

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FAIXAS MÓVEIS E ANÁLISE DE BACIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERVALO
PRAGUIANO – NEOEMSIANO (FORMAÇÃO PONTA GROSSA), NA BORDA
LESTE DA BACIA DO PARANÁ, COM BASE EM DADOS GEOQUÍMICOS E
SEDIMENTOLÓGICOS.**

MARCELO FAGUNDES DE REZENDE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Programa de Pós-graduação em Análises de Bacias e Faixas Móveis

RIO DE JANEIRO

2007

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERVALO
PRAGUIANO – NEOEMSIANO (FORMAÇÃO PONTA GROSSA), NA BORDA
LESTE DA BACIA DO PARANÁ, COM BASE EM DADOS GEOQUÍMICOS E
SEDIMENTOLÓGICOS.**

Marcelo Fagundes de Rezende

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-graduação em Análises de Bacias e Faixas Móveis

RIO DE JANEIRO

2007

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERVALO
PRAGUIANO – NEOEMSIANO (FORMAÇÃO PONTA GROSSA), NA BORDA
LESTE DA BACIA DO PARANÁ, COM BASE EM DADOS GEOQUÍMICOS E
SEDIMENTOLÓGICOS.**

Marcelo Fagundes de Rezende

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Geologia
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre.

Aprovada por:

NOME

ASSINATURA

Prof Dr. Edison José Milani

Prof Dr. Egberto Pereira

Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi

Rio de Janeiro

2007

REZENDE, MARCELO FAGUNDES DE.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERVALO PRAGUIANO – NEOEMSIANO (FORMAÇÃO PONTA GROSSA), NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARANÁ, COM BASE EM DADOS GEOQUÍMICOS E SEDIMENTOLÓGICOS. [Rio de Janeiro] 2007

X, **85 p.** 29,7 cm (Faculdade de Geologia – UERJ, Msc., Programa de Pós- Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, 2007).

Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, realizada na Faculdade de Geologia.

1. Estratigrafia. 2. Devoniano da Bacia do Paraná. 3. Formação Ponta Grossa.

I - FGEL/UERJ

II – Título (série)

"Só sei que nada sei".

Sócrates (Filósofo) - 470-339 a.C.

"Não há um só efeito na natureza, nem mesmo o menor que existe, de modo que os teóricos mais hábeis possam chegar sempre a uma compreensão total. Esta vã presunção de compreender tudo não pode ter outra base que não seja nunca compreender tudo. Porque alguém que tenha experimentado uma só vez a compreensão perfeita de uma só coisa, e tenha verdadeiramente provado como se chega ao conhecimento, reconheceria que da infinidade de outras verdades nada compreende".

(O ensaiador)

Galileu Galilei (Matemático) - 1564-1642

Humanos...

À vida, por me surpreender a cada instante.

Aos meus pais, Eloísa e Mário. Luzes guias do meu caminho.

Agradecimentos

Creio que sou sentimental demais, não por chorar quando estou triste ou rir devido à felicidade, mas por sempre querer o bem daqueles que estão perto de mim e muitas vezes lutar contra a razão. 2006 foi um ano de conquistas e perdas, me permitam rir e chorar.

Ao caminho, em sua plenitude, que a cada dia se mostra diferente e tanto me faz refletir sobre os meus próximos passos. No final, a escolha será minha e posso ver muitas coisas à frente.

Ao Sr. Cláudio Rosanes, mesmo com alguns atritos, sem você o caminho podia ter sido bifurcado algumas vezes e sinto que talvez muitas coisas não teriam acontecido. Saiba que sou grato pela ajuda, atenção e caráter.

Mãe, Pai, amo vocês e os levarei aonde for preciso. Desculpe se algumas vezes sou ausente, na verdade estou sempre pensando em vocês. O acalento que me proporcionam é suficiente para me tranquilizar e escrever esta dissertação.

Ao Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi pela orientação acadêmica e pela confiança no meu potencial. Obrigado por tantas vezes prestar auxílio as minhas dúvidas e instruir nos momentos propícios. A seara foi menos tenebrosa.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Geologia da UERJ que em algum momento contribuíram para a elaboração do material desta pesquisa. Tenham-na como um fruto da simbiose desta comunidade.

À Capes, pela bolsa de mestrado no primeiro ano de atividades, foi de excepcional ajuda. Até o momento no qual se fez necessário alçar vôos mais altos para alcançar outros objetivos.

À PETROBRAS por me permitir dispor algum tempo à elaboração desta dissertação, o qual foi utilizado com parcimônia e efetividade.

À Priscilla Alfradique, companheira em todos os momentos. Neste tempo me ensinou que o globo continua a girar. Não posso fechar os olhos para minhas necessidades e lamentos. Sou grato por sua atenção, críticas e aconchego.

Por fim, obrigado a todos. Este trabalho é mais um passo no caminho dos meus sonhos. Sei que não estou sozinho e posso trilhar com mais confiança.

Resumo

Este trabalho é o resultado da análise estratigráfica de detalhe sobre o registro sedimentar do intervalo Praguiano – Emsiano Superior, realizada em amostras testemunhadas por quatro poços, na seção de afloramentos paleozóicos da borda leste da Bacia do Paraná. A integração dos dados foi realizada a partir das informações obtidas através de sedimentologia, gamaespectrometria e geoquímica orgânica (carbono orgânico total e pirólise *Rock-Eval*). Desta forma, foram identificados eventos deposicionais de variadas frequências, classificados como duas seqüências deposicionais de 3ª ordem, denominadas “B” e “C”, e seis seqüências de 4ª ordem, denominadas “B1”, “B2”, “B3”, “B4”, “C1” e “C2”. Estes eventos deposicionais representam as variações relativas do nível do mar, ocorridas durante o intervalo estudado, expressas nos tratos de sistemas e superfícies estratigráficas identificados. Em alguns casos, estas variações ocorreram com acentuada ciclicidade no tempo. A correlação dos poços ao longo de uma seção N–S possibilitou a discussão sobre a continuidade lateral dos máximos transgressivos nas seqüências de 3ª e 4ª ordens. Possibilitou, também, discorrer sobre possíveis fatores locais condicionantes da sedimentação, e sobre as dinâmicas ambiental e sedimentar, na área de estudo. A avaliação dos atributos faciológicos, integrados as ferramentas utilizadas, possibilitou indagar acerca dos principais controles sobre as condições de circulação de sedimentos, de oxigenação da coluna d'água e de preservação da matéria orgânica. Estes métodos em conjunto indicam condições ambientais consideradas marinhas normais, pontuadas por momentos de redução na oxigenação, sem, no entanto, registrar eventos de efetiva anoxia do ambiente de sedimentação. Estas informações sobre a estratigrafia de seqüências, sedimentologia e geoquímica são importantes no estudo da distribuição dos níveis com potencial de geração de hidrocarbonetos, a fim de prospectar áreas mais favoráveis, ao longo da Bacia do Paraná.

Abstract

This work is the result of detailed stratigraphic analysis on the sedimentary record of Praguian–Emsian later interval, established on core samples of four wells in the Paleozoic outcrop section, eastern edge of Paraná Basin. Data set was obtained by means of sedimentology, gamma spectrometry and organic geochemistry (total organic carbon and pyrolysis *Rock-Eval*), and lately integrated. Thus, depositional events with varied frequencies have been identified. These depositional events were classified as being two depositional sequences of 3rd order, termed as “B” and “C”, and six sequences of 4th order, termed as “B1”, “B2”, “B3”, “B4”, “C1” and “C2”. These depositional events typify the relative sea level variations occurred during the studied interval. They were characterized by the systems tracts and stratigraphic surfaces identified. Sometimes, these variations occurred with high cyclicity through the time. The correlation of the wells of a N-S section made possible the discussion about the continuity and lateral expression of the transgressive and regressive *maximums* in the depositional sequences of 3rd and 4th orders, besides the possible local factors which conditioned the sedimentation and the environmental and sedimentary dynamics. The evaluation of facies attributes, integrated with the utilized tools, helped on the inquiring of the main controls on the sediment circulation, water column oxygenation ratio, and organic matter preservation. These data in set indicated normal marine environmental conditions, with punctuated moments of reduction in oxygenation ration, without, however, show effective anoxic events in the sedimentation environment. These informations about the sequence stratigraphy and sedimentology are important in the study of distribution of levels with hydrocarbons generation potential, throughout of Paraná Basin.

Sumário

Lista de Figuras.....	4
Capítulo I. Introdução.....	7
I.I. Apresentação.....	7
I.II. Relevância da pesquisa.....	8
I.III. Objetivos.....	8
I.IV. Base de Dados.....	9
Capítulo II. Contexto Geológico	11
II.I Bacia do Paraná	11
II.I.I. Arcabouço Tectônico.....	13
II.I.II. Estratigrafia	15
II.II. Borda Leste da Bacia do Paraná	18
II.III. Formação Ponta Grossa.....	18
Capítulo III. Métodos	22
III.I. Sedimentologia	22
III.I.I Bases Conceituais.....	22
III.I.II. Procedimentos	23

III.II. Teores de Carbono Orgânico Total (COT).....	25
III.II.I. Bases Conceituais.....	25
III.II.II. Processamento das amostras	26
III.III Gamaespectrometria	27
III.III.I Bases Conceituais.....	27
III.III.II Procedimentos	30
III.IV Pirólise Rock-Eval	33
III.IV.I Bases Conceituais	33
Capítulo IV. Análise Estratigráfica	35
IV.I – Descrição de fácies sedimentares.....	38
IV.I.I – Folhelho siltico com laminação plano-paralela (α).....	39
IV.I.II – Siltito arenoso com laminação plano paralela bioturbado (α b)	39
IV.I.III – Interlaminado entre folhelho siltico / arenito muito fino a fino com laminação cruzada por onda (β a)	39
IV.I.IV – Arenito fino com microestratificação cruzada <i>hummocky</i> ou maciço (γ a).....	40
IV.I.V – Interlaminado entre arenito fino a médio lenticular com estratificação cruzada por onda e folhelho siltico cinza bioturbado(γ b)	40

IV. II – Poço 1	42
IV.II.I – Estratigrafia de seqüências.....	42
IV.III – Poço 2	48
IV.III.I – Estratigrafia de Seqüências	48
IV.IV – Poço 3.....	52
IV.IV.I – Estratigrafia de Seqüências.....	52
IV.V – Poço 4.....	57
IV.V.I – Estratigrafia de Seqüências.....	57
Capítulo V. Correlação estratigráfica.....	64
V.I – Considerações iniciais.....	64
V.II – Análise dos dados	64
V.III – Interpretação	66
Capítulo VI – Análise do Devoniano Inferior (Praguiano – Emsiano Superior), na borda leste da Bacia do Paraná.....	70
VI.I – Sedimentação	70
VI.II – Potencial para geração de hidrocarbonetos.....	72
Capítulo VII - Conclusões	74
Capítulo VIII. Referências Bibliográficas	78

Lista de Figuras

- Figura 1** – Mapa de localização dos poços estudados na área da faixa de afloramentos paleozóicos na borda leste da Bacia do Paraná e indicação do traço em mapa da seção de correlação entre os poços elaborada nesta pesquisa. 10
- Figura 2** – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com a divisão do registro sedimentar da Bacia do Paraná em seis superseqüências e indicação dos principais elementos estruturais da Bacia. Modificado de Milani et al. (1998). 12
- Figura 3** – **a** – Mapa de contorno estrutural do topo do embasamento, com as principais direções estruturais e a distribuição em subsuperfície e faixas de afloramentos da Formação Ponta Grossa, modificado de Ramos (1970); Zalán et al. (1990); Assine et al. (1998). **b** – Mapa de isopácas da Formação Ponta Grossa com a divisão nas sub-bacias Apucarana e Alto Garças, modificado de Assine et al. (1998); Corrêa & Pereira (2005). 14
- Figura 4** – Reconstrução paleoambiental da distribuição das terras emersas e área do mar epicontinental Devoniano durante o evento de inundação do Emsiano Superior/Eifeliano, 390 Ma. Retirada de Almeida & Carneiro, (2004) e Milani (comunicação verbal). Legenda: 1 - Área emersa; 2- Ambientes sedimentares marinhos; 3 - Ambientes transicionais; 4 - Ambientes sedimentares não-marinhos; 5 - Setas indicativas das principais direções de aporte sedimentar; 6 - Posição estimada do Pólo Sul. Cidades: A - Assunção; B - Brasília; BA - Buenos Aires; Be - Belém; C - Caracas; L - Lima; M - Manaus; P - Porto Alegre; Q - Quito; R -Rio de Janeiro; S – Salvador. 17
- Figura 5** – Representação esquemática de um sistema de plataforma marinha rasa, com destaque para os principais ambientes deposicionais, tipos de sedimentos predominantes em cada área e principais dinâmicas ambientais que podem influenciar a distribuição dos sedimentos à época da sedimentação. 19
- Figura 6** – Seções estratigráficas regionais (N-S e E-O), representativas do Devoniano na Bacia do Paraná, com destaque para a subdivisão da Formação Ponta Grossa em membros, indicação dos principais eventos deposicionais e da curva relativa de variação do nível para o Devoniano. Modificado de Pereira et al. (1998) e Assine et al. (1998). 21
- Figura 7** – Legenda com as convenções e simbologias utilizadas para a caracterização de estruturas sedimentares primárias e secundárias, como também para indicação litológica e da presença de fósseis nos perfis dos poços estudados. 24
- Figura 8** – Diagrama conceitual sugerido por Adams & Weaver (1958) à distribuição de Tório e Urânio em sedimentos e classificação litológica. Quanto

maior a concentração de Th nas rochas maior será sua afinidade com ambientes sedimentares continentais..... 28

Figura 9 – Modelo conceitual simplificado sobre a resposta dos isótopos radioativos de U, Th e K, mensurados nas rochas por gamaespectrometria, às modificações nas condições paleoecológicas e deposicionais do ambiente sedimentar durante fases de variação relativa do nível do mar, bem como suas relações com superfícies estratigráficas. 32

Figura 10 – Diagrama de distribuição entre o índice de hidrogênio e o índice de oxigênio (“Van Krevelen”), mensurados por meio da normalização dos dados de S2 e S3 obtidos por Pirólise Rock Eval com os dados de COT, a fim de classificar e qualificar a matéria orgânica existente nas rochas, modificado de Peters, 1986; Hunt, 1995)..... 34

Figura 11 – Diagrama ternário sugerido por Galloway (1989), que sugere a interação entre três fatores complexos principais (eustasia, tectônica e aporte sedimentar), na construção das seqüências deposicionais durante o tempo geológico..... 36

Figura 12 – Fotografias de detalhe dos principais atributos faciológicos (estruturas, litologia, coloração, assembléia icnofossilífera), que permitiram a distinção de cinco fácies sedimentares descritas nos poços estudados. 41

Figura 13 – Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 1 47

Figura 14 – Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 2 51

Figura 15 – Diagramas IH vs IO (Van Krevelen), para o poço 3 e para as SIM's das seqüências “B”, “B2” e “C1” descritas no poço 3. Indicam a predominância de matéria orgânica dos tipos I e II, classificadas como de boa qualidade e associadas a algas e cutículas vegetais respectivamente. 53

Figura 16 – Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 3. 56

Figura 17 – Elementos petrográficos que permitem sugerir um trato de sistemas transgressivo no intervalo de profundidade, no qual foram amostrados, poço 4, prof. 123,3 m. **a** Bioclasto carbonático – Obj. 20X e **b** pellet de glauconita – Obj. 40x. Ambas as fotomicrografias são apresentadas com polarizadores paralelos a esquerda e cruzados a direita. 59

Figura 18 – <i>Estutura sedimentar erosiva interpretada como um Lag transgressivo que marca o limite basal de seqüência da seqüência deposicional “B3”, poço 4, prof. 99 m.</i>	60
Figura 19 – <i>Presença de moscovita expandida anterior a compactação mecânica dos grãos devido ao soterramento. Este elemento petrográfico pode ser interpretado como uma provável indicação de condições de mar baixo e/ou influxo meteórico que permitiram a percolação de água e alteração do grão, condizente com a interpretação estratigráfica elaborada neste intervalo do poço 4, prof. 49,5 m. Fotomicrografias obtida com Objetivas de. 20x. Polarizadores paralelos a direita e cruzados a esquerda.</i>	62
Figura 20 – <i>Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 4</i>	63
Figura 21 – <i>Seção de correlação entre os poços com destaque para as seqüências de 3ª e 4ª ordens.....</i>	65
Figura 22 – <i>Diagramas Th vs Th/U para classificação de sedimentos. A distribuição dos dados permite a classificação dos sedimentos, dos quatro poços estudados, no campo dos folhelhos marinhos. Permite também indicar que os sedimentos foram depositados preferencialmente, em condições ambientais marinhas normais, em relação ao seu caráter de paleoxigenação. Modificados do diagrama proposto por Adams & Weaver (1958).</i>	69
Figura 23 – <i>Curvas de variação relativa do nível do mar para as seqüências de terceira e quarta ordens para a seção praguiana - emsiana superior. Foram construídas a partir das relações estratigráficas interpretadas na seção de correlação, considerando as principais variações litológicas e anomalias observadas nos perfis estudados para a distinção da magnitude de cada evento indicado.....</i>	70

Capítulo I. Introdução.

I.I. Apresentação

O Devoniano da Bacia do Paraná representa uma área clássica de estudos do Paleozóico Brasileiro, constituindo-se também em área de grande interesse nos estudos paleogeográficos do Gondwana. Desde longa data (e.g. Clark, 1913) seus fósseis despertam grande interesse científico. Estudos detalhados sobre a evolução estratigráfica do Devoniano são encontrados desde épocas pioneiras até períodos mais recentes (Petri, 1948; Lange & Petri, 1967; Melo, 1985, entre outros). No entanto, estudos de detalhe, com integração da geoquímica e da estratigrafia de seqüências, somente vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, tendo como referência os trabalhos de pesquisadores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Durante o Devoniano houve um importante evento de elevação do nível do mar relacionado a intervalos com alto potencial para geração de hidrocarbonetos nas bacias sedimentares paleozóicas do mundo. Este evento marca na Bacia do Paraná uma fase de grande transgressão marinha (Soares *et al.*, 1978; Milani *et al.*, 1998), durante a qual foram depositadas argilas e areias, em um mar epicontinental caracterizado por uma plataforma em rampa de águas pouco profundas, com forte influência de tempestades (Assine *et al.*, 1994). O registro sedimentar desta fase é denominado Formação Ponta Grossa.

A presente pesquisa não busca exaurir as questões acerca da evolução da bacia ou dos eventos ocorridos no Devoniano, mas sim realizar o detalhamento estratigráfico e analisar as modificações geoquímicas e sedimentológicas observadas no registro sedimentar estudado. Por ser a bacia um sistema complexo, seu entendimento não pode ser concebido com a utilização de métodos aplicados isoladamente. Neste sentido, para distinguir os controles da sedimentação e definir os elementos de ciclos de distintas freqüências, torna-se

necessário utilizar uma abordagem integrada, alimentada por múltiplas fontes de informação. A abordagem adotada nesta pesquisa baseia-se na utilização da estratigrafia de seqüências como ferramenta metodológica principal, a qual foi associada a informações geoquímicas, sedimentológicas, bioestratigráficas e de gamaespectrometria e analisadas suas inter-relações.

I.II. Relevância da pesquisa

O maior detalhamento dos estudos de caracterização estratigráfica e geoquímica da Formação Ponta Grossa, em escala de ciclos de médias e altas freqüências (3ª, 4ª ordens), tem apresentado uma grande eficiência no entendimento da evolução deste intervalo. Neste contexto, tais estudos vêm contribuindo sobremaneira, tanto sob o ponto de vista acadêmico (reconhecimento e rastreamento de superfícies de inundação marinha bacia adentro e correlação desses intervalos com outras bacias gondwânicas), como também, sob o ponto de vista econômico (através da avaliação mais criteriosa do potencial gerador desses intervalos enriquecidos em matéria orgânica, em termos de petróleo ou gás).

I.III. Objetivos

Os objetivos que se pretendem alcançar nesta pesquisa são:

Estabelecer a divisão estratigráfica do registro sedimentar estudado e destacar os principais elementos da estratigrafia de seqüências, com base em dados geoquímicos e sedimentológicos. A concepção estratigráfica adotada segue os preceitos definidos inicialmente pela escola da *Exxon* e atualizados, subsequentemente, desde sua divulgação original no *Memoir 26* da AAPG.

Correlacionar o registro sedimentar estudado em diferentes localidades da borda leste da Bacia do Paraná, a fim de possibilitar análises sobre a dinâmica deposicional local e suas variações laterais. Em conjunto, verificar a influência

destas variações na distribuição espacial dos níveis com maiores potenciais para geração de hidrocarbonetos.

Identificar a inter-relação de padrões entre os diferentes métodos utilizados nesta pesquisa e associá-los a características dos ambientes deposicionais. A análise destes padrões permitirá a realização de discussões mais refinadas sobre as condições ambientais à época da deposição do registro sedimentar.

I.IV. Base de Dados

A base de dados central da pesquisa refere-se aos testemunhos de quatro sondagens rasas realizadas em anos recentes no Devoniano da borda leste da Bacia do Paraná, quais sejam: a) Três sondagens perfuradas na década de 90 pela PETROBRAS, durante o desenvolvimento do Projeto Ponta Grossa (Furos PPGs); b) Uma sondagem realizada pelo DEPA-FGEL-UERJ no ano de 2004 durante o desenvolvimento do Projeto PALEOSUL (convênio UERJ-FINEP-PETROBRAS). Tais informações pertencem ao banco de dados do Projeto Paleosul desenvolvido por pesquisadores do DEPA, nos anos 2002 a 2005, sob a coordenação do Prof. Dr. Egberto Pereira.

As sondagens estão localizadas na faixa de afloramentos paleozóicos da borda leste da Bacia do Paraná (Figura 1), nos municípios de Jaguariaíva, Tibagi e Palmeira, no Estado do Paraná. Nessas quatro sondagens foram recuperados cerca de 470 metros de testemunhos referentes à Formação Ponta Grossa. Sobre os quais foram coletadas amostras, sistematicamente a cada 30 cm em média. As informações bioestratigráficas disponíveis obtidas a partir desses testemunhos foram interpretadas por Grahn (2002) e Gaugris (2004) e posicionam o registro estudado no intervalo Praguiano – Emsiano Superior.

