseado nas boas repostas dos recentes trabalhos de estratigrafia aplicados às rochas da Bacia do Paraná (Etgeton, 1997; Milani, 1997; Holz, 1995; Matte, 1995; Menezes, 1994 e Winter & Matte, 1994, entre outros), optou-se pela mesma linha de pesquisa para esta dissertação, ou

seja, o uso de discordâncias como elementos físicos limitadores de Seqüências Depositionais. As discussões serão mantidas dentro de uma hierarquia de 3ª ordem, com posterior ênfase na utilização da estratigrafia de alta frequência (4ª ordem), com controle glácio-eustático, conforme definido por Milani (1997).

Adicionalmente, aplicaram-se os resultados provindos da Icnologia, dos Argilominerais e da Geoquímica com o objetivo de testar o resultado destas ferramentas frente aos tratos de sistemas interpretados.

8.3 - Estratigrafia de Seqüências em Bacias Tipo “Foreland”

A análise estratigráfica integrada que será apresentada mais adiante, para os dados de rocha da região de Lauro Müller, requer, primeiramente, uma entendimento mais regional dos conceitos tectono-sedimentares envolvendo as bacias tipo “foreland”, principalmente na sua porção mais distal do seu “perfil de acomodação”, posição geográfica, semelhante a ocupada pela Bacia do Paraná, frente ao sistema da cordilheira atual na borda oeste do continente Sul-Americano (figura 8.2).

Schwans (1995), em pesquisas desenvolvidos em bacias Cretáceas tipo “foreland” (Utah-USA), aponta para a combinação de eventos tectônicos e da eustasia como os grandes controladores do padrão de estaqueamento das seqüências. Os limites de seqüências e a arquitetura das fácies variam significativamente em função das suas localizações no “perfil de acomodação” (proximal ou distal), em relação ao grande cinturão “thrust-fold belt”.

Os elementos que compõem a arquitetura estratigráfica na porção distal deste perfil, segundo Schwans (*op. cit.*), podem ser resumidos em:

- Parâmetros Físicos/Depositionais: são caracterizados por baixas taxas de subsidência tectônica e de acomodação da sedimentação. Desenvolvem-se em um substrato tipo rampa, o qual responde, flexuralmente, aos esforços compressivos na zona de “thrust”. As

associações de fácies são do tipo não-marinho, transicional a marinho, durante o preenchimento da bacia.

- Limites de Seqüências (LS): formam superfícies planares de baixo gradiente, truncando, em baixo ângulo, os estratos mais velhos. Normalmente estão desenvolvidos nos vales incisos aluviais. Compõem uma hierarquia de 4ª ordem, marcados por pequenos hiatos deposicionais mais ou menos constantes, podendo ser rastreados a longas distâncias. Muitas vezes só são reconhecidos pela presença das Icnofácies de *Glossifungites* (Mc Eachern *et al.*, 1992, *apud* Schwans, *op. cit.*).

- Tratos de Sistemas: o Trato de Mar Baixo (TMB) é constituído por sistemas flúvio-deltaicos, estuários e baías, desenvolvidos dentro de vales incisos. Os Tratos Transgressivo (TT) e de Mar Alto (TMA) são constituídos por estratos, cuja linha de costa é dominada por ondas, com sedimentos marinhos de granulometria fina dentro dos vales incisos. Os TMA constituem-se em parasseqüências agradacionais a progradacionais.

- Arquitetura de Fácies: o desenvolvimento das fácies não-marinhas/marinhas é fortemente influenciado pela sedimentação e pelas mudanças no perfil de acomodação da bacia. Períodos de alta subsidência tectônica, associados a baixa freqüência nas variações eustáticas são caracterizadas por um pequeno "shift" de fácies, com poucas variações no padrão do estaqueamento das parasseqüências.

Por outro lado, períodos de baixa subsidência tectônica, associados a freqüentes variações eustáticas, acabam por modificar bastante o padrão de estaqueamento das parasseqüências. Formam-se extensas áreas com exposição subaérea, com rápidas variações de fácies, resultando na formação de um sistema de vales incisos.

- Hierarquia do Preenchimento Depositional: faz-se segundo ciclos eustáticos superimpostos com freqüências que variam de 0,1-0,2 Ma (4ª ordem) a 1-2 Ma (3ª ordem). Estes dois ciclos são superimpostos em ciclos maiores (16,5 Ma), denominados de ciclos transgressivos/regressivos. Este ciclo maior, por sua vez, é associado a um ciclo tectônico regional, em resposta à subsidência da bacia "foreland".

Desta forma, os padrões de estaqueamento e os ciclos de acomodação são produzidos principalmente pela tectônica de subsidência, pontuada por uma hierarquia de ciclos eustáticos que variou segundo estas ordens de grandezas descritas. Os padrões de estaqueamento das parasseqüências associados à 3ª e 4ª ordem são relacionados à eustasia.

A figura 8.3 mostra, de forma simplificada, o padrão de preenchimento e o respectivo estaqueamentos estratal dentro de um ciclo de acomodação da subsidência e de mudança do nível do mar.

8.3.1 - As Variações Locais - Sua Importância

Os padrões estratigráficos discutidos no item 8.3 são de caráter mais regional. Entretanto, quando se trabalha em escala de alta freqüência, utilizando-se dados de testemunhos e afloramentos, como é o caso desta pesquisa, deve-se esperar variações nos arranjos da arquitetura dos estratos, os quais podem ter sido modificados por variações locais. Subsidência diferenciada (compartimentada) do substrato, variações na taxa do influxo sedimentar e na fisiografia ao longo da margem da bacia, são fatores considerados por Posamentier & Allen (1993), como os que mais contribuem para as variações na arquitetura sedimentar.