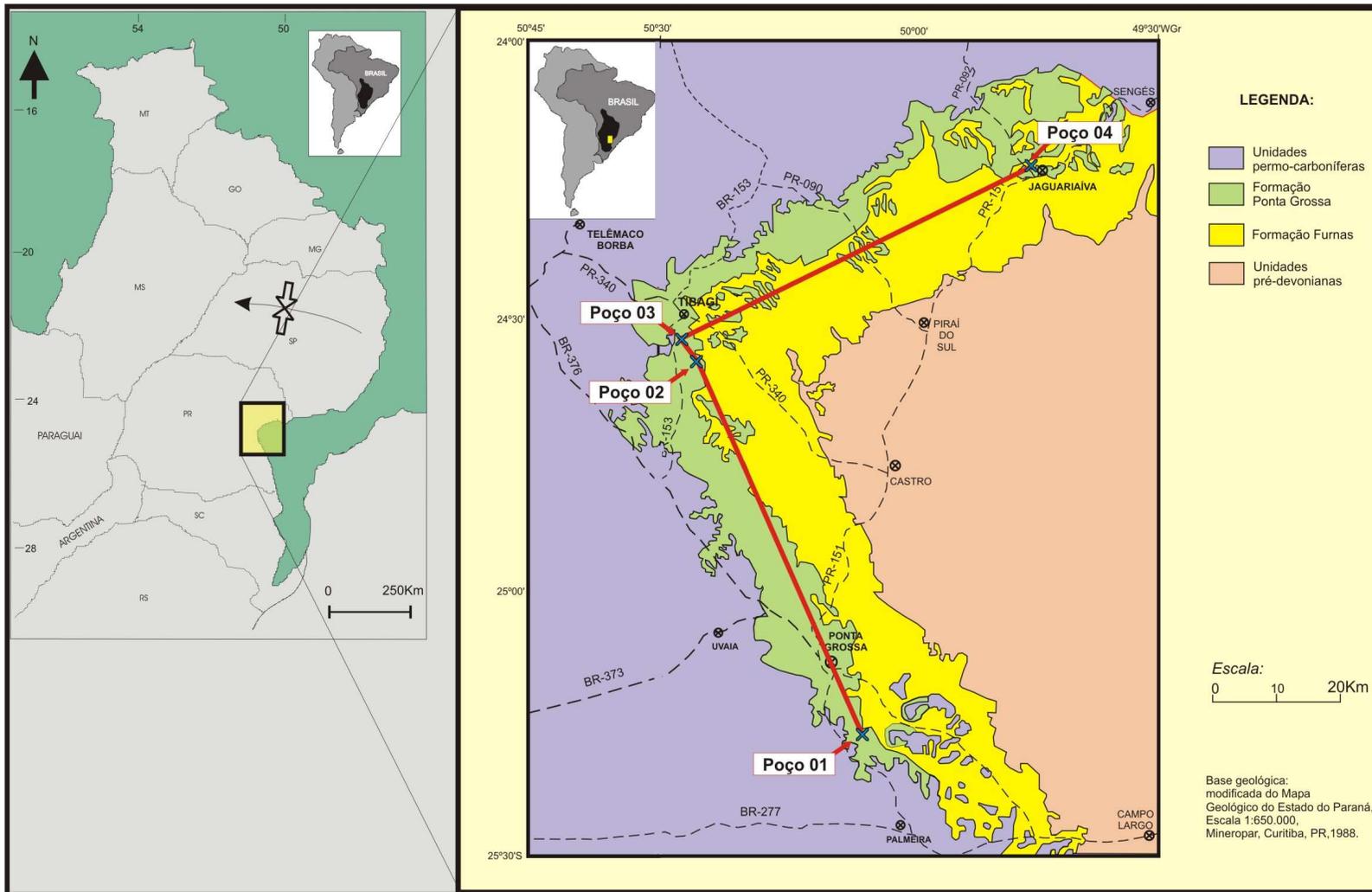


Figura 1 – Mapa de localização dos poços estudados na área da faixa de afloramentos paleozóicos na borda leste da Bacia do Paraná e indicação do traço em mapa da seção de correlação entre os poços elaborada nesta pesquisa.

Capítulo II. Contexto Geológico

II.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é classificada como uma bacia sedimentar de interior continental, situada no sudoeste da América do Sul. Recobre vasto território no Brasil (cerca de 1000000 Km²) e estende-se pelo Paraguai, Argentina e Uruguai (cerca de 400000 Km²). Seu registro litológico envolve cerca de 6000 metros de rochas sedimentares e vulcânicas (Milani *et al.*, 1998), de idades a partir de ordovicianas e distribuídas em um intervalo em torno de 385 Ma.

Durante este intervalo de tempo, a bacia passou por longos períodos de subsidência e acumulação de sedimentos intercalados com igualmente longos períodos de soerguimento. Estes eventos originaram discordâncias regionais, que podem representar hiatos de dezenas de milhões de anos (Soares *et al.*, 1978; Milani *et al.*, 1998). Um mapa simplificado dos diferentes estágios de deposição limitados por discordâncias (superseqüências), que ocorreram na bacia pode ser observado na figura 2.

Milani (2004) argumenta que o atual contorno da bacia desenvolveu-se como um reflexo de fenômenos posteriores ao Paleozóico que atuaram no continente sul-americano. Estes fenômenos foram responsáveis pela subtração de grandes áreas deposicionais pretéritas. Entre estes, destaca as feições originadas pelo soerguimento marginal ao *rift* do Atlântico Sul, que expôs tanto o embasamento da bacia, como a faixa de afloramentos paleozóicos da Borda Leste da Bacia do Paraná.

O Período Devoniano representa na Bacia do Paraná, de acordo com Soares *et al.* (1978) e Milani *et al.* (1998), uma época de amplo afogamento marinho, na qual foi desenvolvido um mar epicontinental caracterizado por uma plataforma em rampa pouco profunda, dominada por ondas (Assine *et al.*, 1994).

Águas frias predominaram neste mar até o Givetiano, quando foi estabelecida a entrada de correntes marinhas quentes vindas do norte (Freitas-Brazil, 2004).

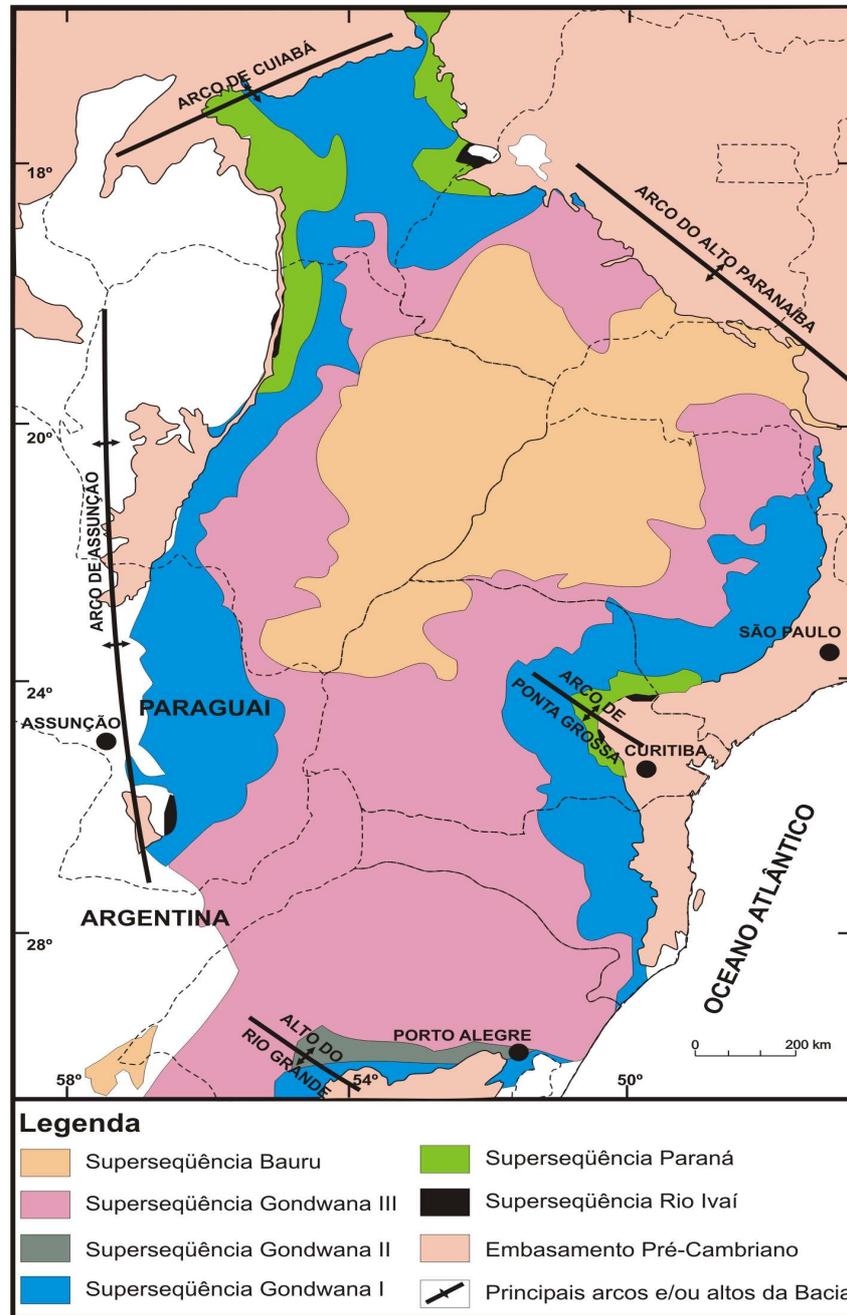


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com a divisão do registro sedimentar da Bacia do Paraná em seis superseqüências e indicação dos principais elementos estruturais da Bacia. Modificado de Milani et al. (1998).

II.1.1. Arcabouço Tectônico

A Bacia do Paraná corresponde a uma sinéclise intracontinental, desenvolvida sobre rochas metamórficas formadas no Evento Brasileiro 800 a 450 Ma (Milani *et al.*, 1998). Seu maior eixo está alinhado na direção NE-SW (figura 3a). Os mecanismos estruturais que permitiram sua abertura são pouco conhecidos. A hipótese mais aceita é a de abertura por fraturas interiores (Raja Gabaglia & Figueiredo, 1990), sobre as quais foram desenvolvidos *grabens* alongados, com direção NE-SW (Milani *et al.*, 1996).

A configuração tectônica da bacia é resultante da movimentação de estruturas regionais ativas em diferentes épocas e com diferentes direções. Estas estruturas muitas vezes se interceptam (figura 3a), e estabelecem na bacia uma compartimentação em blocos estruturais (Zalán *et al.*, 1990; Pereira, 2000). Algumas destas tiveram um caráter sindeposicional e controlaram os depocentros da bacia e variações faciológicas laterais (Ramos, 1970), devido a modificações no espaço disponível para a acumulação dos sedimentos.

Curvas de subsidência apresentadas por Quintas *et al.* (1997) indicam três grandes episódios distensivos principais, com idades de 440Ma, 350Ma e 144Ma. Estes eventos estão associados à preservação de importantes registros sedimentares na bacia e correspondem às deposições das seqüências siluriana e devoniana, do Grupo Itararé e aos derrames da Formação Serra Geral.

Estudos de anomalias de espessuras realizados por Artur & Soares (2002), indicam que no Devoniano, as principais estruturas da bacia estavam relacionadas a altos e baixos estruturais sindeposicionais alongados para NW e estruturas NE-SW, com controle estrutural da sedimentação. Esta estruturação permitiu uma diferenciação em duas sub-bacias, quais sejam: Apucarana, a sudoeste, e Alto Garças, a noroeste (figura 3b). Cabe ressaltar que a primeira apresenta registros de ambientes deposicionais mais profundos (Ramos 1970; Assine *et al.*, 1998).

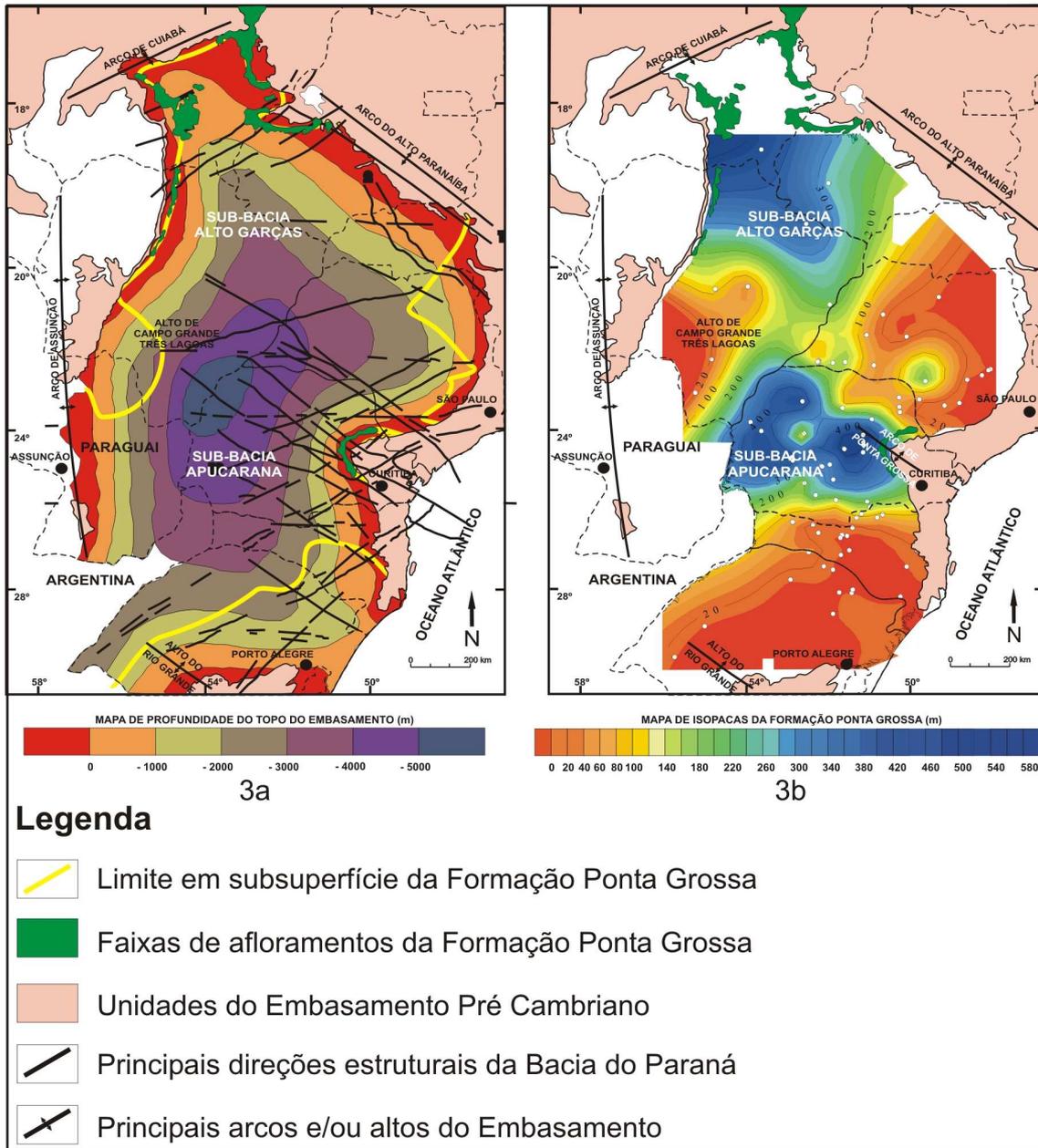


Figura 3 – a – Mapa de contorno estrutural do topo do embasamento, com as principais direções estruturais e a distribuição em subsuperfície e faixas de afloramentos da Formação Ponta Grossa, modificado de. Ramos (1970); Zalán et al. (1990); Assine et al. (1998). **b** – Mapa de isopacas da Formação Ponta Grossa com a divisão nas sub-bacias Apucarana e Alto Garças, modificado de. Assine et al. (1998); Corrêa & Pereira (2005).

II.1.II. Estratigrafia

Durante a evolução tectônica da Bacia do Paraná ocorreram vários episódios de sedimentação e vulcanismo, que deixaram como registro sedimentar rochas de idades paleozóicas, mesozóicas, lavas basálticas e, localmente, rochas cenozóicas (Schneider *et al.*, 1974; Milani *et al.*, 1998). O estudo deste registro sedimentar apresenta grande importância, pois o mesmo é a representação direta dos eventos geológicos ocorridos no planeta desde a formação do supercontinente Gondwana.

Estes registros foram classificados por Soares *et al.* (1978) e Milani (1997), de acordo com sua associação a estes eventos. Serão utilizados os conceitos propostos por Milani (1997) que caracterizou para a Bacia do Paraná seis superseqüências denominadas: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru.

A superseqüência Rio Ivaí representa o intervalo Ordoviciano – Siluriano e agrupa as rochas sedimentares mais antigas da bacia (Milani *et al.*, 1994), em uma unidade litoestratigráfica definida como Grupo Rio Ivaí.

Ocorrem a partir da base, da seqüência Rio Ivaí, pacotes de arenito (Formação Alto Garças), sotopostos por diamictitos (Formação Iapó). Folhelhos e siltitos marinhos denominados Formação Vila Maria (Milani *et al.*, 1994), que representam a primeira incursão marinha (transgressão) na bacia caracterizada por sua assembléia fossilífera marinha, com destaque à presença de trilobitas (Andrade & Camarço, 1980).

No Devoniano ocorre a implantação de um novo ciclo transgressivo-regressivo, que caracteriza a superseqüência Paraná (Milani, 2004), representada pelo grupo homônimo. Este grupo compreende, a partir da base, a Formação Furnas, com depósitos fluviais, transicionais e costeiros (Bergamaschi, 1992), e a

Formação Ponta Grossa composta por folhelhos, siltitos e arenitos, depositados em ambiente marinho pouco profundo (Schneider *et al.*, 1974; Andrade & Camarço, 1982). Este ambiente era um grande golfo com efetiva conexão com as incursões de águas oceânicas do Panthalassa a oeste (Milani, 2004). A partir do Neo – Emsiano / Eifeliano, foi desenvolvida a ligação entre as Bacias do Paraná e do Parnaíba (Melo, 1985). Nesta idade, foi estabelecido um extenso mar interior (figura 4), com importantes modificações ambientais refletidas na sucessão faunística (Almeida & Carneiro, 2004).

A expressiva erosão carbonífera registrada por toda a bacia, marca o limite basal da superseqüência Gondwana I. Os registros referentes a esta superseqüência são observados do Carbonífero ao Triássico Inferior e englobam as rochas dos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. Essas unidades são representadas, respectivamente, por depósitos de ambiente glacial, depósitos deltáicos e de plataforma marinha rasa. Por fim, passam a prevalecer condições de mares restritos com tendência a continentalização (Milani *et al.*, 1994).

Os registros das três superseqüências restantes correspondem a um contexto francamente continental, oriundo dos processos de continentalização e, em paralelo, de desertificação, iniciados durante o Triássico Inferior. Foram denominadas por Milani (1997), como Gondwana II, Gondwana III e Bauru e compreendem registros sedimentares do Triássico, Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior e Cretáceo Superior.

A Superseqüência Gondwana II é composta por arenitos acumulados em sistemas flúvio-eólicos e lacustres rasos, das formações Pirambóia e Rosário do Sul (Schneider *et al.*, 1974). A superseqüência Gondwana III corresponde a um sistema desértico, marcado por campos de dunas da Formação Botucatu e de derrames basálticos da Formação Serra Geral, relacionados ao magmatismo inicial da abertura do Atlântico Sul, por vezes ocorrendo intercalados. Os últimos registros correspondem aos depósitos continentais areno-conglomeráticos dos

Grupos Bauru e Caiuá que ocuparam a depressão gerada por subsidência, relativa a carga dos derrames basálticos (Milani *et al.*, 1994).

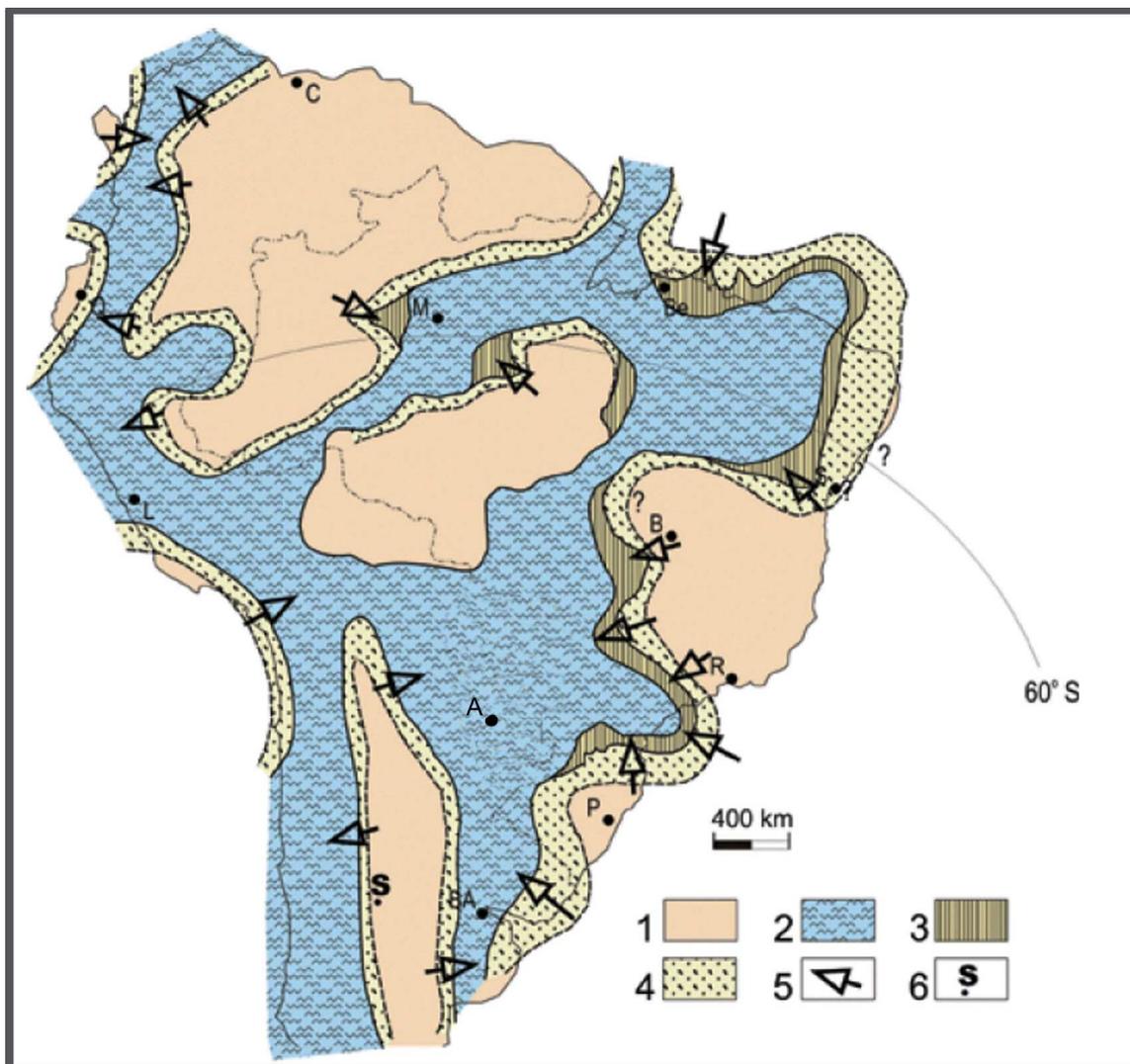


Figura 4 – Reconstrução paleoambiental da distribuição das terras emersas e área do mar epicontinental Devoniano durante o evento de inundação do Emsiano Superior/Eifeliano, 390 Ma. Retirada de Almeida & Carneiro, (2004) e Milani (comunicação verbal). Legenda: 1 - Área emersa; 2 - Ambientes sedimentares marinhos; 3 - Ambientes transitacionais; 4 - Ambientes sedimentares não-marinhos; 5 - Setas indicativas das principais direções de aporte sedimentar; 6 - Posição estimada do Pólo Sul. Cidades: A - Assunção; B - Brasília; BA - Buenos Aires; Be - Belém; C - Caracas; L - Lima; M - Manaus; P - Porto Alegre; Q - Quito; R -Rio de Janeiro; S – Salvador.

II.II. Borda Leste da Bacia do Paraná

As rochas paleozóicas da bacia têm boa exposição na borda leste da Bacia do Paraná como resultado do soerguimento mesozóico do Arco de Ponta Grossa, uma feição estrutural marcante na bacia, cuja gênese é comumente associada a eventos magmáticos juro-cretácicos relacionados à abertura da margem atlântica. A esses eventos magmáticos se associam freqüentemente corpos intrusivos básicos, que na região do Arco de Ponta Grossa, em geral, preenchem fraturas de direção NW.

Ramos (1970) sugere, com base em mapas de isópacas, que a atividade tectônica do Arco de Ponta Grossa teve início durante o Permiano Inferior, tendo em vista a diminuição de espessuras de unidades pós-carboníferas neste domínio.

Esta faixa de afloramentos paleozóicos é uma área de interesse científico, pois permite o estudo em superfície e/ou em aquisições rasas em subsuperfície das rochas depositadas durante o Paleozóico, auxiliando na compreensão da evolução da bacia. Os depósitos da Formação Ponta Grossa, que ocorrem nesta área, correspondem à plataforma marinha (Assine *et al.*, 1998) e situações costeiras (Popp & Barcellos-Popp, 1986) do mar devoniano.

II.III. Formação Ponta Grossa

As rochas aflorantes na região de Ponta Grossa no Estado do Paraná foram designadas como folhelhos Ponta Grossa por Oliveira (1912). Geograficamente, a unidade cunhada como Formação Ponta Grossa distribui-se do Norte do Estado de Santa Catarina, a sul, até os Estados de Mato Grosso e Goiás, a norte.

O ambiente deposicional da Formação Ponta Grossa é representado por uma plataforma marinha em rampa de águas pouco profundas, conforme exposto na figura 5 (Schneider *et al.*, 1974; Andrade & Camarço, 1980; Assine *et al.*, 1994). Em geral, esta se apresentava dominada pela ação de ondas, com forte

influência de tempestades, sendo o registro sedimentar desenvolvido por sedimentações episódicas (Assine *et. al.*, 1998). Este ambiente está sujeito a variações ambientais de diferentes escalas e devido ao caráter do seu registro possibilita a identificação de eventos e ciclos sedimentares de ordens hierárquicas distintas.

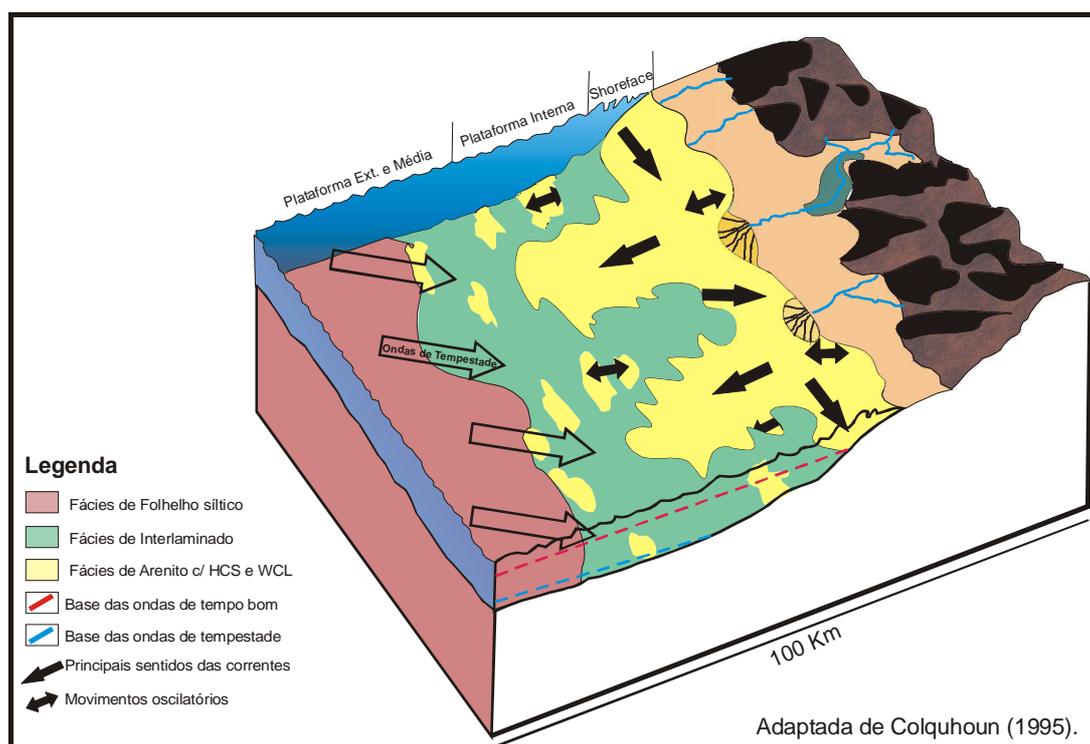


Figura 5 – Representação esquemática de um sistema de plataforma marinha rasa, com destaque para os principais ambientes deposicionais, tipos de sedimentos predominantes em cada área e principais dinâmicas ambientais que podem influenciar a distribuição dos sedimentos à época da sedimentação.

Esta unidade foi dividida por Lange & Petri (1967) em três membros denominados, a partir da base, de Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos. Esta divisão pode ser visualizada na figura 6. O primeiro é caracterizado por folhelhos silticos, com freqüente bioturbação, rica assembléia fóssil e por intervalos de folhelhos pretos, com teores altos de matéria orgânica. A idade atribuída a este

membro é praguiana-emsiana e apresenta espessuras que variam, entre 50 e 100 metros (Assine *et al.*, 1998).

O Membro Tibagi (Eifeliano), figura 6, representa progradações de sistemas deltáicos, em um trato de sistema de mar alto, conforme afirmam Popp & Barcellos-Popp (1986). Segundo Assine *et al.* (1994), tais progradações se desenvolveram em resposta a reativações tectônicas nas áreas fonte, com a promoção do aumento do aporte de sedimentos terrígenos. Em geral, os sedimentos deste membro são marcados pela presença de corpos de arenito finos, com geometria lenticular, intercalados com folhelhos sílticos.

Por fim, em resposta ao retorno do caráter transgressivo global notado na base do Membro São Domingos (Assine *et al.*, 1994). No Givetiano, foram depositados folhelhos em condições de plataformas relativamente mais profundas. Esta tendência prossegue até a superfície de inundação máxima da seqüência devoniana, localizada próximo ao limite do Givetiano/Frasniano. A partir de então, prevalece uma tendência regressiva (Popp & Barcellos-Popp, 1986).

A existência de folhelhos, com teores relativamente elevados de matéria orgânica, associados a superfícies de inundação marinha, faz com que a Formação Ponta Grossa apresente intervalos potencialmente favoráveis à geração de hidrocarbonetos. Este aspecto sugere que tais intervalos possam constituir a fonte de hidrocarbonetos gasosos acumulados nos arenitos do Grupo Itararé e/ou da Formação Rio Bonito (Milani *et al.*, 1998).

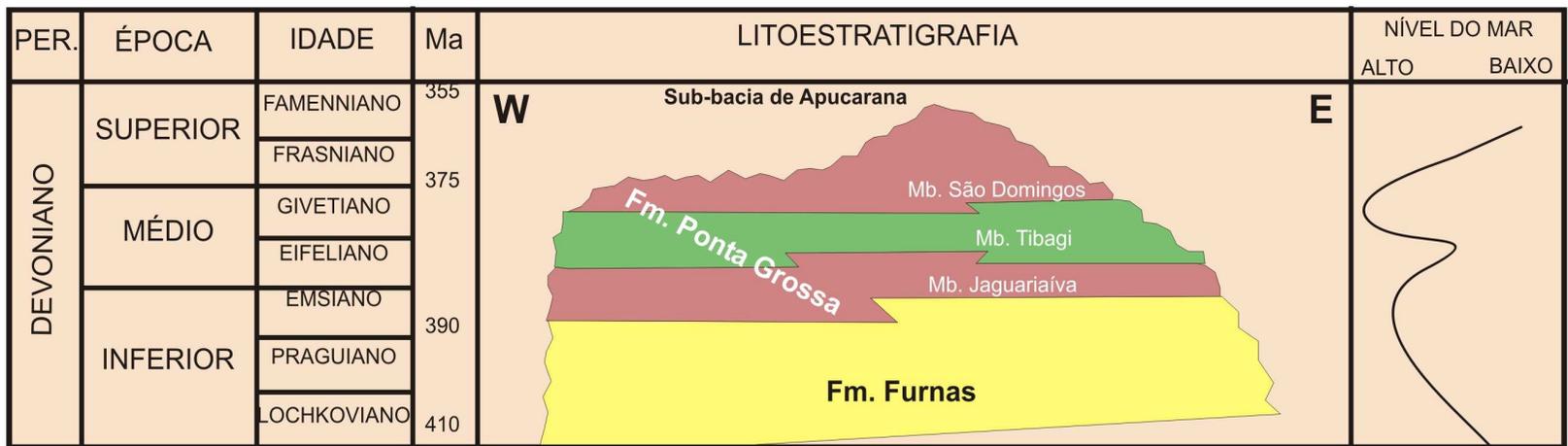
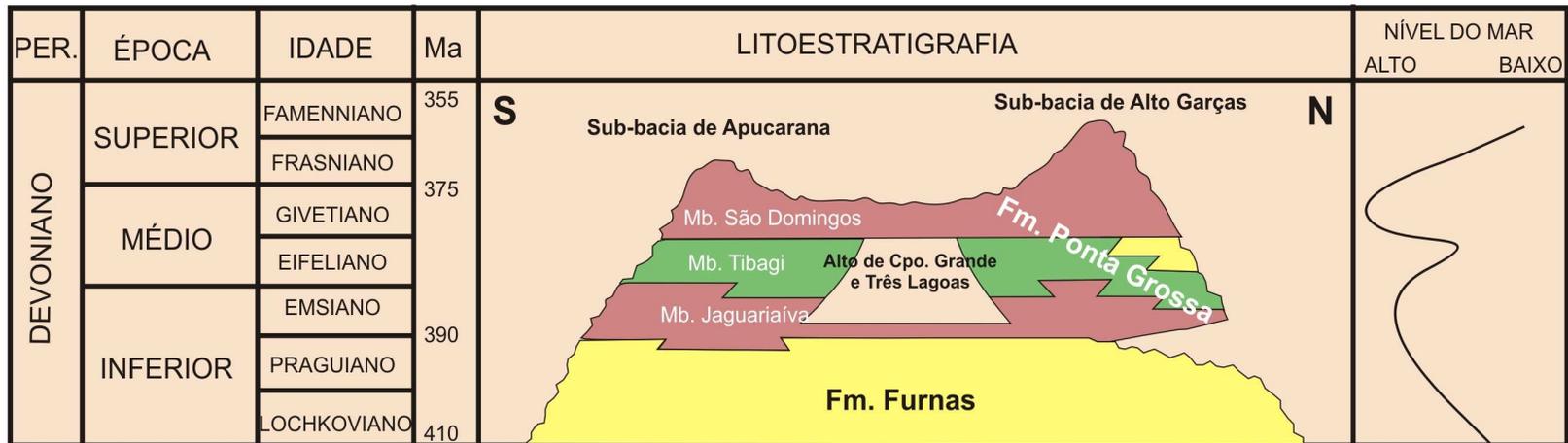


Figura 6 – Seções estratigráficas regionais (N-S e E-O), representativas do Devoniano na Bacia do Paraná, com destaque para a subdivisão da Formação Ponta Grossa em membros, indicação dos principais eventos deposicionais e da curva relativa de variação do nível para o Devoniano. Modificado de Pereira et al. (1998) e Assine et al. (1998).

Capítulo III. Métodos

Neste capítulo, serão descritos os procedimentos utilizados no tratamento dos dados desta pesquisa, bem como as premissas conceituais que permitem a sua utilização.

III.I. Sedimentologia

III.I.I Bases Conceituais

Della Fávera (2001) define fácies sedimentar como sendo um corpo de rocha sedimentar reconhecido por um conjunto de feições sejam físicas, químicas ou biológicas, que envolvem a litologia, a cor, a geometria, a paleocorrente e assembléia fossilífera. Estas são originadas a partir de determinado processo sedimentar, na maior parte, brusco e de alta energia (sedimentação episódica).

Compreende-se como processo, os fenômenos naturais, regidos pelas leis físicas universais, e que por este motivo podem ocorrer em diferentes ambientes deposicionais. Assim, na interpretação do ambiente deposicional devem ser considerados o arranjo e associação destas fácies no registro sedimentar, ao invés das fácies como um elemento isolado.

O registro sedimentar, então, é aceito como a representação das variações nas características faciológicas observadas, e reflete as modificações dos ambientes deposicionais ao longo do tempo geológico. O ambiente marinho é o que melhor registra estas variações, por ser bastante suscetível às oscilações relativas do nível do mar, em especial aquelas de caráter climático (Algeo *et al.*, 2004).

Assim, durante fases de queda do nível relativo do mar haveria de forma contemporânea à exposição de áreas rasas da bacia, a implantação de sistemas deposicionais continentais e o recuo das fácies de zonas mais profundas.

Posteriormente, com eventuais subidas do nível do mar, os sistemas marinhos avançariam sobre os sistemas continentais, até o afogamento máximo da bacia. De forma geral, estes são os principais elementos que conceituam as seqüências deposicionais (Della Fávera, 2001).

Deste modo, a descrição dos testemunhos das sondagens analisadas nesta pesquisa torna-se um instrumento importante à interpretação do ambiente no qual os sedimentos foram depositados, por meio da visualização de fácies sedimentares. Além disso, a descrição das fácies e a classificação litológica das amostras têm importante função prática, tanto na construção do perfil e/ou coluna estratigráfica, quanto na comparação direta com as análises de outros perfis disponíveis.

III.I.II. Procedimentos

Com base nestes conceitos, realizou-se a descrição dos testemunhos das sondagens em escala vertical de 1:200, sendo esta realizada no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da UERJ.

Foram elaborados perfis sedimentológicos que possibilitassem em etapas posteriores a realização de interpretações ambientais, pela associação das fácies sedimentares do registro sedimentar, em conjunto com a análise das demais ferramentas utilizadas na pesquisa. Desta forma, foi possível estabelecer seções de correlação estratigráfica entre os poços de mesma idade, destacando a variação das fácies sedimentares.

Os perfis geológicos foram digitalizados com o programa de gráficos vetoriais Corel *Draw* 10, em escala vertical de 1:500, elaborada pelo programa *Grapher* 2.0. As litologias foram representadas de acordo com sua faixa granulométrica predominante através de escala sedimentológica, simbologia e

cores específicas, com o objetivo de facilitar a visualização da associação e do empilhamento destas no registro sedimentar.

A legenda com as convenções de cor e símbolos estratigráficos utilizados pode ser observada na figura 7.

1 - estruturas físicas primárias (sindeposicionais)		3 - estruturas biogenéticas	
M Maciço		 Bioturbação fraca	
 Estratificação ou Laminação plano-paralela		 Bioturbação moderada	
 Estratificação cruzada sigmoidal		 Bioturbação intensa	
 Estratificação cruzada ondulante truncada		 Perfuração (<i>boring</i>)	
 Estratificação cruzada por onda (<i>hummocky</i>)		 Escavação em geral (<i>burrows</i>)	
 Flaser		 <i>Zoophycos</i>	
 Granodecrescência ascendente (<i>finning-upward</i>)		4 - feições diagenéticas	
 Granodecrescência descendente (<i>coarsening-upward</i>)		 Concreções de sulfetos	
 Filmes de argila		 Concreções calcílicas	
 Contato erosivo		5 - constituintes biogênicos	
 Contato normal		 Fósseis	
2 - estruturas físicas secundárias (quasi e pós-deposicionais)		 Braquiópodes	
 Estrutura em chama		 Restos vegetais	
 Pilar		6 - litologia	
 Falha normal		 Folhelho	
FRAT. Fratura		 Interlaminado	
 Slinkensides		 Arenito fino/mto fino	
		 Arenito médio	
		 Arenito grosso	

Figura 7 – Legenda com as convenções e simbologias utilizadas para a caracterização de estruturas sedimentares primárias e secundárias, como também para indicação litológica e da presença de fósseis nos perfis dos poços estudados.

III.II. Teores de Carbono Orgânico Total (COT)

III.II.I. Bases Conceituais

Em um ambiente marinho, a acumulação e a preservação da matéria orgânica são influenciadas pela coexistência de vários fatores, que por sua vez são controlados por variações climáticas e por modificações de caráter tectônico na morfologia da bacia (de Hass *et al.*, 2002). Deste modo, a concentração de matéria orgânica nos sedimentos é uma importante ferramenta na compreensão dos diferentes eventos que ocorreram na bacia, os quais podem ser representados por seqüências deposicionais. O teor de matéria orgânica também é um fator fundamental na formação de rochas geradoras de hidrocarbonetos, por serem estes os produtos da transformação termoquímica da matéria orgânica.

Entre os diferentes fatores que influenciaram a acumulação e a preservação da matéria orgânica, alguns são indicados como preponderantes. Demaison & Moore (1980) indicam que o principal fator que favoreceria a preservação da matéria orgânica seria a existência de uma coluna d'água e/ou águas de fundo com níveis de baixa oxigenação ou de caráter anóxico durante a deposição. Esta baixa oxigenação diminuiria ou evitaria a oxidação da matéria orgânica, como também, limitaria o retrabalhamento dos sedimentos pela ação de organismos bentônicos.

Pedersen & Calvert (1990) justificam que o principal controle na acumulação é realizado por modificações na taxa de produtividade primária de matéria orgânica por organismos planctônicos. Uma maior taxa de produtividade primária, possibilita maiores concentrações de matéria orgânica na coluna d'água, e deste modo aumentam a probabilidade de preservação, mesmo em condições ambientais favoráveis a oxidação e a decomposição.

Atualmente, é admitida a coexistência entre estes dois fatores na preservação e acumulação da matéria orgânica. No entanto, também podem ser associadas influências de variações na taxa de sedimentação, que controla a capacidade de soterramento e a chegada à bacia de nutrientes e de matéria orgânica terrestre, além de eventos anóxicos globais (Calvert *et al.*, 1996; Algeo *et al.*, 2004; Rimmer *et al.* 2004, Rodrigues, 2005).

Os teores de carbono orgânico total (COT) são referentes à quantificação da matéria orgânica (querogênio e betume) preservada em diferentes litologias (Trigüis & Araújo, 2001). Em geral, os maiores teores de COT expressam condições marinhas transgressivas e são observados nas superfícies de máxima inundação. Estas superfícies de inundação estão diretamente relacionadas com os fatores necessários para a preservação da matéria orgânica, como anoxia, alta produtividade de organismos e a entrada de nutrientes no ambiente marinho.

III.II.II. Processamento das amostras

O processamento das amostras para quantificação dos teores de COT foi realizado em etapas prévias desta pesquisa inseridas no projeto Paleosul.

As amostras coletadas nos testemunhos foram maceradas nas porções mais representativas da fácies sedimentar observada, em grãos com diâmetro inferior a 80 microns (0,177mm). Etapa posterior envolveu o tratamento químico do material macerado, na qual aproximadamente 0,25 mg submetidos à acidificação a frio com HCl a 50%, para eliminação de carbonatos, seguida de lavagem para eliminação de cloretos originados pela acidificação e secagem do material em banho de luz.

Os teores de COT foram mensurados no equipamento LECO-SC444.a partir do resíduo obtido após o tratamento químico. O processo de medida dos teores de COT é realizado pela combustão da matéria orgânica, à temperatura de

1350° C, Durante a combustão, há liberação de dióxido de carbono (CO₂), o que permite a determinação dos teores de COT, no detector de infravermelho.

Todos os procedimentos foram realizados no LGPA da UERJ. A operação do LECO SC-444 e as etapas posteriores à maceração foram realizadas pelo técnico responsável do Laboratório de Geoquímica Orgânica da UERJ.

A partir dos dados obtidos, foram construídos os perfis de teores de carbono orgânico total e enxofre dos poços. Foi utilizado o programa *Grapher 2.0*, o qual gerou gráficos de dispersão, relacionando a profundidade de cada amostra com os respectivos teores de COT.

III.III Gamaespectrometria

III.III.I Bases Conceituais

A gamaespectrometria fornece informações sobre a radioatividade natural das rochas por meio da leitura de emissões de partículas gama provenientes de isótopos radioativos. Os isótopos, ⁴⁰K, ²³²Th e ²³⁸U são os mais comuns em rochas sedimentares (Ellis, 1987). Em geral, perfis de raios gama são utilizados para caracterizar a argilosidade das rochas, e com frequência, é a primeira ferramenta de correlação de poços na exploração de hidrocarbonetos (Ellis, 1987; Svendsen & Hartley, 2001).

No ambiente de sedimentação, os isótopos de K, U, e Th são acumulados de modo distinto, devido às características químicas de cada um. Adams & Weaver (1958) sugerem que a razão Th/U caracteriza diferentes litologias em ambientes continentais e em ambientes marinhos diferenciados (figura 8). Em síntese, K e U são considerados mais solúveis em relação ao Th nos processos de intemperismo (Ruffell & Worden, 2000). Contudo, K apresenta alta correlação com Th, por serem comuns em minerais detríticos (Jones & Manning, 1994).

Isótopos de K são encontrados em sais de potássio, grãos de K-feldspato, aluminossilicatos e argilominerais, enquanto minerais de U e Th são raros em rochas sedimentares (Ellis, 1987). Concentrações de Th são associadas a minerais resistentes, como monazita e zircão, devido à imobilidade do Th durante o intemperismo. Em oposição, o U solúvel em ambientes óxicos passa a insolúvel em ambientes redutores, nos quais apresenta afinidade por matéria orgânica e é fixado como U autigênico (Ellis, 1987; Wignall & Myers, 1988; Jones & Manning, 1994).

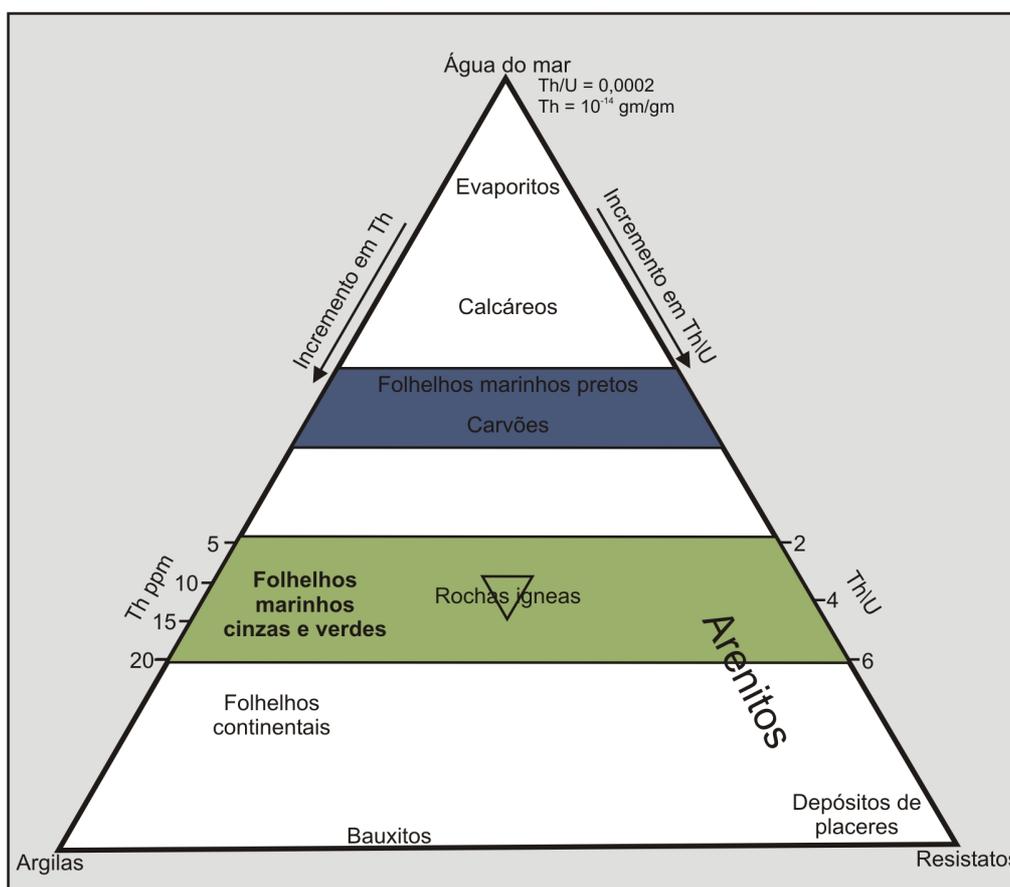


Figura 8 – Diagrama conceitual sugerido por Adams & Weaver (1958) à distribuição de Tório e Urânio em sedimentos e classificação litológica. Quanto maior a concentração de Th nas rochas maior será sua afinidade com ambientes sedimentares continentais.