Em geral, toda margem de bacia, a despeito das suas variações estruturais, é caracterizada por diferentes taxas relativas de variação do nível do mar. A extensão com que estas taxas ocorrerão dependerá dos domínios de ocorrência da subsidência e do soerguimento, os quais podem variar rapidamente. Pode-se passar bruscamente de um perfil de soerguimento para um perfil de subsidência (Posamentier & Allen, *op. cit.*).

Holz (1995) já alerta para estes fatos ao verificar um diacronismo para algumas das superfícies de inundação durante o Permiano, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Sugere que as superfícies identificadas, a nível de 3ª ordem, sejam correlacionáveis apenas a áreas com dimensões restritas. No caso, a 200 km de largura.

8.4 - Análise dos Ciclos Transgressivos/Regressivos na Região de Lauro Müller (SC)

A análise vertical dos ciclos transgressivos/regressivos, em subsuperfície, foi feita utilizando-se: o Padrão de Empilhamento em Perfis de Raios-Gama; a Associação Faciológica; a Icnologia; os Argilominerais; a Geoquímica e a *Taphonomia*.

A integração destes resultados permitiu a identificação de pelo menos sete seqüências deposicionais de alta freqüência (4ª ordem) (figuras 8.4 e 8.5), sendo:

Seqüência Depositional I - representa, litoestratigraficamente, as rochas da Formação Rio do Sul do Grupo Itararé. Compreende os tratos: TMB, TT e TMA, com boa definição no PB-20 (figura 8.5).

O TMB assenta-se discordantemente sobre o embasamento de composição granítica, definindo o primeiro LS da área. Compreende as fácies de fan-deltas, com o predomínio da litologia areno-conglomerática, em ciclos de granodecrescência ascendente.

O TT está representado por pelitos (folhelho preto, carbonoso, interlaminado de folhelho com arenito muito fino e folhelho com seixos pingados), presentes através de pulsos de afogamento provocados pelos períodos da deglaciação, com chuvas de "rain out". Apresentam boa extensão lateral, sendo possível rastreá-los entre os poços analisados.

Por sua vez, o TMA encerra uma espessa seqüência (30/40 m) de arenito fino interlaminado a siltito, com o predomínio de estruturas de ondas ("hummocky") da AF-II. Ressalta-se o caráter progradacional no término do TMA, com a deposição de corpos de arenitos bioturbados de "shoreface" médio/superior da AF-III.

Seqüência Depositional II - a identificação de dois níveis de ocorrência da Icnofábrica de *Glossifungites*, nas profundidades de 169 m e 161 m, no PB-20 (estampa 4.4), ajudou a delimitar dois LS, os quais encerram esta seqüência. Está constituída por folhelhos marinhos marginais (AF-IV), formando, basicamente, o TT. A presença da Superfície Transgressiva (ST), amalgamada por sobre o primeiro LS (estampa 4.4, foto

a), permitiu a interpretação de que, praticamente, não há de registro de rocha equivalente ao TMB.

A partir deste intervalo estratigráfico desenvolveu-se uma recorrência de três ciclos transgressivos/regressivos (Seqüências Depositionais III.a; III.b e III.c), cujo padrão de estaqueamento vertical assemelha-se ao modelo preconizado por Schwans (1995) para as bacias tipo "foreland", na sua porção distal. Correspondem, litoestratigraficamente, à interface do topo da Formação Rio do Sul/Membro Triunfo e a base do Membro Paraguaçu.

Em geral, estas recorrências apresentam uma boa definição dos TMB e TT. Para os TMA admite-se a hipótese de não terem sido depositados ou mesmo terem sido erodidos quando do rebaixamento glácio-eustático.

Esta hipótese é sustentada pela configuração da assinatura do perfil de raios-gama. Os maiores valores da cintilometria (100/120 API) no PB-20 (figura 8.5), foram associados a Superfícies de Inundação Marinha, que foram geralmente depositadas no final de cada intervalo argiloso.

Alia-se a estas evidências o padrão de comportamento das curvas da razão Sr/Ba e da distribuição de pólenes, conforme as discussões apresentadas (itens 6 e 7).

A cada nova seqüência formada, compunha-se um novo conjunto de parasseqüências retrogradacional, confirmando o caráter transgressivo do intervalo como um todo. Esta evolução pode ser bem acompanhada tanto pela relação geoquímica Sr/Ba dos poços PB-18 e 1-TV-4-SC (figuras 6.7 e 6.8), como pelas curvas de tendências dos pólenes e esporos dos poços PB-18 e PB-20 (figuras 7.2 e 7.3).

Seqüências Depositionais III.a, III.b e III.c - foram interpretadas três recorrências verticais para a Seqüência Depositional III que serão descritas conjuntamente para facilitar a apresentação dos dados. Englobam, litoestratigraficamente as rochas da base do Membro Triunfo a base do Membro Paraguaçu.

Via de regra, os corpos arenosos, arcoseanos da seção basal dos TMB apresentam características fluviais com retrabalhamento por processos de maré (e.g. figura 8.4 e estampa 3.7).

As rochas depositadas no TMB pertencem à associação faciológica flúvio-estuarina (AF-V), com padrão de empilhamento variado no perfil de raios-gama (progradacional/agradacional)retrogradacional), mas, que no seu conjunto, formam um padrão de estaqueamento retrogradacional bem definido (figuras 8.4 e 8.5). Superfícies estratigráficas–chaves tais como limites de seqüências, “lags” transgressivos de alta freqüência foram identificados (estampa 8.1).