Quando isótopos de potássio (K), Urânio (U), e Tório (Th) são separados no espectro de energia e em suas concentrações nas amostras é possível avaliar as razões Th/U e Th/K e a associação de cada elemento com outros dados geoquímicos (Lüning & Kolonic, 2003; White & Arthur, 2006).

A razão Th/U, sobre a qual será mantido o foco da gamaespectrometria nesta pesquisa, é indicativa de variações do nível do mar e caracteriza, muito bem, as condições de oxigenação paleoambientais. Deste modo, é útil para definir ciclos e superfícies deposicionais no registro sedimentar. Pode ser explicada devido a pouca afinidade entre os dois elementos e suas relações com a variação do potencial redox no ambiente deposicional e a taxa de deposição de sedimentos (Adams & Weaver, 1958; Jones & Manning, 1994; Dypvik & Harris, 2001; Doveton & Merriam, 2004), conforme modelo na figura 9.

A razão entre Th/K é indicativa da mineralogia de argilas presentes nas rochas sedimentares (Ellis, 1987; Doveton & Merriam, 2004). Em rochas com baixa diagênese, a mesma pode ser utilizada na caracterização de eventos paleoclimáticos (Lauer-Lauredde *et al.*, 1998; Schnyder *et al.*, 2006). Entretanto, devido à intensa diagênese observada nas rochas da Formação Ponta Grossa (Freitas-Brazil, 2004) com a formação de caulinita e ilitas autigênicas, a razão Th/K torna-se pouco representativa e não será utilizada nesta pesquisa.

Assim, a gamaespectrometria permite discutir os principais eventos que influenciaram a deposição dos sedimentos entre os quais podem ser listadas modificações nas dinâmicas dos ambientes deposicionais, modificações na paleogeografia da bacia e áreas emersas adjacentes, variações paleoclimáticas de caráter regional e local e variações relativas do nível do mar, expressas pela distinção de eventos regressivos e transgressivos, além de superfícies de afogamento marinho (Davies & Elliot, 1996, Ruffel & Worden, 2000, Doveton & Merriam, 2004).

Na Formação Ponta Grossa o método respondeu de modo satisfatório para o detalhamento estratigráfico de alta resolução, pois permitiu a identificação de ciclos deposicionais e modificações ambientais de altas frequências e sua correlação em subsuperfície (Rezende & Bergamaschi, 2006).

III.III.II Procedimentos

Os dados foram obtidos em contagens por segundo e teores de Tório (ppm), Urânio (ppm), e Potássio (%) com o instrumento GRS-2000 (*Gf Instruments*), do Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, UERJ. A gamaespectrometria foi realizada sobre material pulverizado a 80 mechs de amostras coletadas em testemunhos, com um espaçamento sistemático entre cada amostra de 30 cm nos poços 1, 2 e 4 e de 60 cm no poço 3.

O intervalo de leitura utilizado foi de dois minutos por amostra, sugerido na literatura (McRoberts *et al.*, 1997), o qual foi considerado como satisfatório para a aquisição dos dados, visto os valores relativos obtidos em repetições de algumas amostras, a maioria dentro da precisão do equipamento, avaliada pelo fabricante em 10%.

Os valores da concentração dos elementos foram convertidos para unidades API, padrão de referência internacional, criado pelo *American Petroleum Institute*. A conversão foi realizada por meio de equação sugerida na literatura (Ellis, 1987; Doveton & Merriam, 2004), onde:

$$\text{API} = 4 \text{ Th (ppm)} + 8 \text{ U (ppm)} + 16 \text{ K (\%)}$$

O U autigênico foi calculado utilizando a equação sugerida por Wignall & Myers (1988), na qual:

$$(\text{U autigênico}) = (\text{U total}) - \text{Th}/3$$

Esta relação entre os isótopos é calibrada por valores encontrados em amostras de referência internacionais, que consideram as concentrações médias de cada isótopo na rocha. As amostras desta pesquisa apresentam valores mais próximos àqueles da amostra de referência de *North American Shale Composite* (NASC), os quais são Th 12,3 ppm; U 2,66 ppm e K 3,2 % (Doveton & Merriam, 2004).

As curvas de API e de concentrações de elementos foram suavizadas, a fim de obter uma melhor distribuição das medidas, com o programa *FindGraph 2.0*. Foi utilizado um algoritmo que promove o melhor ajuste entre as médias de três amostras adjacentes.

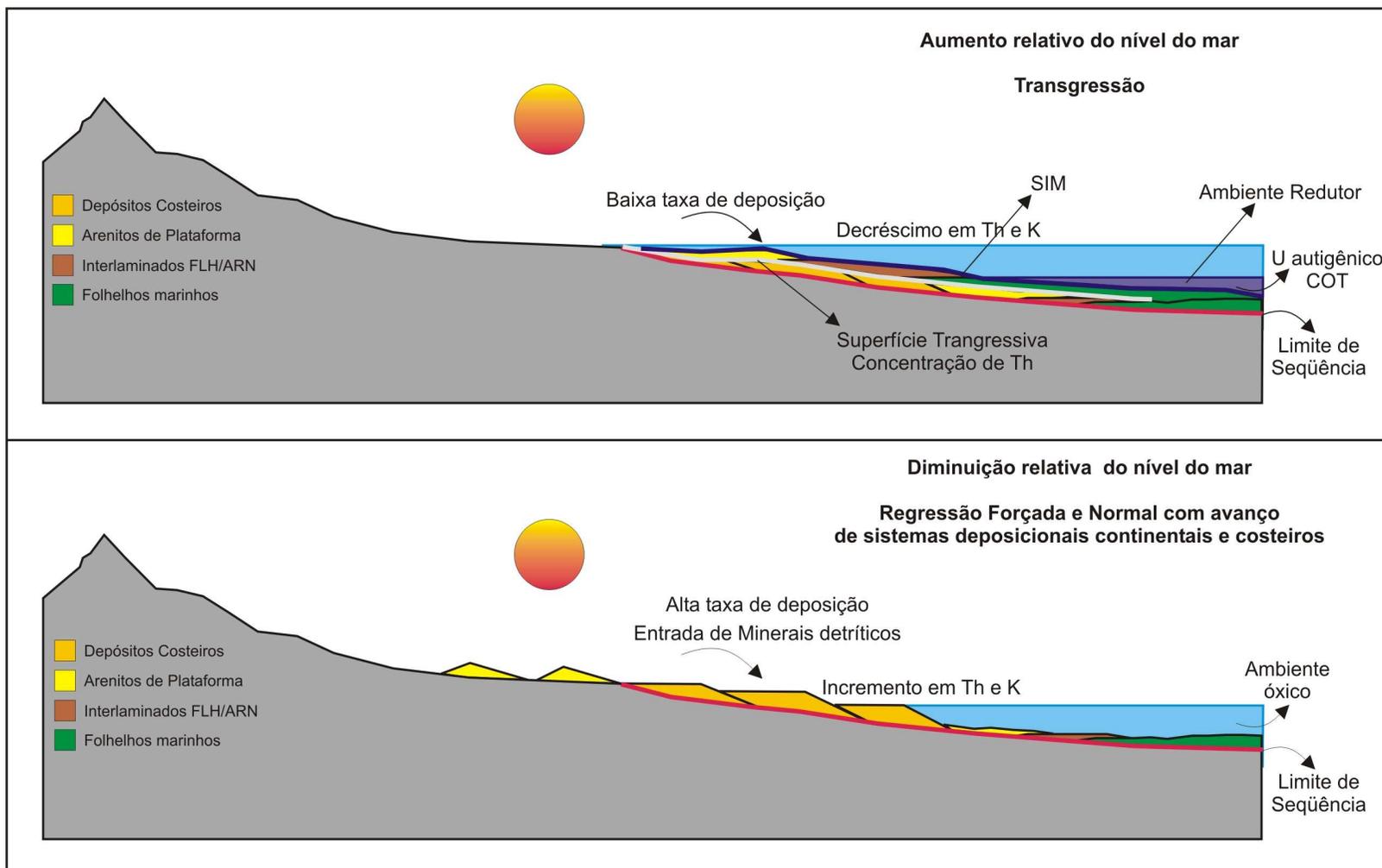


Figura 9 – Modelo conceitual simplificado sobre a resposta dos isótopos radioativos de U, Th e K, mensurados nas rochas por gamaespectrometria, às modificações nas condições paleoecológicas e deposicionais do ambiente sedimentar durante fases de variação relativa do nível do mar, bem como suas relações com superfícies estratigráficas.

III.IV Pirólise Rock-Eval

Os dados de pirólise utilizados foram obtidos em amostras do testemunho do poço 3 e estavam disponíveis na base de dados do Projeto Paleosul (Finep/Uerj/Petrobrás). Assim, não foram realizados procedimentos de aquisição de novos dados deste método nesta pesquisa.

III.IV.I Bases Conceituais

A pirólise tem grande utilidade nas análises geoquímicas por fornecer informações sobre a quantidade e qualidade da matéria orgânica presente em rochas sedimentares. Como também, por possibilitar discutir o grau de maturação atingido pela matéria orgânica (Espitalié *et al.*, 1986, Erik *et al.* 2006). A mesma consiste em realizar a transformação térmica da matéria orgânica em laboratório, aquecendo as amostras em uma faixa de temperatura entre 100 e 650° C, em atmosfera inerte (N₂).

Durante esse processo são liberados hidrocarbonetos voláteis, mensurados pelo equipamento, que representam a quantidade de hidrocarbonetos livres presentes na amostra à 300° C (pico S1), a quantidade de hidrocarbonetos gerados durante o processo entre 300 e 550° C (pico S2) e a quantidade de CO₂ liberado da matéria orgânica a partir de 570° C (pico S3). S1 caracteriza a quantidade de hidrocarbonetos gerados durante a maturação da rocha e S2, o potencial de hidrocarboneto a ser gerado (Sanei *et al.*, 2005; Erik *et al.*, 2006).

Além disso, os picos S2 e S3, quando normalizados com o teor de COT da amostra, fornecem os índices de hidrogênio (IH) e oxigênio (IO) expressos em mg HC/g COT e mg CO₂/g COT, respectivamente (Sanei *et al.* 2005). Estes índices são utilizados para estimar a qualidade e classificar a matéria orgânica em tipos I, II ou III, a partir de um diagrama de dispersão x,y (figura 10), adaptado por Espitalié *et al.* (1977) das relações atômicas do diagrama de Van Krevelen (Tissot & Welte, 1984; Trigüis & Araújo, 2001; Sanei *et al.* 2005).

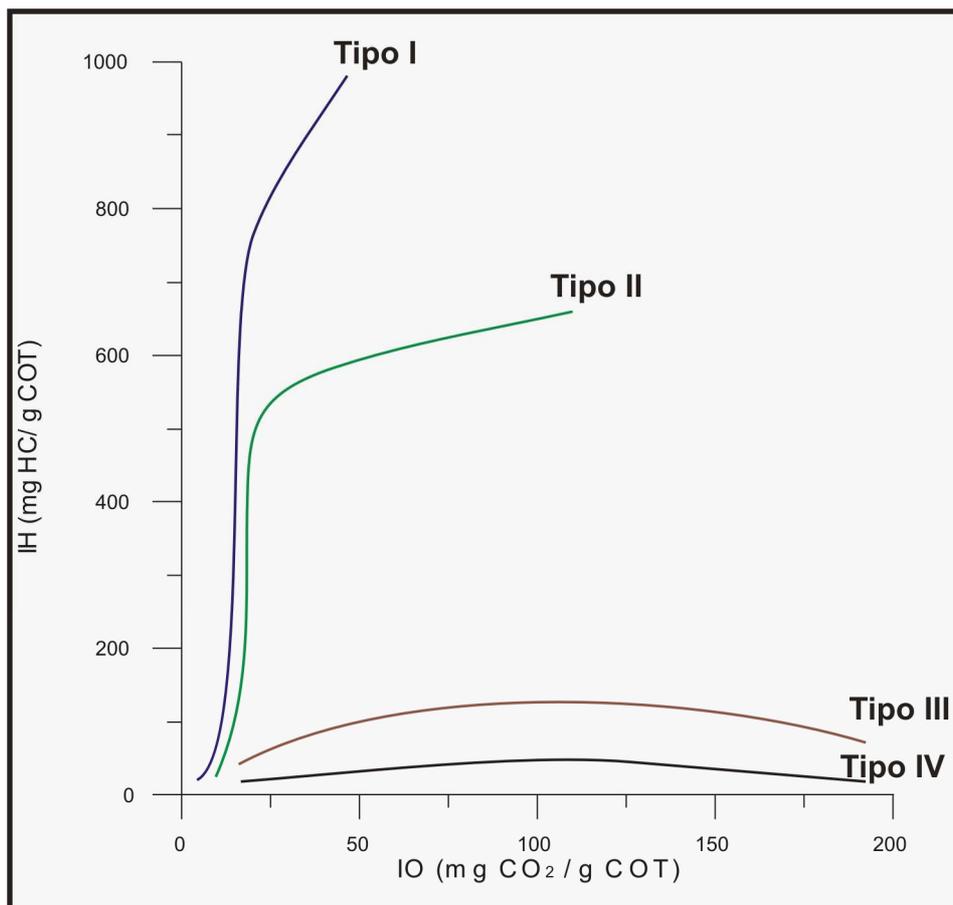


Figura 10 – Diagrama de distribuição entre o índice de hidrogênio e o índice de oxigênio (“Van Krevelen”), mensurados por meio da normalização dos dados de S2 e S3 obtidos por Pirólise Rock Eval com os dados de COT, a fim de classificar e qualificar a matéria orgânica existente nas rochas, modificado de Peters, (1986); Hunt, (1995).

Capítulo IV. Análise Estratigráfica

Após as etapas de descrição das fácies e processamento das amostras, iniciou-se a etapa principal da pesquisa, cujo objetivo foi interpretar com maior detalhe os dados dos poços, estabelecendo os limites e unidades estratigráficas como as seqüências deposicionais e os tratos de sistema, de terceira e quarta ordens, a partir da associação dos dados obtidos.

Estas unidades são representativas da evolução estratigráfica do registro sedimentar devido a variações nos ambientes deposicionais. Para a interpretação, foram utilizados os dados sedimentológicos, os dados de gamaespectrometria e da curva de COT obtida.

A seqüência deposicional pode ser definida, de acordo com Vail *et al.* (1977), como “uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados e limitada, no topo e na base, por discordâncias ou suas conformidades correlatas”.

Estas seqüências são condicionadas por oscilações relativas do nível do mar, devido a vários fatores complexos ocorridos durante o tempo geológico (figura 11), entre eles, os principais são a tectônica, a eustasia e o aporte sedimentar (Galloway, 1989, Vail *et al.*, 1997). A atuação destes fatores ao longo do tempo pode gerar uma ciclicidade no registro sedimentar, que dependendo da escala do fator condicionante apresenta diferentes ordens de magnitude e hierarquia.

Assim, uma seqüência deposicional poderia ser dividida, por suas características faciológicas e de acordo com as variações relativas do nível do mar, em trato de sistemas. Foi utilizada neste trabalho a divisão das seqüências deposicionais em três tratos de sistema, adotando-se os conceitos anteriormente sugeridos por Della Fávera (2001); quais sejam: trato de sistema de mar baixo, trato de sistema transgressivo e trato de sistema de mar alto.

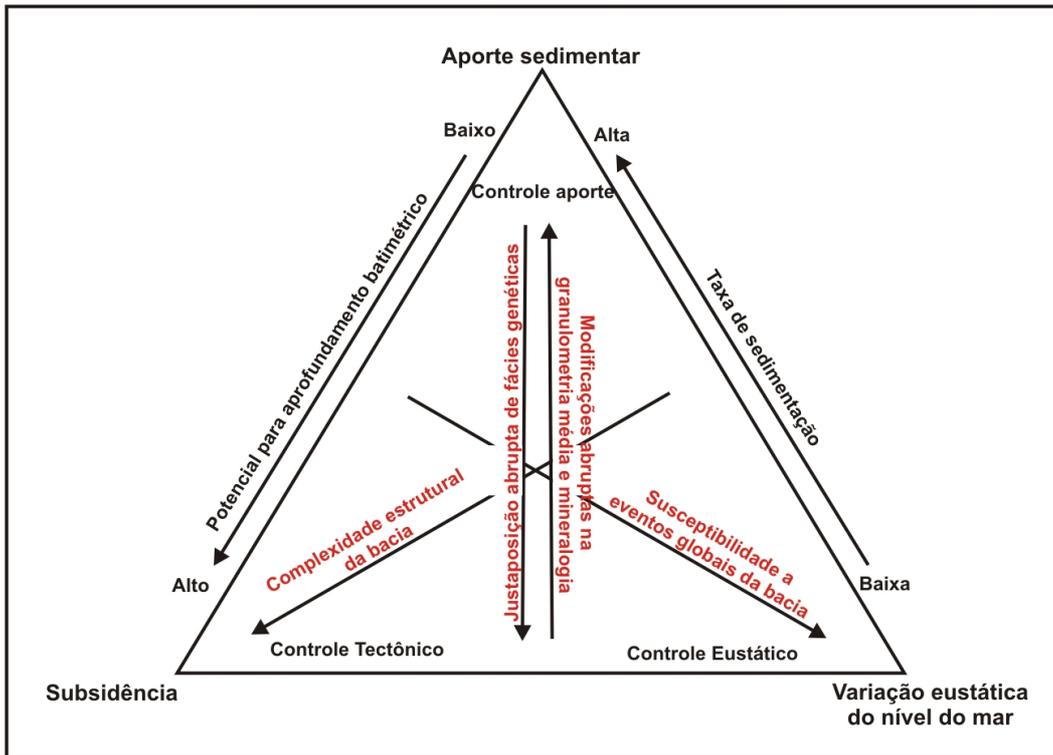


Figura 11 – Diagrama ternário sugerido por Galloway (1989), que sugere a interação entre três fatores complexos principais (eustasia, tectônica e aporte sedimentar), na construção das seqüências deposicionais durante o tempo geológico.

O trato de sistema de mar baixo pode ser compreendido como uma associação de sistemas deposicionais contemporâneos desenvolvidos em resposta a uma queda relativa do nível do mar, durante a qual pode ocorrer erosão e o avanço de fácies fluvial para dentro da bacia, aumentando o aporte de areias e a atividade biológica devido a maior oxigenação do ambiente.

O trato de sistema transgressivo se implanta na fase em que os eventos de subida relativa do nível do mar se tornam eficazes, iniciando assim, um avanço da linha de costa em direção ao continente. Desta forma, estabelece-se o afogamento gradual dos sistemas deposicionais do trato de sistema de mar baixo até que seja atingido um máximo (superfície de inundação máxima) onde, em geral, são depositados sedimentos finos e o ambiente admite caráter com baixa oxigenação.

O trato de sistema de mar alto se implanta durante a fase regressiva, quando a taxa de aporte sedimentar suplanta a taxa de geração de espaço de

acomodação, provocando o registro de progradação de fácies mais proximais, devido a uma diminuição na variação relativa do nível do mar.

Sloss (1996) sugere que em bacias intracontinentais a análise do registro sedimentar pela estratigrafia de seqüências seja feita com algumas ressalvas, em decorrência do comportamento tectônico e batimétrico diferenciados.

Bergamaschi (1999) observa que as seqüências deposicionais de terceira ordem em bacias intracontinentais apresentam algumas dezenas de metros de espessura. Este fator está relacionado às menores taxas de subsidência nestas bacias, ao comportamento da bacia como uma imensa plataforma relativamente plana e à ausência, ou imensa dificuldade no reconhecimento, do trato de sistema de mar baixo. De fato, em bacias em rampa, devido ao baixo gradiente da plataforma, a superfície transgressiva pode ocorrer em conjunto com o limite de seqüências, desde que a espessura erodida durante a subida do nível relativo do mar seja maior ou igual à profundidade dos depósitos dos vales incisos do trato de sistemas de mar baixo (Posamentier & Allen, 1999; *apud* Della Fávera, 2001).

A caracterização destas seqüências deposicionais é realizada por meio da interpretação de superfícies de inundação máxima e discordâncias por padrões distintos nos perfis dos diferentes métodos utilizados associados as fácies e estruturas sedimentares descritas nesta pesquisa. A definição destas superfícies foi realizada utilizando-se os métodos em conjunto e as modificações nas tendências. Por nem sempre um método oferecer a mesma resposta para superfícies diferentes.

Torna-se possível, com a caracterização destas seqüências deposicionais e superfícies-chaves, a correlação com outros poços de mesma idade e a identificação dos horizontes com maior potencial econômico, no caso, intervalos com potencial para geração de hidrocarbonetos. Assim, foi iniciada a correlação destes poços em uma seção norte-sul na bacia, indicada na figura

01. Tal correlação serviu de base para a discussão sobre a evolução da área durante o intervalo estudado.

Nesta pesquisa, foram utilizadas como controle estratigráfico, as seqüências de terceira ordem definidas por Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001) na seção devoniana da Bacia do Paraná, uma vez que estas seqüências apresentam um controle bioestratigráfico seguro para o intervalo estudado (Praguiano – Emsiano Superior), bem como, o registro das assinaturas em perfis das principais superfícies chaves.

Na correlação dos poços foram comparadas inicialmente às assinaturas de maior comprimento de onda, representativas das seqüências de terceira ordem, uma vez que as variações ambientais de maior magnitude sofrem menor influência de condições deposicionais de caráter local e de ciclos de mais alta freqüência.

Com a interpretação destas seqüências de terceira ordem foi realizada a divisão das mesmas em seqüências deposicionais de quarta ordem e observadas as variações de maior freqüência registradas nos perfis estudados.

Por fim, com a divisão do registro em seqüências e seus tratos de sistema, foram discutidos os possíveis controles climato-ambientais que atuaram na bacia durante o intervalo de tempo estudado e que devem ter interferido nos atributos deposicionais do registro sedimentar.

IV.1 – Descrição de fácies sedimentares

Serão descritas as cinco fácies interpretadas nos poços estudados, a fim de possibilitar a visualização da distribuição destas fácies nos perfis e avaliar os aspectos semelhantes na deposição do registro sedimentar de forma integrada. Na figura 12 podem ser visualizados os aspectos gerais de cada fácies.

Buscou-se na descrição destacar os principais atributos de modo sucinto, de acordo com a importância e a freqüência com a qual foram

observados, dentre os quais: as litologias predominantes, estruturas sedimentares e quando presentes aspectos diagenéticos e conteúdo fossilífero.

IV.I.I – Folhelho síltico com laminação plano-paralela (αa)

Folhelho síltico cinza escuro a preto, físsil, com laminação fina, plano-paralela em graus incipiente a intenso. São encontrados níveis com maior concentração de argila o que confere textura sedosa ao tato. Concreções de pirita e sulfetos ocorrem disseminadas na rocha e podem atingir tamanhos centimétricos. Os fósseis encontrados correspondem a raros fitoclastos. Atividade de bioturbação é avaliada como fraca a ausente, algo moderada, originada, principalmente, por organismos vermiformes.

IV.I.II – Siltito arenoso com laminação plano paralela bioturbado (αb)

Siltito arenoso, cinza a cinza escuro, com laminação plano-paralela incipiente a moderada, micromicáceo. São observadas concreções de sulfetos disseminadas em escala centimétrica. Bioturbações por organismos vermiformes escavadores, ocorre em graus moderados a intensos, por vezes obliterando a laminação original e confere a rocha aspecto mosqueado. Destaca-se a comum presença do icnofóssil *Zoophycos isp.* Fósseis encontrados são valvas carbonáticas e fitoclastos.

IV.I.III – Interlaminado entre folhelho síltico / arenito muito fino a fino com laminação cruzada por onda (βa)

Interlaminado de folhelho síltico cinza a cinza escuro, com laminação plano-paralela fina, moderadamente bioturbado, micromicáceo associados a camadas e lentes centimétricas, com base e topo ondulados, de arenito muito fino a fino, coloração branca a cinza claro, microestratificação cruzada por onda, estruturas tipo *wavy-linsen*, localmente bioturbado por perfurações verticais e escavações, destruindo as estruturas originais. Algumas vezes essas bioturbações favorecem formação de sulfetos na rocha.

IV.I.IV – Arenito fino com microestratificação cruzada *hummocky* ou maciço (γa)

Camadas decimétricas de arenito fino, branco a cinza claro, com microestratificação cruzada por onda e microestratificação cruzada *hummocky*, por vezes encontram-se maciças com granulometria fina a média. Apresentam bases abruptas planas a onduladas sem registros erosivos e topos ondulados, algumas vezes, representados por pequenos pulsos de granodecrescência ascendente. São descritas raras estruturas de carga e escape de fluídos. Quando ocorrem registros de bioturbação são moderados a intensos

IV.I.V – Interlaminado entre arenito fino a médio lenticular com estratificação cruzada por onda e folhelho siltico cinza bioturbado (γb)

Camadas e lentes centimétricas de arenito médio amarelado a castanho, com estratificação cruzada por onda, intercaladas com folhelho siltico bioturbado. Camadas com maior espessura apresentam base erosiva em contato abrupto com níveis de folhelho siltico. As lentes apresentam, na base, feições de carga e topo com feições de ravinamento. Observa-se registro de bioturbação moderada, representado por perfurações verticais iniciadas nos topos das lentes.



Figura 12 – Fotografias de detalhe dos principais atributos faciológicos (estruturas, litologia, coloração, assembléia icnofossilífera), que permitiram a distinção de cinco fácies sedimentares descritas nos poços estudados.

IV. II – Poço 1

IV.II.I – Estratigrafia de seqüências

Foram interpretadas no registro litológico deste poço (Figura 13), duas seqüências deposicionais de terceira ordem separadas por uma superfície de ravinamento, denominadas como seqüências deposicionais “B” e “C”. Estas seqüências são correlacionadas àquelas definidas por Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001).

A superfície de ravinamento, identificada na profundidade de 70,5 m, é expressa por uma queda acentuada nos teores de COT, nítida inflexão nos demais perfis e por distinguir dois padrões de tendência, principalmente, nos perfis de COT e de gamaespectrometria. As modificações na tendência dos perfis, entre as seqüências deposicionais, sugerem mudanças nos controles ambientais durante a deposição de cada uma.

Seqüência deposicional “B”

A seqüência deposicional “B” corresponde ao primeiro pulso transgressivo no Devoniano e apresenta forte predomínio de fácies de folhelhos sílticos e siltitos arenosos bioturbados. É identificada em perfis por tendências de retrogradação, como progressivo aumento da argilosidade, dos teores nas anomalias de COT e redução da razão Th/U. Em conjunto, estes elementos sugerem para esta seqüência deposicional, uma maior espessura do trato de sistemas transgressivo, o qual perdura até a máxima inundaçãõ da seqüência, posicionada na profundidade de 85 metros.

Entretanto, predominam teores de COT baixos, mesmo em intervalos que apresentam baixas razões Th/U. Este fato sugere que havia equilíbrio entre os fatores que controlam a concentração e preservação de matéria orgânica nos sedimentos. Interpreta-se que mesmo em momentos, no quais o ambiente admitia condições de menor oxigenação, a efetividade da oxidação e diluição da matéria orgânica disponível no ambiente era mantida.

A inundação da seqüencia   marcada por condi oes ambientais, que favoreceram uma maior produtividade primária de matéria orgânica e de uma relativa menor oxigena o da coluna d'água interpretadas por incrementos na concentra o de COT e redu o na razão Th/U. Destacam-se, ainda, anomalias negativas nas concentra oes relativas de K e Th. Decréscimos nestes elementos favorecem a idéia de restri o ao aporte sedimentar em decorrência do afogamento da bacia. Todos estes elementos são indicativos de condi oes propícias a maior preserva o da matéria orgânica.

Após a superfície de inunda o máxima (SIM), posicionada neste poço na profundidade de 85 metros, são implantadas condi oes de caráter regressivo a agradacional que permitem caracterizar um trato de sistemas de mar alto. Os teores de COT mostram queda acentuada, em paralelo, ocorrem suaves incrementos nos teores de Th e queda relativa nas concentra oes de U. Deste modo, marcam uma tendência de condi oes relativamente mais  xicas, em oposi o àquelas observadas na máxima inunda o da seqüencia. Ressalta-se que a espessura do trato de sistemas de mar alto pode estar subestimada nesta seqüencia, devido   existência da superfície de ravinamento que marca o limite superior da seqüencia.

Internamente   seqüencia deposicional "B", são observados ciclos de maior freq ncia interpretados como seqüencias deposicionais de quarta ordem e denominadas nesta pesquisa como seqüencias deposicionais "B2", "B3" e "B4".

Para a seqüencia deposicional "B2"   observado apenas o final do trato de sistemas de mar alto caracterizado por fortes incrementos na razão Th/U e pela contínua queda nos teores de COT até um máximo associado ao limite de seqüencia de quarta ordem, com a seqüencia deposicional "B3", posicionado em 128 metros, com elevado decréscimo em U e incremento em Th, que caracterizam uma superfície transgressiva. Associada a ela, provável redistribui o dos sedimentos neste tempo, com condi oes de maior oxigena o que permitiram a mobiliza o do U.

Instala-se então a seqüência deposicional “B3”, que tem como características gerais um trato de sistemas transgressivo de pouca expressão e um espesso trato de sistemas de mar alto. As baixas concentrações de carbono orgânico, a maior proporção de areias associadas a uma tendência em perfis claramente regressiva e a estabilidade da concentração de U sugerem uma importante influência do aporte sedimentar nesta seqüência deposicional.

O trato de sistemas transgressivo é marcado na base desta seqüência, por uma tendência de aumento da argilosidade, observada no perfil de raio gama e de aumento nos teores de COT. Em paralelo, observa-se a baixa razão Th/U que indica condições de menor oxigenação do ambiente deposicional. Culminam os máximos destes perfis na SIM desta seqüência deposicional, marcada na profundidade de 120 metros.

O sistema deposicional então assume um caráter regressivo, com a instalação do trato de sistemas de mar alto. Caracterizado por contínua redução nos teores de COT e predomínio de fácies α_b e β_a . Observa-se que mesmo com eventos de afogamento de mais alta freqüência, com razões Th/U indicativas de condições de menor oxigenação, o sistema não consegue retomar condições favoráveis à concentração de COT. Supõe-se que isso se deve, possivelmente, a um aumento proporcional no aporte sedimentar e a uma possível redução na produtividade primária atingida no afogamento da bacia.

O limite de seqüência da seqüência deposicional “B3” com a seqüência deposicional “B4” é marcado em uma superfície transgressiva na profundidade de 99 metros, onde se nota a retomada de um caráter transgressivo no perfil de COT, associado com um aumento na concentração de Th, seguido por uma queda brusca na razão Th/U.

A seqüência deposicional “B4” registra a época de máximo afogamento da bacia no Praguiano, com as melhores condições de preservação de matéria orgânica para a seqüência deposicional “B”.

O trato de sistemas transgressivo para a seqüência deposicional “B4” é caracterizado por fortes quedas na razão Th/U que indicam progressivamente condições relativamente mais redutoras. Estes eventos, correspondentes a afogamentos de maior freqüência, são limitados por superfície transgressiva e representam as tentativas de afogamento da bacia durante a transgressão. Nesse intervalo, o perfil de COT mostra um gradual aumento de valores acompanhado pela diminuição da atividade de bioturbação e pela passagem da fácies αb para αa

Seqüência deposicional “C”

A partir da superfície de truncamento posicionada em 70,5 m, interpretada como superfície de ravinamento, inicia-se o registro da seqüência deposicional de terceira ordem “C”. Nessa seqüência, os perfis de gamaespectrometria e COT mostram padrões que distinguem nitidamente um trato de sistemas transgressivo e um trato de sistemas de mar alto. A SIM desta seqüência foi posicionada na profundidade de 26 metros, onde se registram: (a) o teor máximo de COT no poço, cerca de 2%; (b) um pico de argilosidade e (c) baixa razão Th/U. Acima da SIM, observa-se a inflexão dos perfis para uma tendência regressiva que marca o trato de sistemas de mar alto. O limite superior desta seqüência não foi registrado no poço.

Ciclos de raseamento de alta freqüência pontuam o registro. São bem marcados no perfil de concentração de Th. Além disso, este perfil mostra, nesta seqüência, padrões retrogradacionais e progradacionais no empilhamento o que corrobora a interpretação dos tratos de sistemas de terceira ordem.

Duas seqüências deposicionais de quarta ordem foram definidas e denominadas “C1” e “C2”. Assim como a seqüência deposicional “C”, estas seqüências têm seus tratos de sistemas bem caracterizados.

A seqüência deposicional “C1” apresenta um trato de sistemas transgressivo de pequena espessura. Os perfis de COT e da razão Th/U mostram um rápido afogamento, com elevação nos teores de COT e redução

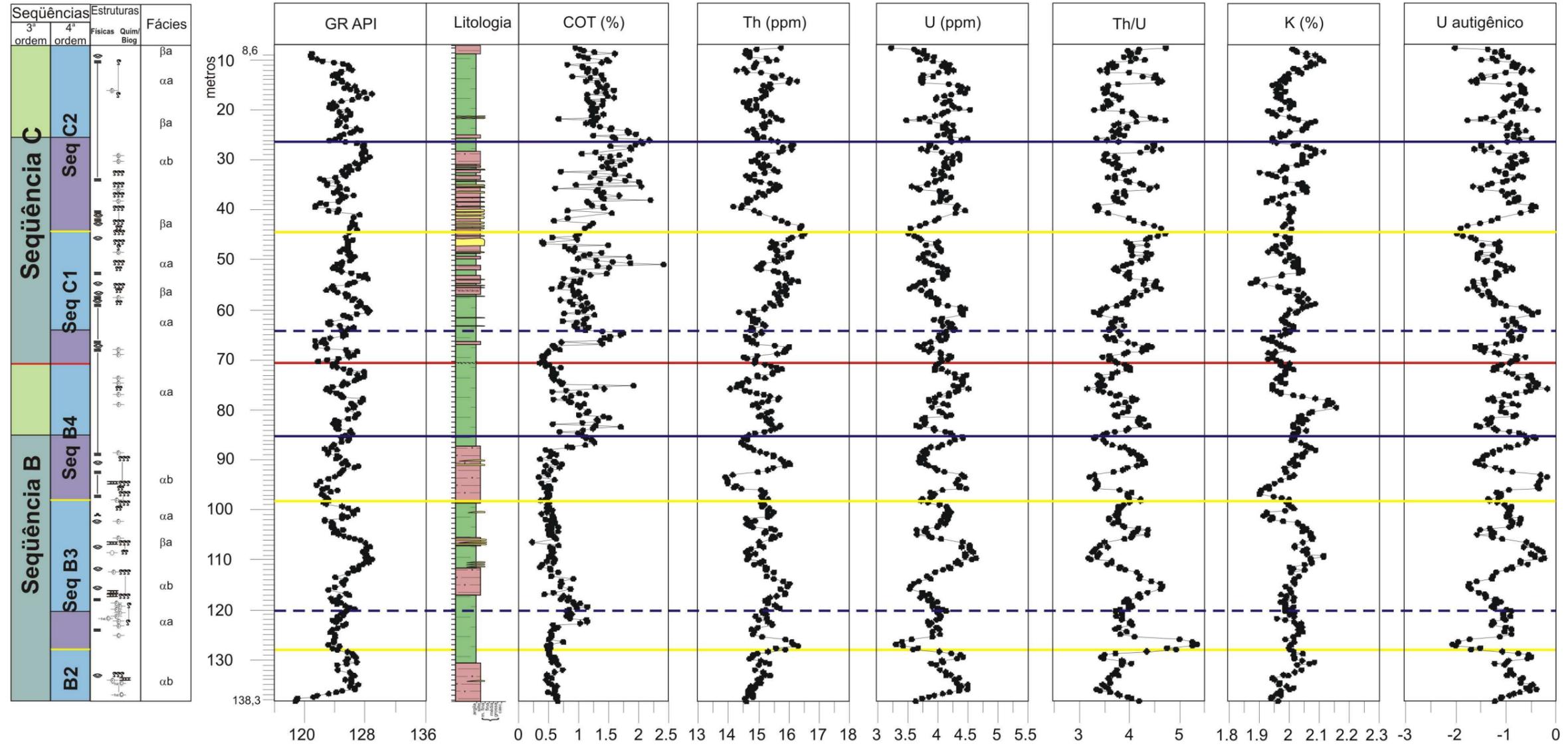
na oxigenação do ambiente e no aporte sedimentar, com máxima inundação registrada no poço em 64 metros. A partir deste nível, implanta-se o trato de sistema de mar alto, com aumento na razão Th/U, redução na concentração de COT e maior proporção de fácies arenosas β e γ em direção ao topo. Destaca-se a maior preservação de matéria orgânica em afogamentos de maior frequência com menor oxigenação do ambiente, com o aumento dos teores de COT.

Este padrão regressivo   mantido até o limite superior da seq ncia na profundidade de 47 metros, na base de uma camada de arenito fácies γ , na qual ocorre a inflexão dos perfis de gamaespectrometria e teores de COT para uma nova tendência transgressiva.

O registro da seq ncia deposicional "C2" apresenta alguma equivalência entre as espessuras dos tratos de sistemas transgressivo e de mar alto. Esta seq ncia apresenta eventos com uma ciclicidade bem marcada. O trato de sistemas transgressivo   interpretado pelo empilhamento retrogradacional de fácies e pelo aumento de argilosidade e de concentração de COT. A razão Th/U registra bem os eventos de redução na oxigenação, mas não são observadas tendências de ocorrerem maiores concentrações de U em direção ao máximo afogamento da seq ncia posicionado em 26 metros.

O trato de sistemas de mar alto da seq ncia "C2"   coincidente com o da seq ncia deposicional de terceira ordem. Os perfis passam a mostrar tendências de empilhamento retrogradacionais, em associação com a tendência geral de redução na argilosidade, teores de COT e aumento na razão Th/U. Cabe ressaltar que o caráter cíclico observado nos perfis durante o trato de sistemas transgressivo   mantido.

Figura 13 - Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 1



IV.III – Poço 2

IV.III.I – Estratigrafia de Seqüências

O registro sedimentar deste poço (figura 14) está inserido no contexto do trato de sistemas transgressivo da seqüência deposicional de terceira ordem “B”, a exceção da base, que contém arenitos pertencentes à Formação Furnas. Assim, a seqüência “B” contém informações sobre os primeiros registros sedimentares da transgressão devoniana na borda leste da Bacia do Paraná. No entanto, a natureza do contato entre as formações Furnas e Ponta Grossa não foi verificada, pela indisponibilidade das amostras.

A seqüência deposicional “B” é subdividida em seqüências deposicionais “B1” e “B2” que correspondem a seqüências de quarta ordem. Além disso, foram identificados afogamentos de maior freqüência, possivelmente quinta ordem, bem caracterizados na razão Th/U.

Ressalta-se que tanto o predomínio de fácies β_a e γ_a , com registro constante de altas razões Th/U e baixa argilosidade associadas a teores baixos de COT, indicam condições que favoreceram o aporte, deposição e preservação de fácies arenosas em plataforma para o registro sedimentar deste poço em relação aos poços 1 e 4. Em paralelo, são observadas as maiores espessuras das seqüências deposicionais de quarta ordem e seus tratos de sistemas.

O trato de sistemas transgressivo da seqüência “B”, entretanto, é bem caracterizado nos perfis de concentração de Th e de razão Th/U, os quais mostram gradual decréscimo de Th, com suave tendência de afogamento dos sistemas em direção ao topo. O perfil de teores de COT apresenta de modo semelhante, tendência de aumento na concentração de carbono, em anomalias associadas a afogamentos dos sistemas. A superfície de inundação máxima para esta seqüência deposicional não foi observada no poço.

A seqüência deposicional “B1” representa um ciclo transgressivo - regressivo de quarta ordem. Sua caracterização é possível, na maioria dos perfis analisados, em especial nos teores de COT e na razão Th/U. Predominam fácies β_a indicativas de que o ambiente sedimentar mantinha condições de aporte sedimentar e boa oxigenação observada pela comum presença de bioturbações.

O trato de sistemas transgressivo desta seqüência é iniciado por uma tendência de afogamento e restrição ao aporte sedimentar e a oxigenação das águas de fundo, com aumento da concentração de COT, redução na razão Th/U e um relativo aumento de argilosidade. A SIM é atingida neste poço na profundidade de 64,5 metros.

A partir deste ponto ocorre a inflexão dos perfis e são registradas tendências regressivas que caracterizam um trato de sistemas de mar alto. O empilhamento de fácies mostra um raseamento para o topo, com passagem de fácies α_a para fácies β_a . Em paralelo, a razão Th/U mostra incrementos em Th e decréscimos em U, com retorno a um maior aporte sedimentar e oxigenação do ambiente. Verifica-se o predomínio destas características até o limite de seqüência marcado em perfis, por uma importante anomalia que caracteriza uma superfície transgressiva na profundidade de 46 metros.

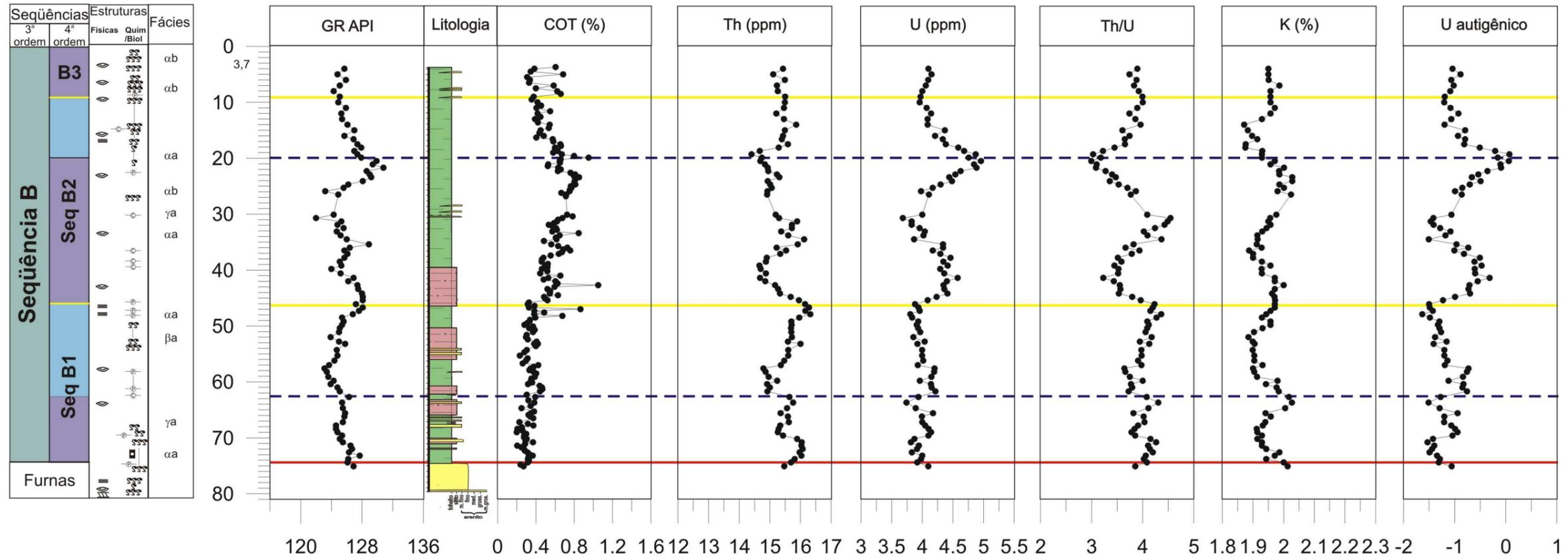
Esta superfície transgressiva inicia o registro do trato de sistemas transgressivo da seqüência deposicional “B2” com relativos aumentos de argilosidade, COT e U. Indica um progressivo afogamento dos sistemas, que culmina na SIM registrada na profundidade de 20 metros. Interpreta-se uma anomalia com alta concentração de Th como resultado da deposição de lentes de areia associadas a fácies γ_a por processos de redistribuição de sedimentos, possivelmente associados a influência de tempestades.

É estabelecido o trato de sistemas de mar alto na seqüência deposicional “B2”, no qual é verificada uma tendência regressiva com diminuição da argilosidade e dos teores de COT enquanto a razão Th/U

apresenta mostra incremento em Th. Lentes e camadas de arenitos de pequena espessura, associadas a fácies γ_a , distribuídas em fácies α_a e α_b .

Nota-se que estas tendências são moduladas por eventos de menor oxigenação do ambiente que permitiram maior preservação de matéria orgânica e concentração de U nos sedimentos. Estes eventos foram interpretados como afogamentos de mais alta frequência.

Figura 14 - Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 2



IV.IV – Poço 3

IV.IV.I – Estratigrafia de Seqüências

Na análise deste poço (figura 16), observa-se tanto o predomínio de fácies arenosas β_a e γ_a em relação às demais, como também uma maior espessura das seqüências deposicionais e tratos de sistema aliadas a preservação de um possível trato de sistemas de mar baixo.

No registro sedimentar deste poço são verificadas as seqüências deposicionais de terceira ordem “B” e “C”, bem como as seqüências deposicionais de quarta ordem “B2”, “B3”, “B4” e “C1” e eventos de mais alta freqüência. Ressalta-se que a seqüência deposicional “B2” é representada pelo final do trato de sistemas de mar alto.

Foram realizadas análises da qualidade da matéria orgânica em diagramas de índice de hidrogênio versus índice de oxigênio (Figura 15). A partir destas análises foram comparadas às distribuições que ocorrem no poço como um todo e nos eventos de inundação identificados para a seqüência “B”, “B2” e “C1”. É nítido o predomínio da matéria orgânica tipo I e alguma presença de matéria orgânica tipo II. Deste modo é sugerido o domínio de sistemas deposicionais marinhos, com matéria orgânica de boa qualidade.