Além da presença dos sedimentos fluviais, evidenciando uma maior aproximação à linha de costa relativo à seqüência deposicional anterior, nesta, não se observa mais, no PB-18, as associações das lcnofábricas de *Arenicolites*, *Diploclaterion* e *Cylindrichinus*, típicas de lâminas d’água mais profundas, onde passam então a predominar as lcnofábricas de *Thalassionoides*; *Teichichnus*; *Ophiomorpha* e, eventualmente, *Helminopsis*. Para o mesmo intervalo cronoestratigráfico no PB-20, ocorrem ainda, *Planolites* e *Palaeophicus*, sendo estas lcnofábricas indicativas de contexto estuarino (figuras 4.6 e 4.7).

Os estuários, conforme discutido no item 3.2.5.1, são atualmente interpretados, por boa parte dos pesquisadores, como desenvolvidos frente aos vales incisos (figura 8.6). As características deposicionais dos seus subambientes marinhos marginais, bem como o estilo de preenchimento e as relações estratais com a discordância, parecem adequar-se à seção sedimentar perfurada pelos poços PB-18 e RL-6.

Para a seção atravessada pelo PB-18, os truncamentos dos estratos contra a superfície erosiva e os “onlaps” são mais discretos quando comparados à seção perfurada pelo RL-6. Esta diferença de magnitude foi atribuída as variações locais da subsidência e às variações de intensidade do aporte sedimentar ao longo da borda leste da Bacia do Paraná.

Por sua vez, os TT que ocorrem dentro destas três seqüências são constituídos por uma associação pelítica depositada desde o contexto de plataforma marinha rasa, com presença de “hummocky”, evoluindo para o

marinho marginal, onde se encontra uma diversidade de subambientes (baías/lagunas, planície de maré). Feições de exposições subaéreas (gretas de contração, raízes), presença de níveis centimétricos de folhelho carbonoso são encontrados nestes intervalos, constituindo-se em elementos diagnósticos para a caracterização destes subambientes.

Os baixos valores da relação Sr/Ba no PB-18, frente ao intervalo pelítico de 173 a 174m e igual a 0,22 e 0,15, respectivamente (Seqüência III.b), é assumido como um indicador da maior aproximação da linha de costa.

Seqüência Depositional IV - esta seqüência é uma das mais importantes dentro da arquitetura dos estratos, pois encerra dentro de si um evento transgressivo de ampla correlação lateral, de caráter regional (Mb. Paraguaçu) (figuras 8.7 e 8.8).

O TMB está melhor desenvolvido na área do PB-20 (figura 8.5), sendo constituído por arenito de granulometria média, caolinítico e quartzofeldspático. A exemplo da Seqüência III, estes depósitos também foram retrabalhados por ações de marés, compondo uma recorrência vertical da AF-V.

O TT é constituído, principalmente, por uma pacote de siltito cinza- esverdeado, freqüentemente interlaminado a arenito muito fino. A estrutura dominante é a cruzada por ondas tipo "hummocky". O padrão de empilhamento em perfil de raios-gama é feito por conjuntos de parasseqüências de pequeno porte (2-3 m), retrogradacionais culminando com a Superfície de Inundação Máxima, posicionada, no PB-18, a 108 m de profundidade.

Devido a sua boa rastreabilidade lateral, esta superfície de inundação ocupa uma razoável importância relativa dentro de uma hierarquia de superfícies estratigráficas-chaves, só superada pela superfície de inundação máxima situada na base da Formação Palermo, considerada por Milani (1997) como o evento máximo transgressivo dentro da Superseqüência I (figura 8.4). Outra característica importante é dada pelos valores relativos mais elevados da relação Sr/Ba, verificados no PB-18 (figura 8.4 e tabela 6.2) e no 1-TV-4-SC (figura 6.8).

O TMA é constituído, também, por um pacote de siltito interlaminado com arenito fino, muito fino, tendo como estrutura dominante a estratificação cruzada do tipo ‘hummocky’. No padrão de empilhamento, visto em perfil de raios-gama, predominam as assinaturas progradacionais sinalizando a maior presença dos intervalos arenosos.

A camada de carvão denominada de Bonito que ocorre no intervalo de 96 a 98 m (PB-18) e no intervalo de 52 a 54 m (PB-20), foi interpretada como pertencente ao final do TMA. Bohacs & Suter (1997), sugerem diferentes fases do desenvolvimento do carvão dentro dos tratos de sistemas, baseados nas mudanças relativas do nível do mar. A maior ou menor magnitude dos depósitos será controlada, principalmente, pelo balanço entre a taxa de acomodação (criação de espaço) e a taxa de produção orgânica requerida para a sua acumulação. Quanto mais próximas estas taxas forem entre si, maiores serão os volumes preservados de carvão. Dentro do modelo, as camadas carbonosas no TMA são geralmente pouco espessas, descontínuas e pobremente selecionadas.

SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS V, VI e VII - optou-se por apresentar uma descrição integrada para estas três seqüências deposicionais, porquê os tratos de sistemas que as compõem são constituídos, basicamente, pelas mesmas associações faciológicas. Litoestratigraficamente, correspondem ao Membro Siderópolis, sendo melhores definidas no poço PB-18, onde alcançam uma espessura total de 55m.

Admitiu-se, para o maior desenvolvimento desta espessura, a ocorrência de baixos estruturais ativos durante a fase deposicional. Esta situação é bem clara quando se compara, entre si, o posicionamento dos poços na seção estratigráfica (figura 8.7 e 8.8).