Seqüência deposicional “B”

A seqüência deposicional “B” apresenta como característica principal à estabilidade nas tendências identificadas nos perfis estudados. Esta estabilidade sugere uma tendência agradacional na construção da seqüência. Entretanto, as anomalias existentes nos perfis apresentam definição suficiente para permitir a caracterização de eventos transgressivos e regressivos de quarta ordem. Destaca-se a influência destes eventos na preservação de matéria orgânica, expressa nos perfis de COT e índice de hidrogênio.

O empilhamento de fácies mostra um aumento de fácies γ a para o topo da seqüência. Tal fato sugere alguma remobilização de sedimentos, possivelmente por ondas de tempestade, considerada a relativa favorabilidade ao aporte, deposição e preservação de fácies arenosas em plataforma neste intervalo. Nota-se que a concentração (COT), e qualidade da matéria (IH) sugerem uma tendência transgressiva, com melhores valores no topo.

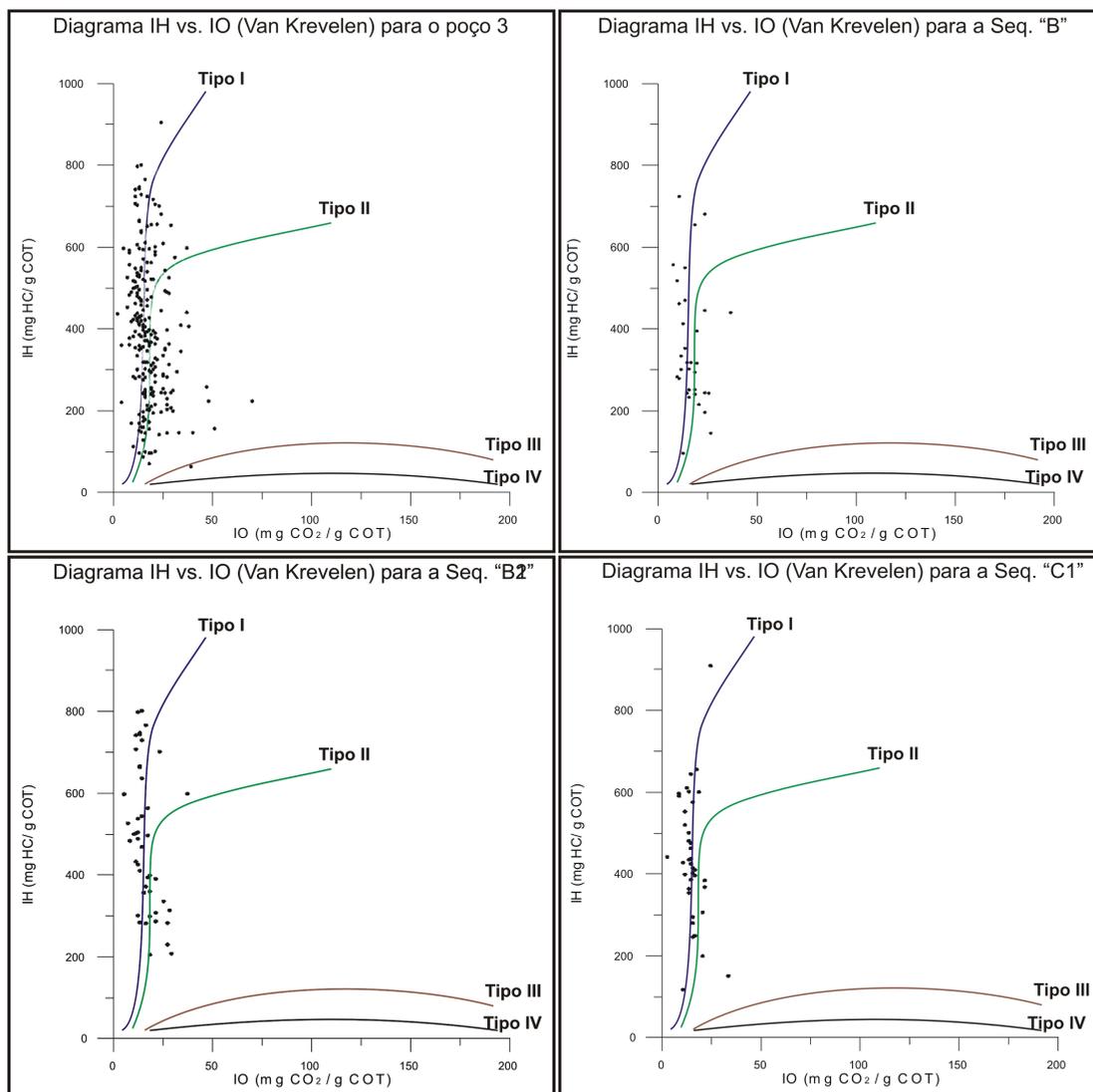


Figura 15 – Diagramas IH vs IO (Van Krevelen), para o poço 3 e para as SIM's das seqüências "B", "B2" e "C1" descritas no poço 3. Indicam a predominância de matéria orgânica dos tipos I e II, classificadas como de boa qualidade e associadas a algas e cutículas vegetais respectivamente.

A máxima inundação desta seqüência é marcada na profundidade de 41 metros, sendo posicionada neste nível em função de valores altos teores de

COT e IH e anomalia em U, estabelecidas em um contexto transgressivo nos perfis, aliadas ao retorno para fácies com relativamente mais argilosas (αb).

Após esta inundação, os perfis mostram acentuada tendência regressiva que caracteriza o trato de sistemas de mar alto da seqüência. Esta tendência é mantida até uma quebra marcante, estabelecida na base de uma camada espessa de arenito da fácies γa . Esta quebra é indicativa do limite de seqüência de terceira ordem. Devido a estes fatos, somados a pequena espessura que representa o trato de sistemas de mar alto, é suposta alguma perda de seção para a seqüência deposicional "B".

O registro deposicional de quarta ordem da seqüência "B" é iniciado, neste poço, com o trato de sistemas de mar alto da seqüência "B2". Interpreta-se uma tendência regressiva, principalmente pela contínua diminuição dos teores de COT e no IH até a inflexão do perfil no limite de seqüência.

A seqüência deposicional "B3" apresenta um trato de sistemas transgressivo, caracterizado pelo aumento dos teores de COT e de IH, bem como no perfil de raios gama, até um máximo que coincide com uma anomalia negativa na razão Th/U. Neste intervalo, registra-se uma menor deposição e desenvolve-se a SIM da seqüência, na profundidade de 95 metros.

O trato de sistemas de mar alto desta seqüência de quarta ordem tem um registro bastante expressivo. É definido pelo retorno a uma tendência regressiva observada em todos os perfis. O perfil de teores de COT, o padrão de variação da razão Th/U e o empilhamento de fácies sugerem uma tendência progradacional neste intervalo.

A seqüência é limitada na base de uma camada de arenito da fácies γa , observada na profundidade de 67 metros. A deposição desta camada representa nos perfis de COT, IH e na razão Th/U um ponto de inflexão para uma nova tendência transgressiva.

Em termos ambientais, é marcante a variação da influência do aporte sedimentar no controle da sedimentação da seqüência deposicional “B4”. O padrão de empilhamento mostra uma gradação a partir da base, de fácies que começa com camadas espessas de arenitos da fácies γ_a na base, passando por pacotes de interlaminados entre arenitos e siltitos da fácies β_a e terminando com o predomínio de fácies α_b .

A máxima inundação desta seqüência “B4” coincide com a da seqüência deposicional de terceira ordem. Após a máxima inundação é estabelecida uma tendência regressiva que caracteriza o trato de sistemas de mar alto, com diminuição nos teores de COT e incremento em Th, até o limite superior da seqüência, com a deposição de camadas de arenito γ_a .

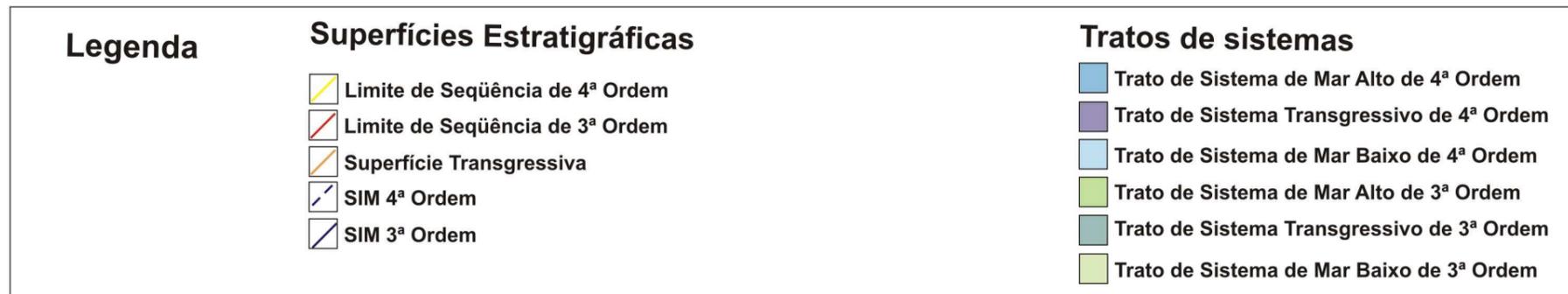
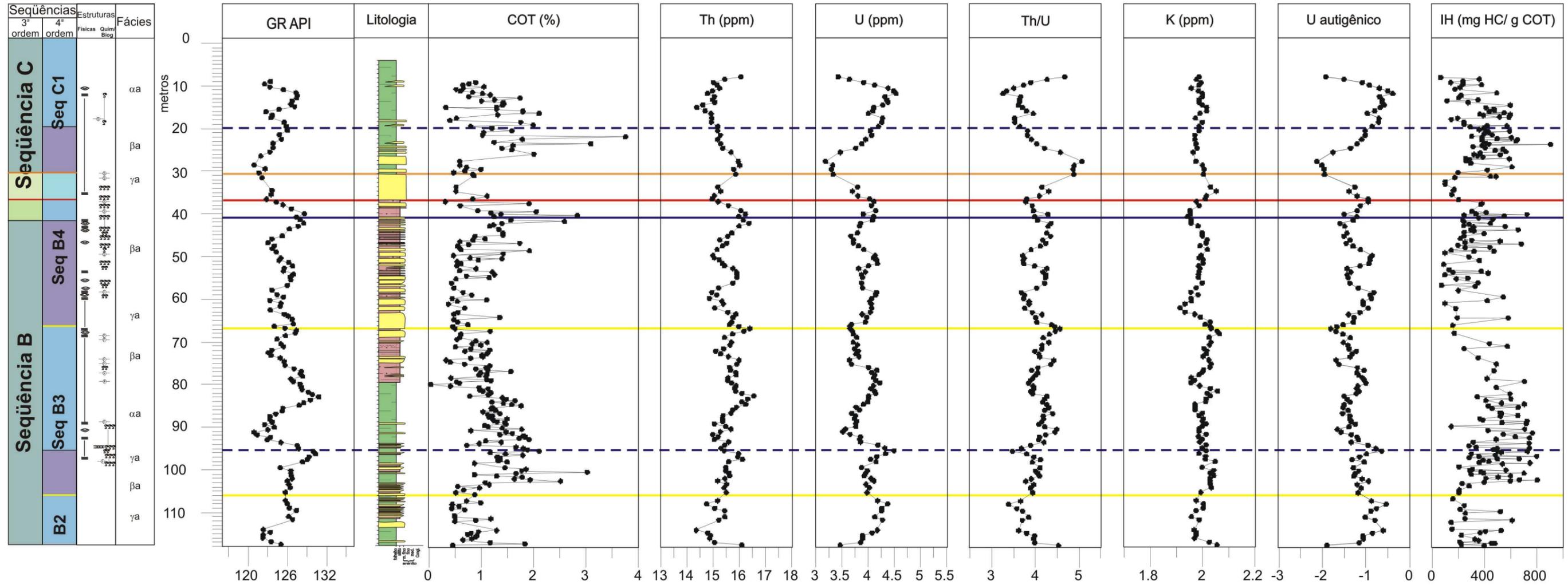
Seqüência deposicional “C”

O registro inferior da seqüência deposicional de terceira ordem “C” é caracterizado por uma tendência geral transgressiva. Entretanto, na base da seqüência ocorre maior proporção de fácies arenosas e interpreta-se uma maior oxigenação da coluna d’água, devido ao acentuado decréscimo na concentração de U e baixos teores de COT. Este arranjo de fácies e de perfis sugere um trato de sistemas de mar baixo, o qual é válido para a seqüência de terceira ordem e para a seqüência de quarta ordem “C1”.

Uma anomalia positiva na razão Th/U caracteriza a superfície que marca o retorno às tendências transgressivas observadas nos perfis. De fato, aumentam a argilosidade, as concentrações de COT, U, IH e a associação de fácies predominante passa a ser α_b e α_a . A máxima inundação da seqüência “C1” é atingida na profundidade de 20 metros, em expressivas anomalias positivas de COT e U. Indicam maior restrição do ambiente e maior potencial para a preservação da matéria orgânica.

A partir desta inundação retornam condições de trato de sistemas de mar alto para a seqüência “C1”, com pronunciadas tendências regressivas em todos os perfis, que permanecem até o final do registro no topo do poço.

Figura 16 - Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 3



IV.V – Poço 4

IV.V.I – Estratigrafia de Seqüências

No registro sedimentar deste poço foram identificadas as seqüências deposicionais de terceira ordem “B” e “C”. A separação entre as duas é feita por uma feição de ravinamento na base de um nível arenoso, mais espesso da fácies γ_b . Esta feição erosiva ocorre na profundidade de 50 metros e representa um limite seqüência de terceira ordem.

Seqüência deposicional “B”

A seqüência deposicional “B” neste poço tem seu registro mais completo e são identificadas quatro seqüências deposicionais de quarta ordem (“B1”, “B2”, “B3” e “B4”), que a compõem, além de ciclos de maior freqüência. A seqüência “B1” está representada por cerca de dois metros na base do poço, deste modo, não é possível discutir sobre suas características neste poço.

A razão Th/U e os teores de COT apresentam valores indicativos de condições relativamente mais propícias à preservação da matéria em direção ao topo da seqüência deposicional “B” e sugerem uma suave tendência transgressiva.

A SIM desta seqüência é assinalada na profundidade de 56 metros, na mais expressiva anomalia de COT da seqüência. Em adição, nesta profundidade verifica-se também anomalias com baixa razão Th/U, alta argilosidade e baixo índice de bioturbação registrados no poço, indicativos de restrição à sedimentação e um ambiente relativamente menos favorável a oxidação da matéria orgânica.

Ainda assim, os teores de COT na seqüência são considerados baixos que associados a uma razão Th/U relativamente mais elevada. Fato que pode estar associado, a um ambiente favorável a oxidação da matéria orgânica, com menor produtividade primária e influência do aporte sedimentar na diluição da

matéria orgânica nos sedimentos neste intervalo, mesmo em condições transgressivas.

A partir da superfície de máxima inundação os sistemas deposicionais retornam as condições normais anteriores, com registros de acentuadas quedas nos teores de COT e de argilosidade, além de aumento na razão Th/U, mesmo em fácies argilosas, até o registro do limite de seqüência, posicionado em 50 metros.

A seqüência deposicional “B2” tem seu limite inferior registrado na profundidade de 128 metros, associado à base de uma camada de arenito fino a partir do qual é iniciada uma tendência transgressiva bem marcada nos perfis de COT e de Th. É nítido o aumento na concentração de COT até um máximo de inundação, neste poço na profundidade de 117 metros, após o qual, há uma inflexão nos perfis, com retorno a uma tendência regressiva que caracteriza o trato de sistema de mar alto.

No perfil de Th observa-se que mesmo em um contexto transgressivo o aporte sedimentar ainda exerce alguma influência sobre o controle da sedimentação, pela existência de uma anomalia positiva dentro de um padrão de baixas concentrações de Th. Do mesmo modo, o perfil de U responde com uma rápida queda nos valores de U, em comparação aos registrados na base da seqüência.

O trato de sistemas transgressivo também pode ser observado pelo empilhamento de fácies que passam de fácies α_b e β_a para fácies α_a com redução efetiva de bioturbação. Soma-se a grande quantidade de bioclastos preservados e a formação de *pellet* de glauconita em lente de arenito, na profundidade de 123,3 metros (figura 17). A glauconita é considerada na literatura (Morad *et al.*, 2000; Ketzer *et al.*, 2003) como um mineral eodiagenético, característico de ambientes com baixa oxigenação e reduzida sedimentação.

Da SIM em diante são estabelecidas condições regressivas, com aumento da concentração de Th e de fácies arenosas e/ou bioturbadas, redução dos teores de COT e estabilização da concentração de U. A razão Th/U mostra de forma nítida a passagem do afogamento para condições com maior influência do aporte sedimentar até o limite superior da seqüência registrado por um *lag* transgressivo na profundidade de 99 metros (figura 18).

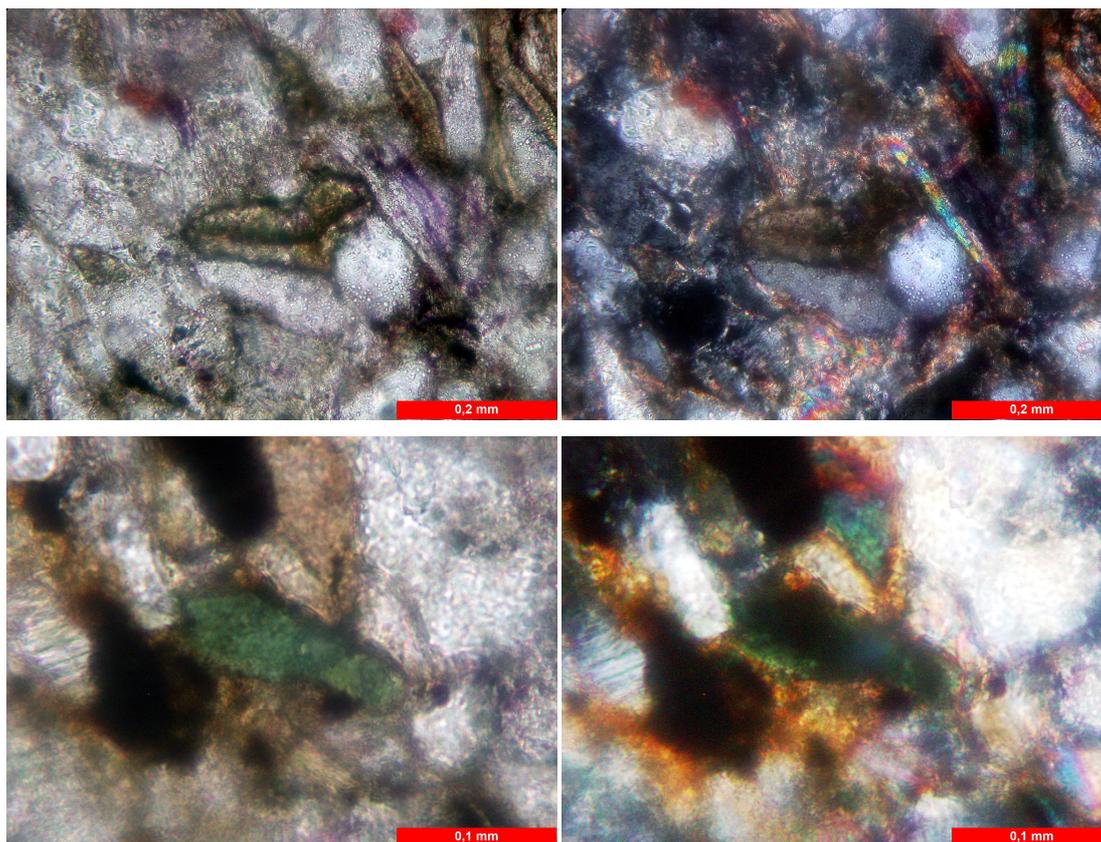


Figura 17 – Elementos petrográficos que permitem sugerir um trato de sistemas transgressivo no intervalo de profundidade, no qual foram amostrados, poço 4, prof. 123,3 m. **a** Bioclasto carbonático – Obj. 20X e **b** pellet de glauconita – Obj. 40x. Ambas as fotomicrografias são apresentadas com polarizadores paralelos a esquerda e cruzados a direita.

O registro da seqüência “B3” exhibe o trato de sistemas transgressivo e o trato de sistemas de mar alto. O trato de sistemas transgressivo é marcado por uma tendência de aumento de argilosidade e de concentração de U em fácies α que permite marcar um máximo de afogamento, registrado nos perfis em 90 metros. Entretanto, os teores de COT permanecem baixos e constantes sem anomalias significativas no perfil. A razão Th/U da seqüência sugere uma

coluna d'água óxica, com importante influência do aporte sedimentar no registro deste intervalo.



Figura 18 – Estrutura sedimentar erosiva interpretada como um Lag transgressivo que marca o limite basal de seqüência da seqüência deposicional “B3”, poço 4, prof. 99 m.

A partir da máxima inundação há uma contínua redução na argilosidade e estabilização da razão Th/U, que caracterizam o trato de sistemas de mar alto. Estes padrões são mantidos até um evento anômalo que marca uma extrema restrição dos sistemas deposicionais locais, com efetiva baixa de oxigenação.

Nota-se que não ocorre aumento nos teores de COT que nessas condições podem indicar um evento que também atua na diminuição na produção primária de matéria orgânica. Após este evento, retornam valores elevados na razão Th/U e ocorre uma quebra bem marcada no perfil de COT, na qual foi interpretado o final do registro da seqüência deposicional “B3” na profundidade de 70,5 metros.

A seqüência deposicional “B4” apresenta um trato de sistemas transgressivo com uma ciclicidade, bem definida, em ciclos transgressivos - regressivos de alta frequência, caracterizados por variações na oxigenação da coluna d'água. O máximo afogamento desta seqüência é atingido na profundidade de 56 metros e associa-se ao evento de afogamento de terceira ordem da seqüência “B”. Ocorre em uma expressiva anomalia em U, que pode indicar um ambiente com menores oxigenação e sedimentação.

É suposto que neste afogamento os sistemas atinjam condições ideais de preservação de matéria orgânica entre a produção primária, oxigenação e aporte sedimentar. Estas condições não são verificadas nos afogamentos anteriores da seqüência “B4”, por ocorrem ainda anomalias de Th e K que indicam alguma influência de aporte sedimentar no início da transgressão. Instala-se, a partir de 56 metros, uma tendência regressiva que coincide com o registro do trato de sistemas de mar alto da seqüência “B4”.

Seqüência deposicional “C”

Com o registro do o limite de seqüência em 50 metros é iniciada a deposição da seqüência deposicional de terceira ordem “C”. Neste poço, é interpretada apenas sua porção inferior, correspondente à seqüência deposicional de quarta ordem “C1”.

As condições ambientais que controlaram a deposição desta seqüência são semelhantes àquelas vigentes durante a deposição da seqüência deposicional “B3”, no que trata da ciclicidade, da evolução na preservação da matéria orgânica e das condições de oxigenação da coluna d’água.

O trato de sistemas transgressivo é iniciado com a deposição de interlaminações entre arenitos finos a médios intercalados com níveis de folhelho síltico são depositados sobre esta feição. É caracterizado em perfis por forte tendência de redução na razão Th/U e aumento da argilosidade e dos teores de COT até o máximo afogamento da seqüência. Este afogamento foi marcado na maior anomalia de COT atingida nesta seqüência, registrada na profundidade de 38 metros.