O TMB está representado por uma nova recorrência da AF-V, com espessura que varia, no PB-18, de 4 a 10 m. Para o PB-20, este trato de sistema apresenta-se de expressão mais reduzida, sendo delimitada apenas uma ocorrência (intervalo de 48 a 52 m) .

O TT está representado pela associação faciológica ilha de barreira/laguna (AF VI), sendo melhor descrito nos paredões a céu aberto das minas Boa Vista (Lauro Müller) e Beluno (Siderópolis).

No PB-18, o subambiente lagunar está representado por intercalações centimétricas a métricas de argilito cinza-escuro e camadas de carvão passando verticalmente para pelitos bioturbados (*Palaeophycus* e *Planolites*), de depósitos de planície de maré. Estes pelitos são sedimentologicamente semelhantes aos descritos na base da Formação Palermo, podendo-se dizer para a área do PB-18, que o registro sedimentar final do TT, nestas seqüências, já "sinalizava" a inundação marinha máxima, de 3ª ordem, da Superseqüência I (base da Formação Palermo, Milani, 1997). Não foi interpretada a presença do TMA, sendo a sua ausência atribuída a não deposição ou mesmo a erosão.

Com relação aos resultados do uso das ferramentas complementares (argilominerais e geoquímica) os elevados teores de caolinita (> de 50 %) e os baixos valores das razões Sr/Ba (<0,12) registrados nos pelitos, ao longo destas três seqüências deposicionais, serviram para caracterizar muito bem esse intervalo estratigráfico.

Embora não analisado com maiores detalhes, o elevado teor de caolinita deve, em parte, estar influenciado por processos de neoformação advinda de reações químicas de ácidos orgânicos provenientes das camadas carbonosas. Calarge (1997), em estudos de caracterização das camadas argilosas associadas aos carvões da Mina Candiota (RS), identificou caolinita neoformada aos níveis de Tonstein.

Comparativamente aos demais intervalos estratigráficos analisados, os valores das relações Sr/Ba e Pólens/Esporos, segundo os seus critérios específicos de indicação de ambiente proximal e distal, colocam estas três seqüências deposicionais como as mais próximas à linha de costa, podendo-se dizer que este é o intervalo estratigráfico mais proximal para as rochas da Formação Rio Bonito na região estudada.

A interface litoestratigráfica Rio Bonito/Palermo, no qual se posicionou o "datum" estratigráfico que serviu de referência para as seções

estratigráficas, pode conter, na sua base, uma discordância regional importante.

Algumas evidências geoquímicas de exposição subárea podem estar refletindo a presença deste limite de seqüências. Os valores das razões $V/(V+Ni)$ e V/Cr , de 0,1 e 0,2 respectivamente, obtidos no PB-18 a 41,5 m de profundidade (base da Formação Palermo), são considerados indicativos de ambiente oxidante (figura 6.6).

Milani *et al.* (no prelo) também interpretaram a existência de um LS, com a ausência do TMB, para o mesmo intervalo cronestratigráfico, na seção aflorante da serra do Rio do Rastro (rodovia SC-438).

8.5 - Evidências de Discordância Tipo 1 e Vales Incisos

Apesar da análise estratigráfica ter sido feita dentro de uma hierarquia de 4ª ordem, algumas superfícies erosivas delimitadas estão superimpostas aos eventos de 3ª ordem. Estas feições foram interpretadas como Discordâncias do Tipo 1, com o desenvolvimento de vales incisos (Posamentier, 1988). Pelo menos dois exemplos podem ser citados:

- A superfície erosiva bem definida no afloramento situado na rodovia SC-438, na cidade de Lauro Müller (estampa 3.5), é um dos melhores exemplos. O “shift” abrupto na variação das fácies, o gradiente relativamente forte desta superfície em relação aos estratos mais antigos (5°/km, *apud* Milani *et ali.*, *no prelo*), além da presença dos clastos argilosos na base dos corpos arenosos sigmoidais, são evidências que sustentam esta interpretação. Milani *et ali.* (*op. cit.*) também reconhecem as mesmas feições para este afloramento. Denominou-se informalmente de vale inciso de Lauro Müller.

- As feições de “onlap”, em subsuperfície, no poço RL-6 (Rio Laranjeiras nº 6), a 474 m de profundidade, o truncamento lateral dos estratos da AF-II (plataforma marinha rasa com HCS), além da presença de clastos argilosos das rochas da AF-I incorporados na base da seção arenosa

do sistema deltaico (foto 8.1), constituem-se, também, em fortes evidências para a delimitação destas feições.

Estas evidências apontam para um rebaixamento eustático do nível do mar, favorecendo o desenvolvimento de vários sistemas de vales incisivos na borda leste da bacia.

O preenchimento sedimentar inicial destes paleovales parece apresentar dois domínios de processos relativamente bem definidos: i-) aqueles onde o desenvolvimento de sistemas deltaicos são bem desenvolvidos (RL-6), gerando uma assinatura em perfil de raios-gama tipicamente agradacional e ii-) aqueles onde os processos estuarinos se sobrepõem mais rapidamente ao sistema fluvial inicial, gerando assinaturas em perfis retrogradacionais (PB-18, PB-19 e PB-20).

Estas diferenças foram atribuídas às variações locais da subsidência; às variações da intensidade do aporte sedimentar e às variações da fisiografia ao longo da borda leste da Bacia do Paraná.

Mesmo com essas heterogeneidades, foi possível correlacionar lateralmente, praticamente todos os limites de seqüências de alta freqüência entre os poços analisados. A seção stratigráfica BA (figura 8.7) mostra boa continuidade lateral destes limites erosivos, excetuando-se o terço da seção superior na área do poço PB-18, onde a ocorrência das seqüências fica restrita ao vale inciso.

A seção CB (figura 8.8), feita em direção ao alto do embasamento perfurado pelo poço 1-SJQ-1-SC (São Joaquim nº1), mostra o adensamento de várias destas superfícies erosivas, formando um intervalo de superfícies condensadas. Sugerindo que este paleoalto esteve ativo durante a fase deposicional.

9 - CONCLUSÕES

1 - a análise da Associação Faciológica em testemunhos, em subsuperfície, com ênfase nos atributos genéticos, facilitou o entendimento da arquitetura sedimentar, além de conferir um caráter prático para a sua descrição;

2 - O uso da Icnologia através de icnofábricas foi fundamental para a delimitação de limites de seqüência de alta freqüência que delimitam as Seqüências Depositionais I, II e III. Além disso, o reconhecimento de Icnofábricas da interface *Skolithos/Cruziana*, que associadas as estruturas de maré, permitiu interpretar condições estuarinas a partir da Seqüência Depositional III. Estes estuários foram desenvolvidos sobre discordâncias erosivas do tipo 1, originadas pelo rebaixamento relativo do nível do mar, propiciando a formação de vales incisos como os interpretados, em superfície, na região de Lauro Müller e, em subsuperfície, na área perfurada pelo poço RL-6.

3 - O uso dos Argilominerais, como indicadores paleoclimáticos, ratificam as interpretações apresentadas por Ramos & Formosos (1975). O predomínio da clorita e da illita nos pelitos da Formação Rio do Sul revelam condições paleoclimáticas mais frias e secas, enquanto que o predomínio do interstratificado illita-esmectita na Formação Rio Bonito, principalmente no Membro Paraguaçu, revelam condições climáticas mais quentes e úmidas. O teor relativo elevado de caolinita no Membro Siderópolis também corrobora a mudança para um paleoclima mais quente, com forte ação do intemperismo químico.

4 - O uso da Geoquímica, através da análise de variação relativa de concentração dos elementos químicos maiores e menores, mostrou que esta ferramenta pode ser utilizada como indicadora dos ciclos transgressivos.

O intervalo transgressivo representado pelo Membro Paraguaçu (Seqüência Depositional IV), foi caracterizado no PB-18 pelos maiores valores relativos de SiO_2 e Na_2O e os menores valores relativos de Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 .

Por sua vez, as relações químicas $V/(V+\text{Ni})$ e V/Cr foram indicativas de que prevaleceram condições redutoras durante a fase de deposição de toda a seqüência analisada.

A relação Sr/Ba mostrou-se ser um bom indicador para os pulsos transgressivos. No PB-18 e no 1-TV-4-SC, esta relação é bem definida mostrando valores crescentes em direção a transgressão máxima inserida dentro do Membro Paraguaçu.

Por outro lado, os baixos valores relativos da razão Sr/Ba , detectados nos pelitos da Seqüência Depositional V (Mb. Siderópolis) são indicativos da maior aproximação da linha de costa. Esta interpretação também foi sugerida pela baixa razão relativa da relação pólen/espores, com predomínio dos esporos triletes zonados, característicos de ambientes proximais.

5 - Com a integração destas ferramentas conseguiu-se delimitar sete seqüências deposicionais na área do PB-18 e cinco seqüências deposicionais na área do PB-20.

As Seqüências Depositionais I e IV desenvolveram os tratos TMB, TT e TMA, enquanto que as demais Seqüências Depositionais (II, IIIa, IIIb, IIIc, V, VI e VII) são formadas praticamente pelo TMB e TT, estando o TMA ausente por erosão ou não deposição, haja vista a alta freqüência de variação cíclica do nível do mar.

A utilização do modelo de bacias tipo "foreland", como sugerido por Milani (1997), tendo no controle da subsidência e nas variações glácio-estáticas de alta freqüência os principais agentes moduladores, serviu para explicar o estilo de estaqueamento estratigráfico para as rochas de idade

Permiana (Sakmario-Kunguriano), nesta porção da borda leste da Bacia do Paraná.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABORRAGE, A. M., LOPES, R. da C. **Projeto borda leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica.** Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1986.
- ABREU, C. J., HESSEL, M.H.R., COSTA, M. das G.F. **Iconofósseis & icnofácies em testemunhos.** Rio de Janeiro: Petrobras/CENPES/DIGER/SEGEX-DIVEX-SESTRA, 1993. 116p
- ALVES, R. G. **Correlação estratigráfica de alta resolução aplicada ao Permiano Inferior da Bacia do Paraná na região de Candiota, Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1994. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ANJOS, S. M. C., MENCARELLI, R. M. de L. **Mineralogia total e de argilas de folhelhos das formações Rio do Sul e Rio Bonito (Bacia do Paraná).** Rio de Janeiro: Petrobras / Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. M. de Mello (CENPES) / Divisão de Engenharia de Reservatórios / Setor de Geologia de Reservatórios, 1998. 3 p. (Comunicação Técnica Diger-76/98).
- ANJOS, S. M. C. VERSIANI, F. **Caracterização por MEV/EDS de 05 amostras de folhelho das formações Rio do Sul e Rio Bonito — Bacia do Paraná.** Rio de Janeiro: Petrobras / Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. M. de Mello (CENPES) / Divisão de Engenharia de Reservatórios / Setor de Geologia de Reservatórios, 1999. 11 p. (Comunicação Técnica Diger-51/99)