Foram observadas nos níveis arenosos perfurações verticais associadas à atividade de vida de organismos bentônicos, representativas de um ambiente de mais alta energia (figura 12). A presença de moscovitas expandidas em um arcabouço petrográfico fechado por intensa compactação (figura 19), sugere, de acordo com Freitas-Brazil (2004), um momento de queda relativa do nível do mar, com percolação de águas meteóricas, anterior a efetiva transgressão.

Observa-se a falta de sincronismo entre a maior anomalia de U e a maior anomalia de COT. Este fato é interpretado como uma resposta mais rápida das condições ambientais ao afogamento em relação à produção primária de matéria orgânica no ambiente sedimentar. Sugere-se para este caso, com o ambiente deposicional sob condições relativamente mais redutoras o U disponível pode ter sido rapidamente precipitado, enquanto o máximo de produtividade de matéria orgânica, que favoreceu a concentração foi atingido algum tempo depois.

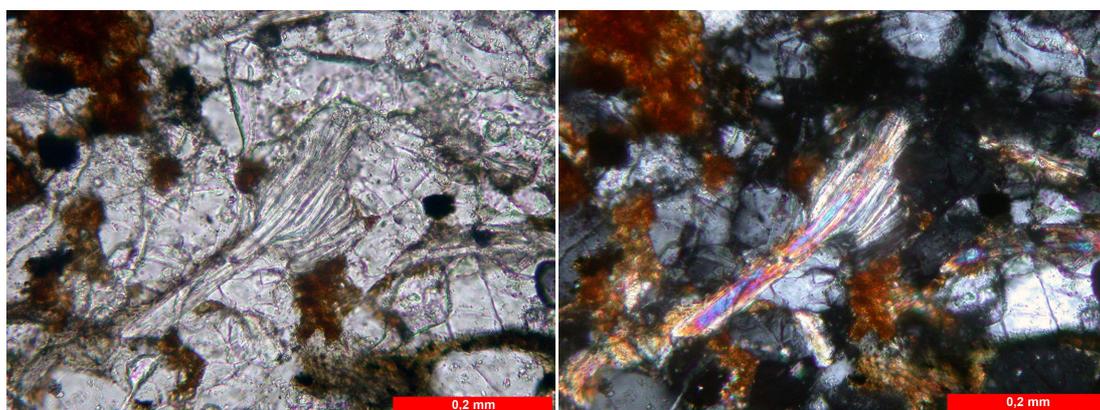
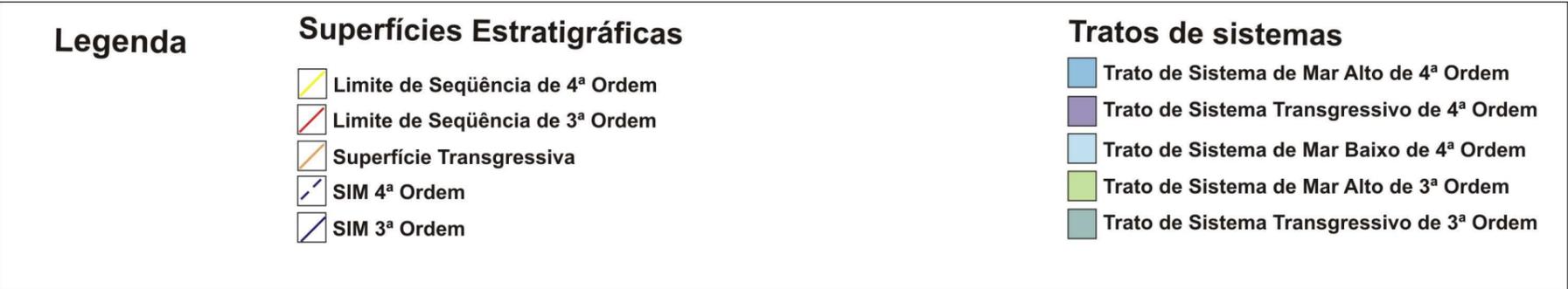
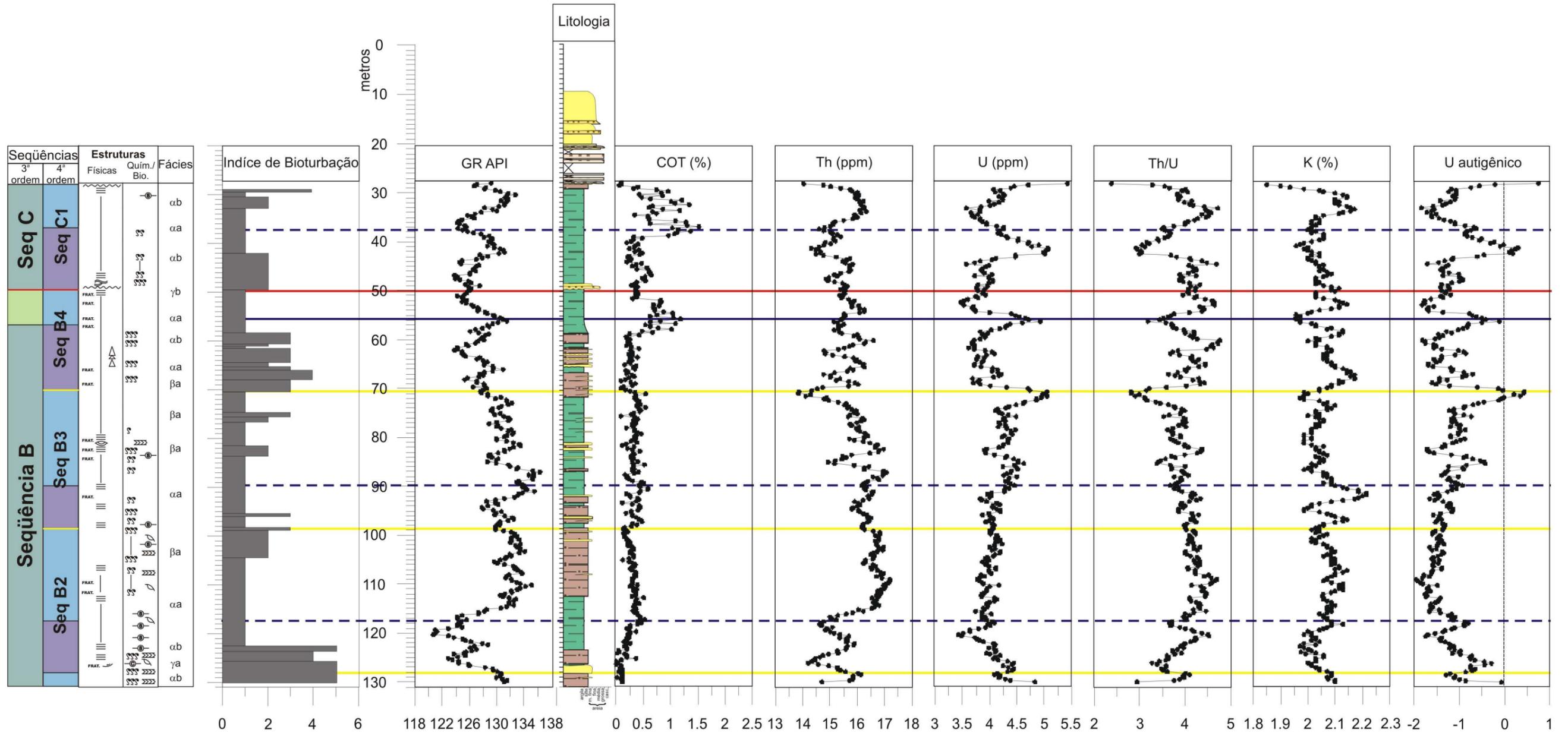


Figura 19 – Presença de moscovita expandida anterior a compactação mecânica dos grãos devido ao soterramento. Este elemento petrográfico pode ser interpretado como uma provável indicação de condições de mar baixo e/ou influxo meteórico que permitiram a percolação de água e alteração do grão, condizente com a interpretação estratigráfica elaborada neste intervalo do poço 4, prof. 49,5 m. Fotomicrografias obtida com Objetivas de. 20x. Polarizadores paralelos a direita e cruzados a esquerda.

São retomadas tendências regressivas como aumento da razão Th/U, aumento do registro de bioturbação e diminuição dos teores de COT em direção ao topo da seqüência. Estes elementos associados permitem caracterizar um trato de sistema de mar alto para a seqüência deposicional “C1” Para a seqüência deposicional “C” supõe-se a continuidade do trato de sistemas transgressivo de terceira ordem.

O registro da Formação Ponta Grossa é interrompido por discordância erosiva de idade Permo Carbonífera, sobre a qual foram depositadas camadas de arenitos médios a grossos, amarelados, maciços a estratificados, associadas ao Grupo Itararé. Estas interpretações estratigráficas encontram-se representadas no perfil composto para o poço (figura 20).

Figura 20 - Perfil composto e divisão estratigráfica do registro sedimentar no poço 4



Capítulo V. Correlação estratigráfica.

V.I – Considerações iniciais

Para a construção da seção de correlação (Figura 21), foram assumidas duas condições. A primeira trata exclusivamente da idade dos poços, obtida com a bioestratigrafia. A outra condição corresponde a boa correlação entre os padrões de assinaturas dos perfis de COT e da gamaespectrometria entre os poços. Deve ser mencionado que a escala horizontal entre os poços foi desconsiderada a fim de permitir a representação gráfica da seção. O posicionamento desta seção de correlação pode ser observado na figura 01.

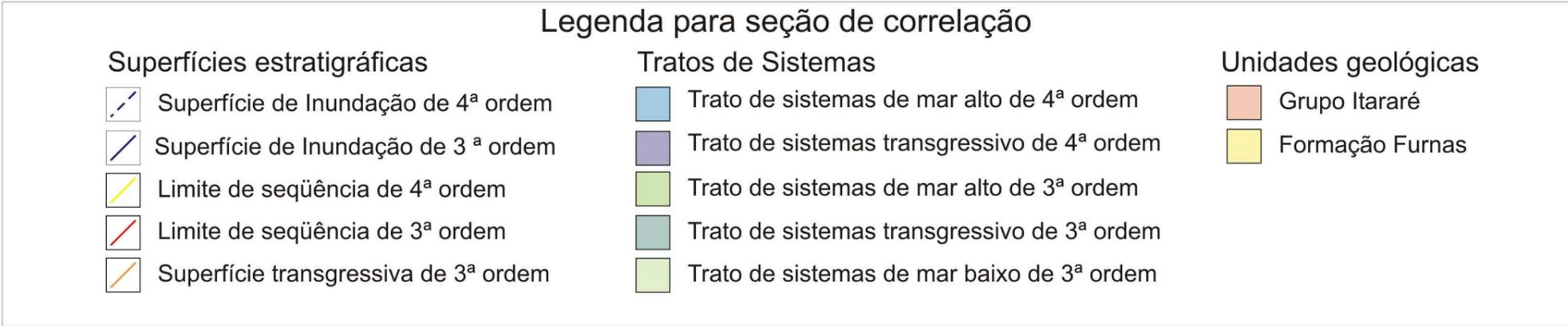
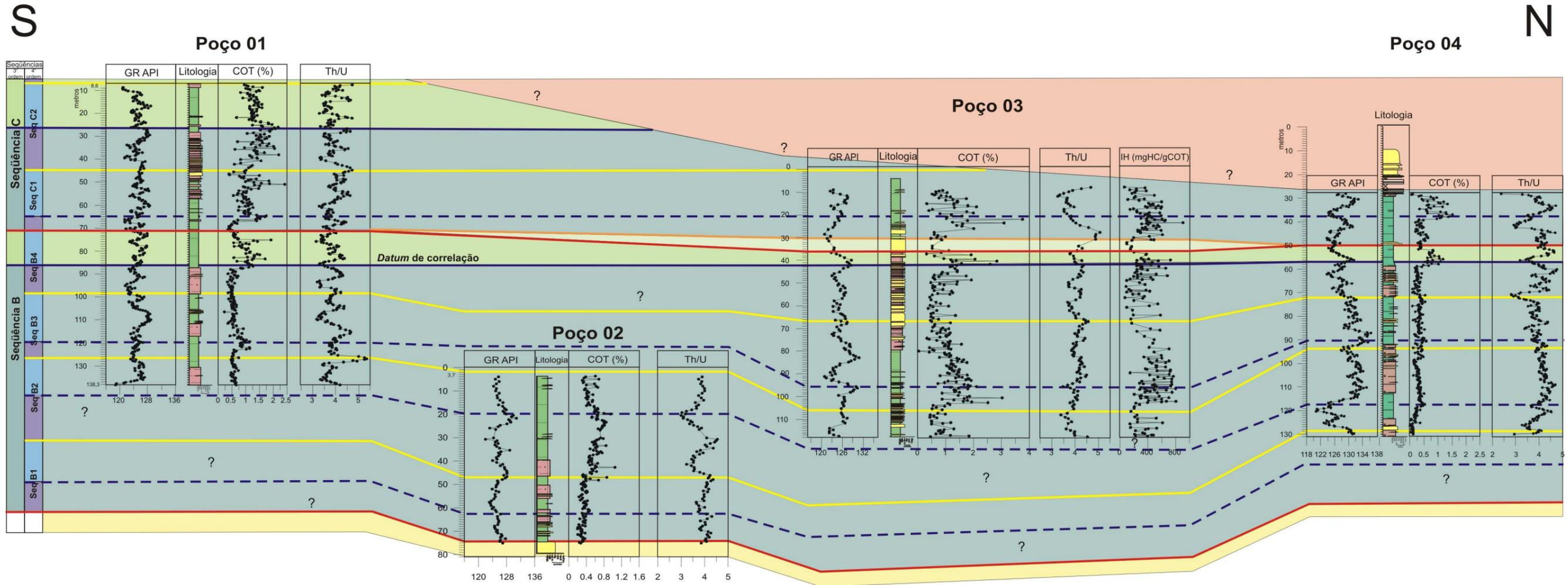
V.II – Análise dos dados

Os dados foram correlacionados utilizando como critério os padrões de assinatura observados nos perfis utilizados nessa pesquisa e as características da sucessão vertical das fácies nos poços. De modo geral, os perfis de um mesmo método mostraram boa correlação entre os poços e mantinham relações próximas com os demais métodos.

Cabe ressaltar que foram correlacionadas as seqüências de terceira e quarta ordens com destaque para seus tratos de sistema e para as superfícies estratigráficas como os limites de seqüências e superfícies de inundação máxima. Variações observadas nos perfis que não apresentavam correlação ou tinham pouca expressão entre os perfis foram interpretadas como variações locais na sedimentação que influenciaram a construção das seqüências deposicionais e não tiveram destaque na correlação.

Assim, com a construção da seção de correlação foi possível obter uma visão espacial da evolução dos principais eventos sedimentares que atuaram durante o Devoniano na borda leste da Bacia do Paraná e suas relações com a dinâmica deposicional e as variações ambientais no controle da sedimentação.

Figura 21 - Seção de correlação entre os poços com destaque para as seqüências de 3ª e 4ª ordens



V.III – Interpretação

O registro sedimentar estudado nesta pesquisa foi depositado em condições marinhas consideradas normais. A partir da análise de diagramas Th vs. Th/U para classificação de sedimentos (Figura 22), construídos, a partir das relações propostas por Adams & Weaver (1958).

As variações observadas na análise dos perfis dos poços trazem a luz à discussão sobre a atuação de controles locais sobre o aporte sedimentar e à oxigenação das águas de fundo. Fica evidente a influência destas variáveis no controle das características que predominaram no ambiente deposicional. Estas informações serviram de controle para as interpretações realizadas nessa pesquisa.

A seqüência deposicional “B1” ocorre completa apenas no poço 2, deste modo, não foi possível estabelecer sua correlação com os demais poços estudados. Embora, seja possível sugerir um comportamento semelhante aquele observado nas seqüências de 4ª ordem superiores definidas para a seqüência deposicional “B”, devido à boa correlação observada para estas seqüências nos poços.

A seqüência deposicional “B2” tem boa correlação nos poços estudados. Apresenta uma tendência de espessamento da seqüência entre os poços 2 e 4. Este espessamento pode ser verificado nas características das principais anomalias do poço 2, que tem maior espessura quando comparadas com as do poço 4.

Estes dados associados aos aspectos deposicionais descritos para esta seqüência permitem sugerir condições fisiográficas e/ou deposicionais que favoreceram o aporte, deposição e preservação de fácies arenosas em plataforma, nos sistemas deposicionais na área do poço 2. Os baixos teores de

COT comparados com a razão Th/U sugerem um ambiente pouco favorável à preservação e concentração de matéria orgânica. Possivelmente associado a uma baixa produtividade primária e uma coluna d'água com boa oxigenação.

Para a seqüência deposicional "B3" verifica-se que as condições de distalidade observadas na seqüência anterior são mantidas. De fato é nítido o aumento de espessura da seqüência e de seus tratos de sistema definidos no poço 3, quando comparada aos poços 1 e 4. Os teores de COT mais elevados no poço 3 podem estar indicando diferenças na produtividade primária de matéria orgânica, decorrentes de áreas com maior disponibilidade de nutrientes aos microorganismos.

A seqüência deposicional "B4" mostra características semelhantes nos controles da sedimentação, como a maior espessura nos poços 2 e 3 quando comparados aos poços 1 e 4. É vista uma boa correlação nas tendências dos perfis analisados, em especial, o perfil de teores de COT, que caracteriza muito bem o máximo afogamento da bacia, em terceira e quarta ordens de freqüência.

Observa-se nos poços uma importante feição de modelagem da fisiografia de caráter regional à época da formação do limite de seqüência de terceira ordem, para a seqüência deposicional "B". Supõe-se uma importante queda relativa no nível do mar e efetiva perda de seção no poço 3. Este registro é marcado por superfícies erosivas nos poços 1 e 4, sem apresentar, no entanto, registros de exposição subaérea.

Com a queda do nível do mar e a retomada da sedimentação é instalado, localmente, um trato de sistemas de mar baixo na região do poço 3. São depositadas espessas camadas de arenito. Enquanto no poço 1 e 4 este momento é expresso apenas pela distinção de uma superfície transgressiva que marca o limite de seqüência, sem o registro deste trato de sistemas.

Na região central da borda leste da Bacia do Paraná, condições de maior sedimentação e presença de fácies, relativamente, mais arenosas continuaram a prevalecer. Embora, seja verificado que o registro do poço 4 passe a ter também a ser influenciado por controles deposicionais semelhantes, com um aumento na espessura do trato de sistemas transgressivo da seqüência “C1”. No poço 1 é mantido o caráter normal da sedimentação, observado na seqüência deposicional “B”.

O começo da transgressão da seqüência deposicional de terceira ordem “C” é indicado por um rápido afogamento, com boa preservação de matéria orgânica, vistos os altos teores de COT. A boa correlação das anomalias nos perfis de COT e de gamaespectrometria que caracterizam a máxima inundação da seqüência “C1”, permite a visualização desta idéia.

A partir deste ponto, não é possível a correlação dos poços devido ao término do registro da seção devoniana nos poços 3 e 4. Ainda assim, é possível indicar a continuidade da seqüência deposicional “C” que se distingue da seqüência deposicional “B” por apresentar maiores teores de COT, sugerindo condições mais favoráveis à preservação de matéria orgânica. É possível estabelecer a divisão da mesma em duas seqüências deposicionais de quarta ordem, denominadas “C1” e “C2”.

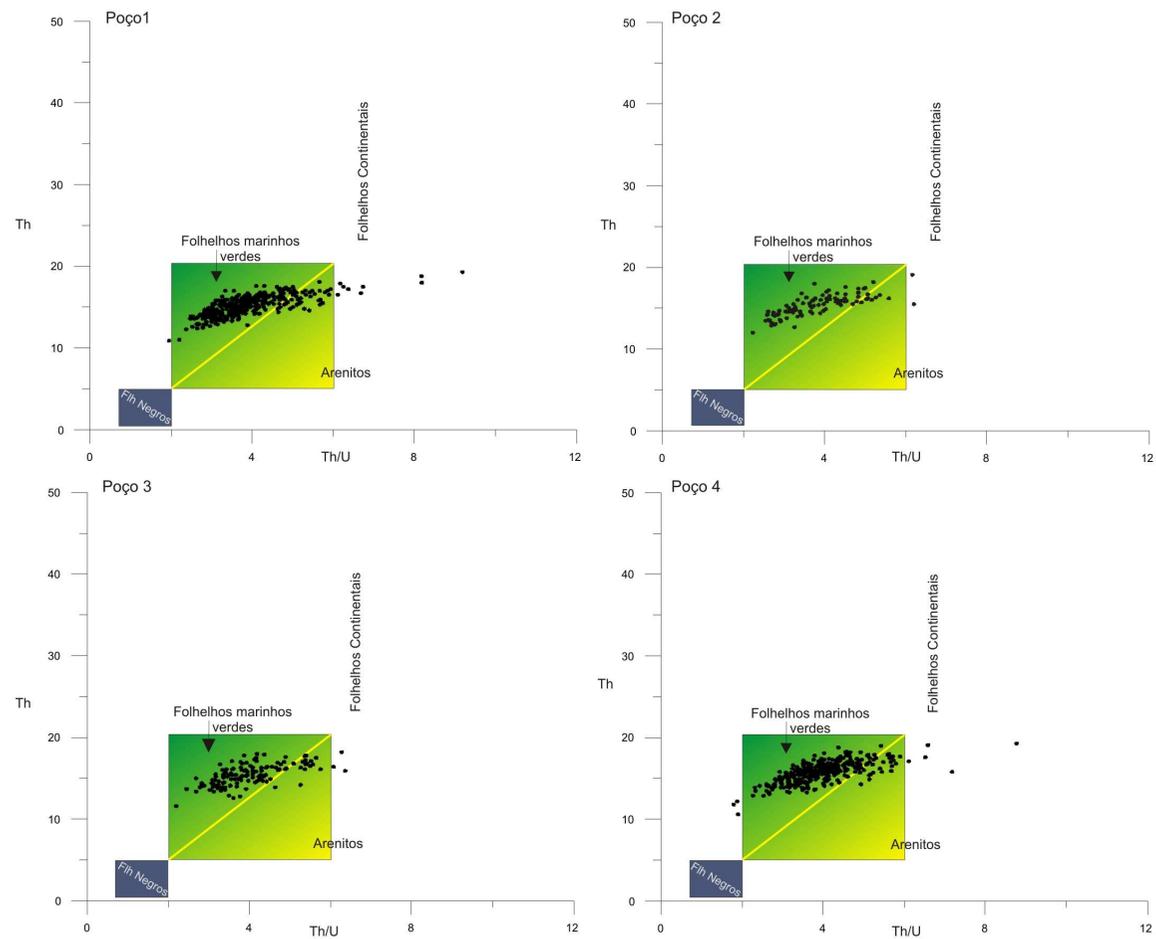


Figura 22 – Diagramas Th vs Th/U para classificação de sedimentos. A distribuição dos dados permite a classificação dos sedimentos, dos quatro poços estudados, no campo dos folhelhos marinhos. Permite também indicar que os sedimentos foram depositados preferencialmente, em condições ambientais marinhas normais, em relação ao seu caráter de paleoxigenação. Modificados do diagrama proposto por Adams & Weaver (1958).

Capítulo VI – Análise do Devoniano Inferior (Praguiano – Emsiano Superior), na borda leste da Bacia do Paraná.