- BOHACS, K., SUTER, J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamentals, controls and paralic examples. **American Association of Petroleum Geologists**, v. 81, n. 10, p. 1612-1639, 1997.
- BORGHI, L., MOREIRA, L., FERNANDES, A. C. S. Icnotramas da Formação Alto Garças (ordoviciano) na análise cronoestratigráfica. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 3., BARRA DO GARÇAS (MT). **Resumos**. Rio de Janeiro: Faculdade de Geologia da UERJ, 1997. p. 3-4.
- BORTOLUZZI, C. A., PICCOLI, A. E. M., BOSSI, G. E., SOMMER, M. G., TOIGO, M. M., PONS, M. E. H., WOLF, M., SILVA, Z. C. C. DA.. **Pesquisa geológica na Bacia Carbonífera de Santa Catarina: considerações sobre a estratigrafia, sedimentologia, paleontologia e petrografia dos carvões**. Porto Alegre, 1978. p. 33-192 (Pesquisas, 11).
- BOTTJER, D. J., DROSER, M. L. Ichnofabric and siliciclastic depositional systems: Integration for sequence stratigraphic analysis. **American Association of Petroleum Geologists**, v. 75, n. 3, p. 545, 1991.
- BRETT, C. E. Sequence stratigraphy, paleoecology, and evolution: biotic clues and response to sea-level fluctuations. **Palaios**, v. 13, p. 241-262, 1998.
- BROMLEY, R. G. **Trace fossils-biology, taphonomy and applications**. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1996. 361 p.
- BUATOIS, L. A., MÁNGANO M. G. Trace fossils from a Carboniferous turbidic lake: implication for the recognition of addition non-marine ichnofacies. **Ichnos**, v.2, p. 237-258, 1993
- CALARGE, L. M. **Evolução diagenética e sua implicação na caracterização dos argilominerais associados aos carvões da mina de Candiota - RS, na Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, Brasil**. Porto Alegre, 1997. 99 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

- CANUTO, J. R. **Fácies e ambientes de sedimentação da Formação Rio do Sul (Permiano) Bacia do Paraná na região do Rio do Sul, Estado de Santa Catarina**. São Paulo, 1993. 164p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CASTRO, J. C. **Coluna White - estratigrafia da Bacia do Paraná no sul do estado de Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. 68 p. (Série Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4).
- CHAMLEY, H. **Clay sedimentology**. Berlim: Springer-Verlag, 1989. 623 p.
- CHEN, Z., CHEN, Z., ZHANG, W. Quaternary stratigraphic and trace-element indices of Yangtze delta. Eastern China with special reference to marine transgressions. **Quaternary Research**, v. 47, p. 1577-1594, 1997.
- COUCH, E. L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data. **American Association of Petroleum Geologists**, v. 55, n. 10, p. 1829-1837, 1971.
- CURTIS, C. D. Studies on the use of boron as a paleoenvironmental indicator. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 28, p. 1125-1137, 1964.
- DALRYMPLE, R. W., ZAITLIN, B. A., BOYD, R.. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 62, p. 1130-1146, 1992.
- DALRYMPLE, R. W., BOYD, R., ZAITLIN, B. A. Incised-valley systems: origin and sedimentary sequences. Tulsa: **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, 1994. 391p. (Special Publication, 51).

- DELLA FÁVERA, J. C., CHAVES, H. A. F., MEDEIROS, M. A. M., MÜLLER, E. P., RIBEIRO J. A. P., ANTONIOLI, L., SILVA, M. C., RODRIGUES, T. L. **Geologia do Distrito Carbonífero de Santa Catarina**: convênio UERJ/CPRM. Rio de Janeiro, 1995. 86 p.
- DIAS, Adalberto A. **Geologia do Município de Criciúma, SC**. Porto Alegre: Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), 1995. 13 p. (Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina- PROGESC, 23)
- DROSER, M. L.. Ichnofabric of the paleozoic skolithos ichnofacies and the nature and distribution of Akolithod piperock. **Palaios**, v. 6, p. 326-325, 1991
- EINSELE, G., SEILACHER, A. **Cyclic and event stratification**. Berlin: Springer- Verlag, 1982. 536 p.
- EMERY, D., MYERS, K. J. **Sequence stratigraphy**. Oxford: Blackwell Science, 1996. 297 p.
- ETGETON, V. R. **Aplicação de conceitos da estratigrafia de seqüências ao intervalo permiano-eotriássico da Bacia do Paraná na região nordeste do Rio Grande do Sul - Brasil**. Porto Alegre, 1997. 137 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- EYLES, C. H., EYLES, N., FRANÇA, A. B. Glaciation and tectonics in an active intracratonic basin: the late palaeozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. **Sedimentology**, v. 40, p. 1-25, 1993.
- FEUILLET, J. P, FLEISCHER, P. Estuarine circulation: controlling factor of clay mineral distribution in James River Estuary, Virginia. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 50, n. 1, p. 267-279, 1980.
- FLEET, M. E. L. Preliminary investigations into the sorption of boron by clay minerals. **Clays Minerals**, v. 6, n. 3, p. 3-16, 1965.

- FORMOSO, M. L. L., RAMOS, A. N. R., ALVES, D. B. Clay mineralogy of the gondwanic sedimentary rocks of the Paraná Basin, South America. In: INTERNATIONAL CLAYS CONFERENCE, 10., 1993, Adelaide, Austrália. **Clays-Controlling The Environment**, 1993. p. 421-427.
- FRANÇA, A. B., POTTER, P. E.. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 2-4, p. 147-191, 1988.
- GALLOWAY, W. E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units., **American Association of Petroleum Geologists**, Tulsa, v. 73, n. 2, p. 125-142, 1989.
- HAQ, B. U., HARDENBOL, J., VAIL, P. R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphic and eustatic cycles. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, B. S.; KENDALL, C. G. S.T.C., POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Ed.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p 71-108. (Special Publication, 42).
- HARDER, H. Boron content of sediments as a tool in facies analysis. **Sedimentary Geology**, v.4, p. 153-175, 1970.
- HOLZ, M. **O intervalo gonduânico basal (eo-permiano) da Bacia do Paraná na região nordeste do Rio Grande do Sul: um exercício de estratigrafia**. Porto Alegre, 1995. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HOLZ, M., DIAS, M. E. Taphonomy of palynological records in a sequence stratigraphic framework: an example from the early permian Paraná Basin of southern Brazil. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 99, p. 217-233, 1998.

- HOLZ, M. **Um breve histórico dos conceitos fundamentais da estratigrafia moderna: seqüências deposicionais e seus fatores controladores.** Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. p. 3-26. (Pesquisas, 25)
- INGLÈS M., ANADÓN, P. Relationship of clay minerals to depositional environment in the non-marine Eocene Pontils Group, SE Ebro Basin (Spain). **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, n. 6., p. 926-939, 1991.
- INGLÈS, M., RAMOS-GUERRERO, E. Sedimentological control on the clay mineral distribution in the marine na non-marine Palaeogene deposits of Mallorca (western Mediterranean). **Sedimentary Geology**, v. 94, p. 229-243, 1995.
- ISAKSEN, G. H., BOHACS, K. M. **Geological controls of source rock geochemistry through relative sea level; Triassic, Barents Sea.** Petroleum Source. Berlim: Springer-Verlag, 1995.
- LANDERGREN, B. S., CARVAJAL, M. C. Contribution to the geochemistry of boron. **Arkiv for Mineralogi och Geologi**, v. 5 n. 2, p.11-23, 1968.
- LERMAN, A.. Boron in clays and estimation of paleosalinities. **Sedimentology**, v.6, p. 267-286, 1966.
- LONNIE, T. P. Mineralogic and chemical comparison of marine, nonmarine and transitional clay beds on south shore of Long Island, New York. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 52, n. 2, p. 529-536, 1982.
- LOPES, R. C. **Arcabouço aloestratigráfico para o intervalo "Rio Bonito-Palermo" (eopermiano da Bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé; Rio Grande do Sul.** São Leopoldo, 1995. 254 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Vale do Sinos.

- MATTE, R. R. **Estratigrafia de seqüências da Formação Rio Bonito (permiano), Bacia do Paraná no sudeste de Santa Catarina.** Porto Alegre, 1995. 100 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MENEZES, J. R. C. **Estratigrafia de seqüências em dados de sondagem: aplicação ao permiano da Bacia do Paraná na região de Candiota (RS).** Porto Alegre, 1994. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MIAL, A. D. **The Geology of Stratigraphic Sequences.** Berlim: Springer-Verlag, 1997. 433 p.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do gondwana sul-occidental.** Porto Alegre, 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MILANI, E. J., FACCINI, U.F., SCHERER, C. M. S., ARAÚJO, L. M., CUPERTINO, J. A. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (ordovician to cretaceous), S Brazil. In: AMOS, A. J., LÓPEZ-GAMUNDI, O., ROCHA-CAMPOS, A. C. (Ed.). **Sedimentary basins of South America.** Amsterdam: Elsevier. No prelo.
- MUTTI, E. **Turbidite sandstone.** Istituto di Geologia Università di Parma, 1992. 275p.
- MUTTI, E., DAVOLI, G. TINTERRI, R. Flood-related gravity-flow deposits in fluvial and fluvio-deltaic depositional systems and their sequence-stratigraphic implications. **Second High-Resolution Sequence Stratigraphy Conference.** Tremp, Spain, 1994. p.131-136.
- MUTTI, E., DAVOLI, G., TINTERRI, R., Zavala, C. The importance of ancient fluvio-deltaic systems dominated by catastrophic flooding in tectonically active basins. **Estrato da Memorie di Scienze Geologiche, Padova,** v.48, p. 233-291, 1996.

- MYROW, P. M., SOUTHARD, J. B. Combined-flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, n. 2, p. 202-210, 1991.
- NETTO, R. G. **A paleoicnologia como ferramenta de trabalho na seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo**. Porto Alegre, 1995. 272 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- NUNES, A. V., MÜLLER, E., SANTOS, M.A.A. dos. **Diagnóstico do carvão catarinense**. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia das Minas e Energia, 1990. 77p.
- PEMBERTON, S. G. (Ed.). **Application of ichnology to petroleum exploration - a core workshop**. 1992, SEPM core workshops, 17.
- PLANT, J. A., JONES, D. G. **Metallogenic models and exploration criteria for buried carbonate-hosted ore deposits - a multidisciplinary study in eastern England**. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 1989. p. 65-94.
- POSAMENTIER, H. W., ALLEN, G. P. **Siliciclastic sequence stratigraphy - concepts and applications**. No prelo.
- POSAMENTIER, H. W., ALLEN, G. P.. Variability of the sequence stratigraphic model: effects of local basin factors. **Sedimentary Geology**, n. 86, p. 91-109, 1993.
- POSAMENTIER, H.W., JERVEY, M. T., VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition I: conceptual framework. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B. S; KENDALL, C. G. S. C., POSAMENTIER, H. W; ROSS, C. A; VAN WAGONER, J. C. (Ed.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p.109-124. (Special Publication, 42).