VI.1 – Sedimentação

Foram identificados eventos deposicionais com freqüências de terceira, quarta ordens caracterizados tanto na sucessão faciológica, como nas tendências geoquímicas observadas nos perfis dos poços estudados nesta pesquisa. Estes eventos, muitas vezes, ocorrem de forma cíclica no registro sedimentar e indicam, muito bem, pares transgressivos – regressivos (figura 23). Contudo, esta ciclicidade relatada, por vezes, tem sua visualização dificultada ou está oculta pela atuação de condicionantes locais sobre a sedimentação.

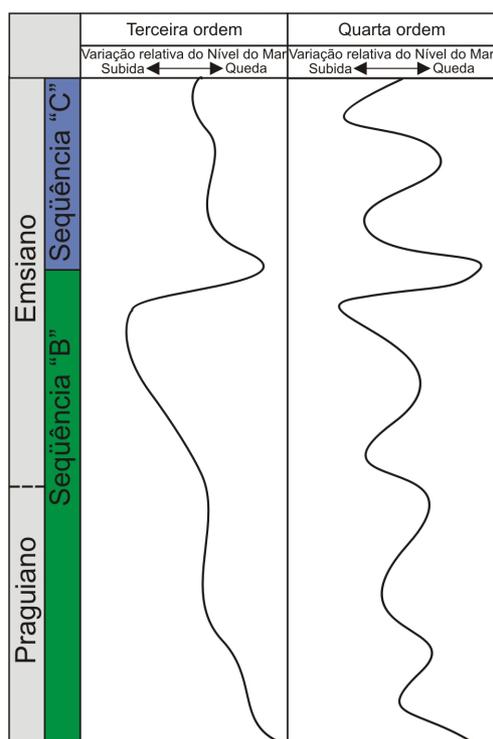


Figura 23 – Curvas de variação relativa do nível do mar para as seqüências de terceira e quarta ordens para a seção praguiana - emsiânica superior. Foram construídas a partir das relações estratigráficas interpretadas na seção de correlação, considerando as principais variações litológicas e anomalias observadas nos perfis estudados para a distinção da magnitude de cada evento indicado.

Controles de natureza climática, que modulam tanto as baixas como as altas freqüência, podem estar representados em modificações significativas do empilhamento sedimentar e na distribuição lateral das fácies sedimentares. A resposta às variações nestes controles é bem representativa nas concentrações de carbono orgânico total, de Tório e de Urânio.

O registro sedimentar estudado apresenta anomalias distintas, caracterizadas nos diferentes métodos utilizados. Estas anomalias indicam momentos de espessuras da coluna d'água e aporte sedimentar variados, lateralmente e ao longo do tempo Praguiano – Emsiano Superior. As seqüências deposicionais registram estas variações e sugerem condições que favoreceram o aporte, deposição e preservação de fácies arenosas na área dos poços 2 e 3, porção central da borda leste da Bacia do Paraná.

As concentrações de COT mostram que algumas anomalias associadas nesta pesquisa a momentos de afogamentos de terceira e quarta ordens tem maior potencial para a preservação da matéria orgânica. A isso é somado o fato da qualidade da matéria orgânica, analisada em um dos poços, indicar o predomínio de matéria orgânica de boa qualidade, dos tipos I e II. No entanto, não foram observadas nesta pesquisa efetivas condições de anoxia da coluna d'água. As concentrações de Urânio e Tório mostram ambientes marinhos com oxigenação normal, pontuados por momentos de redução na oxigenação da água de fundo e, deste modo, maior precipitação do Urânio disponível no ambiente.

A atividade biológica no substrato também caracteriza essa hipótese de condições normais de oxigenação, uma vez que, na maior parte do tempo são encontradas evidências de bioturbação, em maior ou menor intensidade, mas raramente ausente de fato. Tem maior desenvolvimento, nos momentos de maior circulação de sedimentos e nutrientes no ambiente sedimentar, como os momentos iniciais de transgressões e no final do trato de sistemas de mar alto. Em oposição, os afogamentos registram as menores atividades observadas.

VI.II – Potencial para geração de hidrocarbonetos.

Análises organopalinológicas realizadas por Portela (2004), nas amostras do poço 1, indicam que a matéria orgânica presente é constituída por material orgânico marinho, esporos e fitoclastos. Paralelamente, a análise do tipo de matéria orgânica do poço 3 indica o predomínio de matéria orgânica tipo I e influência de matéria orgânica tipo II, com alguma oxidação associada (Figura 15). Ainda assim, os valores gerais da concentração de carbono orgânico nos poços são, predominantemente, inferiores a 1 %, com anomalias localizadas de maior concentração.

Deste modo, nos intervalos onde se verificam tais anomalias, estes materiais apresentam potenciais bons a intermediários para a geração de hidrocarbonetos, em especial os hidrocarbonetos gasosos por apresentarem baixa quantidade de hidrogênio em sua estrutura molecular. Teores de carbono orgânico menores que 1% na rocha são considerados, geralmente, como desfavoráveis para a geração útil de hidrocarbonetos, uma vez que não apresentam quantidade de matéria orgânica suficiente para propiciar a geração de volumes significativos de hidrocarbonetos.

Destaca-se que as anomalias mais expressivas nos teores de COT, dos poços estudados, ficam entre 1,5% e 2,3%. Essas correspondem a intervalos não superiores a uma dezena de metros e estão associados aos máximos de inundação na bacia, os quais são considerados como exceções no registro sedimentar.

Variações laterais nas condições deposicionais fazem com que as anomalias nos teores de carbono orgânico não sejam contínuas lateralmente. As superfícies de máxima inundação apresentam correlação regional. Tal fator indica que a concentração, preservação e classificação da matéria orgânica foram variadas durante a sedimentação.

Verificou-se a sutil relação sedimentação, oxigenação da coluna d'água e produtividade primária. Assim, nas condições marinhas observadas para um mar pouco profundo e de fisiografia em rampa, qualquer falta ou modificação nos controles dessas variáveis, altera de forma significativa a quantidade de matéria orgânica disponível para a preservação.

Deste modo, o potencial de geração da porção inferior da Formação Ponta Grossa pode ser considerado satisfatório para alguns intervalos particulares. Em função da variação dinâmica dos fatores controladores da preservação da matéria orgânica no ambiente deposicional, deve ser destacada a importância de estudos de detalhe a respeito da compreensão da distribuição das anomalias de matéria orgânica ao longo dos limites da bacia e em seu interior com o objetivo de estabelecer critérios de prospecção e localizar as áreas deposicionais com maior potencial para a geração de hidrocarbonetos na bacia.

Capítulo VII - Conclusões

A partir da análise estratigráfica dos dados de gamaespectrometria, geoquímica orgânica e dos aspectos sedimentológicos da sucessão vertical de fácies foi estabelecida, com bom detalhamento, a divisão estratigráfica do registro sedimentar estudado.

Foram interpretados ciclos sedimentares com predomínio de tendências transgressivas – regressivas em diferentes frequências. Estes ciclos são classificados como seqüências deposicionais de terceira e quarta ordens e seus tratos de sistemas constituintes. Internos a estas seqüências deposicionais foram identificados eventos de alta frequência, possivelmente de quinta ordem.

Com base na idade geológica do registro sedimentar e em critérios de correlação com seqüências deposicionais de segunda e terceira ordens de mesma idade, disponíveis na literatura, as seqüências deposicionais de terceira ordem, interpretadas nesta pesquisa, são definidas como as seqüências deposicionais “B” e “C”, caracterizadas por Bergamaschi (1999) e Bergamaschi & Pereira (2001).

Estas seqüências deposicionais, à regra geral de elevação do nível relativo do mar do Devoniano na bacia, mostram predomínio de um trato de sistemas transgressivo bem desenvolvido. Alterações neste aspecto são derivadas de modificações nas condições ambientais, refletidas nas tendências dos perfis e na associação de fácies.

Estas modificações, por sua vez, têm um caráter temporal, cíclico, que permite a distinção das seqüências deposicionais de quarta ordem, além de um outro caráter, espacial, que altera, lateralmente, o registro sedimentar pela atuação variada de controles deposicionais locais.

Deste modo, foram definidas para a seqüência deposicional “B” quatro seqüências deposicionais de quarta ordem, nesta pesquisa, denominadas “B1”,

“B2”, “B3” e “B4”. Para a seqüência deposicional “C”, as seqüências de quarta ordem são “C1” e “C2”. Variações de espessura nos tratos de sistemas destas seqüências deposicionais de quarta ordem podem sugerir alguma ciclicidade nos eventos de afogamento da bacia, em destaque a variação observada para os tratos de sistemas transgressivos.

Verificou-se para a seqüência deposicional “B” e, em maior escala, para a seqüência deposicional “B4”, o registro de um progressivo afogamento da bacia, com redução na sedimentação, que culmina no máximo afogamento destas seqüências. Internamente à seqüência “B4”, é notória a definição da ciclicidade de quinta ordem nos perfis dos poços.

Na base da seqüência deposicional “C”, após um limite de seqüência com boa caracterização nos poços, é sugerida a preservação de um trato de sistema de mar baixo, na região dos poços 3 e 4. Sua ocorrência pode estar associada à conjugação de maior sedimentação e espaço de acomodação disponível.

Observou-se na região central da borda leste da Bacia do Paraná uma maior espessura das seqüências deposicionais e uma maior proporção de fácies arenosas, fatores que justificam a interpretação de condições locais que favoreceram aporte, deposição e preservação destas fácies na área dos poços 2 e 3 na seqüência “B”.

Os registros dos episódios transgressivos são bem representados nas seqüências deposicionais. Os momentos de máxima inundação da bacia apresentam, em geral, boa correlação entre os poços, com semelhanças nas feições dos perfis. Exceções à regra são decorrentes variações laterais e locais nas condições do ambiente de sedimentação.

Contudo, estas variações têm maior expressão sobre a efetiva preservação e/ou concentração de carbono orgânico e, em associação, da matéria orgânica

nos sedimentos. Verifica-se, assim, que a preservação da matéria orgânica é controlada pela inter-relação entre oxigenação da coluna d'água, sedimentação e a produtividade primária de matéria orgânica. Qualquer modificação nestes parâmetros pode elevar ou reduzir as concentrações da matéria orgânica.

Deste modo, é verificado que as áreas com maior potencial para a geração de hidrocarbonetos podem apresentar variações de distribuição espacial semelhantes. Ressalta-se, assim, a importância do estudo e compreensão da distribuição destas anomalias na Formação Ponta Grossa, bem como, em outras unidades sedimentares com características semelhantes, a fim de gerar modelos prospectivos não convencionados.

Os diferentes métodos utilizados nesta pesquisa apresentaram resultados satisfatórios e, algumas vezes, complementares, no que trata da divisão e da correlação estratigráfica do registro sedimentar.

A associação entre os teores de carbono orgânico, a razão Th/U e dados sedimentológicos nos poços foi bastante coerente, mesmo levando-se em conta algumas incongruências localizadas. A utilização conjugada desses métodos possibilitou distinguir momentos de transgressão e regressão na bacia e caracterizar seqüências deposicionais. Estes momentos são caracterizados por apresentarem anomalias que marcam eventos de maior ou menor concentração de carbono orgânico, redução na oxigenação da coluna d'água, e proporção de fácies argilosas nos poços.

A curva de concentração de urânio autigênico não mostrou resultados satisfatórios. Em geral, sugere alguma concentração em anomalias associadas a máximos afogamentos. Verificou-se que na maioria das vezes, apenas acompanhava as variações na curva de concentração de urânio e da razão Th/U. Supõe-se que isso se deva ao caráter marinho normal da sedimentação, diferente daquele marinho anóxico, no qual foram estabelecidas as relações entre tório e

urânio que obtém a equação de estimativa do urânio autigênico. A utilização deste método, nas rochas da Formação Ponta Grossa, teria melhor aplicação se estabelecidas às relações entre tório e urânio para ambientes deposicionais similares.

O perfil de concentração de potássio, como esperado, devido à intensa presença de micas diagenéticas descrita para a Formação Ponta Grossa na literatura mostrou baixa correlação com os eventos marcados pelos perfis de tório e urânio. Ainda assim, permitiam auxiliar a caracterização dos eventos deposicionais e de alguns aspectos da sedimentação.

Conclui-se que a análise estratigráfica realizada com a integração de diferentes métodos possibilita um maior controle sobre a caracterização dos eventos estratigráficos no intervalo Praguiano – Emsiano Superior. Na seção estudada, esta integração dos métodos utilizados permitiu a identificação de eventos classificados como seqüências deposicionais de terceira e quarta ordens e a caracterização dos principais controles deposicionais que atuaram durante a deposição das mesmas.

A utilização da gamaespectrometria forneceu informações valiosas sobre a evolução da dinâmica do ambiente sedimentar, no que trata das relações de aporte sedimentar e das condições relativas de oxigenação do ambiente, ao longo do intervalo de tempo estudado. Quando integrada aos dados de geoquímica orgânica e de sedimentologia permite caracterizar e estabelecer correlações com fatores como a preservação e concentração da matéria orgânica e do empilhamento de fácies no registro sedimentar. Assim é possível gerar modelos mais refinados necessários à pesquisa de hidrocarbonetos.

Capítulo VIII. Referências Bibliográficas

- Adams, J.A.S. & Weaver, C.E. 1958. Thorium-to-uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geochemical facies. *AAPG Bulletin*, **42(2)**:387-430.
- Algeo, T.J., Schwark, L., Hower, J.C. 2004. High-resolution geochemistry and sequence stratigraphy of the Hushpuckney Shale (Swope Formation, eastern Kansas): Implications for climato-environmental dynamics of the Late Pennsylvanian Midcontinent Seaway. *Chemical Geology*, **206**:259 –288.
- Almeida, F.F.M. & Carneiro, C.D.R. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (orgs). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. Ed. Beca. P. 43 – 58.*
- Andrade, S.M. & Camarço, P.E.N. 1980. Estratigrafia dos sedimentos devonianos do flanco nordeste da Bacia do Paraná. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Anais, 5*:2828 – 2836.
- Andrade, S.M., Camarço, P.E.N., 1982, Seqüências sedimentares pré-carboníferas dos flancos nordeste da Bacia do Paraná e sudoeste da Bacia do Parnaíba e suas possibilidades uraníferas. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Anais, 5*:2132-2144.
- Artur, P.C. & Soares, P.C. 2002. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **32(4)**:433 – 448.
- Assine, M.L., Perinotto, J.A.J., Fulfaro, V.J., Petri, S. 1998. Progradação deltaica tibagi no Devoniano médio da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **28(2)**:125 – 134.
- Assine, M.L., Soares, P.C., Milani, E.J. 1994. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **24(2)**: 77 – 89.

- Bergamaschi, S. 1992. *Análise sedimentológica da Formação Furnas na faixa de afloramentos do flanco norte do arco estrutural de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil*. Rio de Janeiro, 172 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Bergamaschi, S. 1999. *Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano, (Formações Furnas e Ponta Grossa) da Sub-bacia Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil*. São Paulo, 167 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP – IGC.
- Bergamaschi, S. & Pereira, E. 2001. Caracterização de seqüências deposicionais de 3ª ordem para o Siluro-Devoniano na sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. In: MELO, J.H.G. & TERRA, G.J.S. (eds.) *Correlação de seqüências paleozóicas sul-americanas*. Série Ciência-Técnica-Petróleo, Petrobrás, Rio de Janeiro. Seção Exploração de Petróleo. **20**:63 – 72.
- Calvert, S.E., Bustin, R.M., Ingall, E.D. 1996. Influence of water column anoxia and sediment supply on the burial and preservation of organic carbon in marine shales. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60(9)**: 1577 – 1593.
- Clark, J.M. 1913. *Fósseis Devonianos do Paraná*. Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. Rio de Janeiro, **1**, 353p.
- Colquhoun, G.P. 1995. Siliciclastic sedimentation on a storm – and tidal influenced shelf and shoreline: The Early Devonian Roxburgh Formation, NE Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia. *Sedimentary Geology*, 97:69 –98.
- Corrêa, L.M.S.A. & Pereira, E., 2005. Age distribution of intrusions associated to the Paraná Flood Volcanism and its implications in the Petroleum Systems characterization of Paraná Basin, Brazil. In: 32nd International Geological Congress, Abstracts Vol., pt. **1**, abs. 1-1, p. 192.
- Davies, S.J., Elliot, T. 1996. Spectral gamma-ray characterization of high-resolution sequence stratigraphy: examples from Upper Carboniferous fluvio-deltaic systems, Co. Clare, Ireland. In: Howell, J.A., Aitken, J.F. (eds.), *High*

- resolution sequence stratigraphy: innovations and applications*. Geological Society of London Special Publication. **104**:25-30.
- De Hass, H., Van Weering, T.C.E., Stigter, H. 2002. Organic carbon in shelf seas: sinks or sources, processes and products. *Continental Shelf Research*, **22**: 691 – 717.
- Della Fávera, J.C. 2001. *Fundamentos da Estratigrafia Moderna*. Rio de Janeiro. Ed. UERJ. 264p.
- Demaison G.J. & Moore, G.T. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. *AAPG Bulletin*, **64(8)**1178 – 1209.
- Doveton, J.H. & Merriam, D.F. 2004. Borehole petrophysical chemostratigraphy of Pennsylvanian black shales in the Kansas subsurface. *Chemical Geology*. **206**:249-158.
- Dypvik, H. & Harris, N.B. 2001. Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr/Rb) +Sr ratios. *Chemical Geology*. **181**:131-146.
- Ellis, D.V. 1987. *Well logging for Earth scientists*. Elsevier. New York. 532p.
- Erik, N.Y., Ösçelik, O., Altunsoy, M. 2006. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs S2 vs TOC: Middle Triassic – Upper Jurassic units, eastern part of SE Turkey. *Journal of petroleum science and engineering*. **56**:34-46.
- Espitalié, J., Deroo, G., Marquis, F. 1986. La Pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Revue de L'institute Français du Pétrole*. **41(1)**: 73-89.
- Espitalié, J. Madec, M. Tissot, B., Menning, J.J., Leplat, P. 1977 Source rock characterization method for petroleum exploration, *Proc. Ninth. Annual Offshore Technology Conf.* **3**:439–448.
- Freitas Brazil, F.A. 2004. *Estratigrafia de seqüências e processo diagenético: Exemplo dos arenitos marinho-rasos da Formação Ponta Grossa, Noroeste da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, 124 p. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ – FGEL.

- Galloway, William, E. 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis: I Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units. *AAPG Bull.* **73(2)**: 125-142.
- Gaugris, K. A. 2004. *Quitinozoários da Formação Ponta Grossa: uma análise bioestratigráfica, a partir de furos de sondagem das regiões norte e sul da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, 85 p. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ-FGEL.
- Grahn, Y. 2002. Upper Silurian and Devonian Chitinozoa from central and southern Bolivia, central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**:315-326.
- Jones, B. & Manning, D.A.C. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology*. **111**:111-129.
- Lange, F.W. & Petri, S. 1967. The Devonian of the Paraná Basin. *Boletim Paranaense de Geociências*, **21**:5 – 55.
- Lauer-Laredde, C., Pezard, P.A., Robert, C., Dekeyser, I. 1998. Mineralogical association and physical properties of sediments with paleoclimate implications (ODP site 798B, Japan Sea): a comparative study from core and downhole measurements. *Marine Geology*. **150**:73-98.
- Lüning, S. & Kolonic, S. 2003. Uranium spectral gamma-ray response as a proxy for organic richness in black shales: applicability and limitations. *Journal of Petroleum Geology*. **26(2)**:153-174.
- Ketzer, J.M., Morad, S., Amorosi, A. 2003. Predictive diagenetic clay-mineral distribution in siliciclastic rocks within a sequence stratigraphic framework. In: Worden, R.H. & Morad, S. (eds.) *Clay Minerals Cements in Sandstone*. SEPM Special Publication, **34**, 43-61 pp.
- McRoberts, A.C.; Furrer, H.; Jones, D.S. 1997. Palaeoenvironmental interpretation of a Triassic-Jurassic boundary section from Western Austria based on

- palaeoecological and geochemical data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **136**:79-95
- Melo, J.H.G. 1985. *A Província Malvinocáfrica no Devoniano do Brasil; Estado atual de Conhecimentos*. Rio de Janeiro, 890p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO - FGEL.
- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Ponto Alegre, 2 v. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Milani, E.J. 2004. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In*: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (orgs). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo. Ed. Beca. P. 265 – 280.
- Milani, E.J., Assine. M. L., Soares. P. C., Daemon, R. F. 1996. A seqüência ordovício-siluriana da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8(2)**: 257 – 273.
- Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M., Araújo, L.M., Cupertino, J.A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), southern Brazil. *Boletim IG USP, Série Científica*, **29**:125 – 173.
- Milani, E.J., França, A. B., Schneider, R. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. **8(1)**: 69 – 82.
- Morad, S., Ketzer, J. M., De Ros, F. 2000. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. *Sedimentology*, **47**: 95-120.
- Oliveira, E.P. 1912. O terreno devoniano do sul do Brasil. *Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto*, **14**: 31–41.

- Pedersen, T.F. & Calvert, S.E. 1990. Anoxia vs. Productivity: What controls the formation of organic-rich sediments and sedimentary rocks? *AAPG Bulletin*, **74(4)**:454 – 466.
- Pereira, E. 2000. *Evolução tectono-sedimentar do intervalo Ordoviciano-Devoniano da Bacia do Paraná com ênfase na sub-bacia de Alto Garças e no Paraguai Oriental*. São Paulo, 276p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP – IGC.
- Pereira, E., Bergamaschi, S., Rodrigues, M.A. 1998. Sedimentary evolution of the Ordovician, Silurian and Devonian sequences of Paraná Basin in Brazil. *Zbl. Geol. Paläont.*, **1**: 779 – 792.
- Petri, S. 1948. *Contribuição ao Estudo do Devoniano Paranaense*. Departamento Nacional de Produção Mineral -DGM, **129**:125.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin*, **70(3)**:318 – 329.
- Popp, J.H. & Barcellos-Popp, M. 1986. Análise estratigráfica da seqüência deposicional devoniana da Bacia do Paraná (Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, **16(2)**:187 – 194.
- Portela, H.A. 2004. Contribuição ao potencial gerador de hidrocarbonetos do Devoniano Inferior da Bacia do Paraná, com base na análise de palinofácies. *In*: UERJ, Semana de iniciação científica, 13, boletim de resumos, meio digital.
- Posamentier, H.W. & Allen, G.P. 1999. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. SEPM Concepts in sedimentology and Paleontology.
- Quintas, M.C.L., Mantovani, M.S.M., Zalán, P.V. 1997. Contribuição para o estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **11(2)**:48 – 73.
- Raja Gabaglia, G.P. & Figueiredo, A.M.F. 1990. Evolução dos conceitos acerca das classificações de bacias sedimentares. *In*: Raja Gabaglia, G. P & Milani,

- E. J. (eds.). *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/SEREC/CEM-SUD, p. 31 – 45.
- Ramos, A.N. 1970. Aspectos Paleo-estruturais da Bacia do Paraná e sua influência na sedimentação. *Boletim Técnico da Petrobrás*. **13**:85-93.
- Rezende, M.F., Bergamaschi, S. 2006. Estratigrafia química do intervalo Praguiano-Emsiano (Formação Ponta Grossa), no bordo leste da Bacia do Paraná. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 43, Anais. Meio digital.
- Rimmer, S.M., Thompson, J.A., Goodnight, S.A., Robl, T.L. 2004. Multiple controls on the preservation of organic matter in Devonian – Mississippian marine black shales: Geochemical and petrographic evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **215**:125-154.
- Rodrigues, R. 2005. Chemostratigraphy. *In*: Koutsoukos, E.A.M. (