- POTTER, P. E., SHIMP, N. F., WITTERS, J. Trace elements in marine and fresh-water argillaceous sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 27, p. 669-694, 1963.
- RAMOS, A. N., FORMOSO, M. L. L. **Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro: Petrobrás / Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. M. de Mello (CENPES) / Divisão de Exploração (Divex), 1975. 45p. (Monografia Técnica).
- READING, H. G. **Sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy**. 3.ed. Oxford: Blackwell Science, 1996. 688 p.
- RODRIGUES, R., QUADROS, L. P. Mineralogia das argilas e teor de boro nas formações paleozóicas da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976. v. 2, p. 351-379.
- ROLLINSON, H. R. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. Longman Singapore, 1995. 352 p.
- SAVRDA, C. E. Ichnologic applications in paleoceanographic, paleoclimatic, and sea-level studies. **Palaios**, v. 10, p. 565-577, 1995.
- SCHNEIDER, R. L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F., NOGUEIRA, A. A.. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, PORTO ALEGRE. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v.1, p..41-65.
- SCHWANS, P. Controls on sequence stacking and fluvial to shallow-marine architecture in a foreland basin. In: VAN WAGONER, J.C., BERTRAM, G. T. **Sequence stratigraphy of foreland basin deposits: outcrop and subsurface examples from cretaceous of North América**. Tulsa, Oklahoma: American Petroleum Association of Petroleum Geologists, 1995. p. 55-102. (Memoir, 64).

- SCHUTTER, S. The Glenwood shale as an example of a middle ordovician condensed section. In: WITZKER, B. J.; LUDVIGSON, G. A., DAY, J. (Ed.). **Paleozoic sequence stratigraphy: views from the north american craton**. Boulder Colorado: Geological Society of América, 1996. (Special paper, 306).
- SILVA, M. A. S. da, LEITES, S. R. **Programa de mapas metalogenéticos do Brasil (folha SH.22-x-B, Criciúma, escala 1:250.000)**. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Inédito.
- SINGER, A.. The Paleoclimatic interpretation of clay minerals in Sediments: a review. **Earth Science Reviews**, v. 21, p. 251-293, 1984.
- SLOSS, L. L., KRUMBEIN, W.C., DAPPLES, E. C.. Integrated facies analysis. In: LONGWELL, C.R. (Ed.). **Sedimentary Facies in Geologic History**. Geological Society of America, 1949. p. 91-124. (Memoir, 39).
- SPEAR, D. A., AMIM, M. A. Geochemistry and mineralogy of marine and non-marine namurian black shale from the Tansley borehole, Derbyshire. **Sedimentology**, v. 28, n. 3, p. 407-418, 1981.
- STEVAUX, J. C. **Faciologia e ambientes de sedimentação da Formação Rio Bonito (P) da Bacia do Paraná**. São Paulo, 1986. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TAYLOR, S. R., MCLENNAN, S. M. **The continental crust, its composition and evolution: an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks**. Great Britain: Blackwell Scientific, 1985. 312p.
- TUCKER, M. **Techniques in sedimentology**. Oxford: Blackwell Science, 1988. 394 p.
- VAIL, P. R.; HARDENBOL, J., TODD, R. G.. Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. In: SCHLEE, J. S. (Ed.). **Inter-regional unconformities and hydrocarbon exploration**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1984. p.129-144 (Memoir, 36).

- VAIL, P. R.; AUDEMAR, F.; BOWMAN, S. A.; EINSER, P. N., PEREZ-CRUZ. The Stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. In: EINSELE G., RICKEN, W., SEILAKER, A.(Ed.). **Cycles and events in stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. p. 617-659.
- VAN WAGNOER, J. C., JONES, C. R., TAYLOR, D. R., NUMMEDAL, D., JENNETTE, D. C., RILEY, G. W. **Sequence stratigraphy applications to shelf sandstone reservoirs: outcrop to subsurface examples**. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1992. (AAPG Field Conference September 21-28, 1991).
- VAN WAGONER, J. C.; MITCHUM, R. M. CAMPION, K. M., RAHMANIAN, V. D. **Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops**. 4. ed. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1996. 55 p. (AAPG Methods in Exploration Series, 7).
- WALKER, R. G. Facies modelling and sequence stratigraphy. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, p. 777-786, 1990.
- WALKER, R. G., JAMES, N. P. **Facies models: response to sea level change**. Newfoundland: Geological Association of Canada Geoscience, 1992. 445 p.(reprinted series, 1994, 2nd ed.).
- WALTER, L. J., DONALD, E. O., HENLEY, A. L., WINSTEN, M. S., VALEK, K.W. Depositional environments of the Dakota sandstone and adjacent units in the San Juan basin utilizing discriminant analysis of trace elements in shales. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 57, n. 2, p. 265-277, 1987.
- WEIMER, P., POSAMENTIER, H. W. **Siliclastic sequence stratigraphy - recent development and application in siliclastic sequence stratigraphy**. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologist, 1994. 492 p. (Memoir, 58).

WIGNALL, P. B. **Black shales**. Oxford: Clarenton Press-Oxford, 1994. 127 p. (Oxford Monographs on Geology and Geophysics).

WINTER, W. R., MATTE, R. R. Aplicação da Estratigrafia de Seqüências na Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, região do Planalto Catarinense. In: SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA DA PETROBRÁS, 2., 1994, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S.A./Departamento de Exploração, 1994. p. 3-8.
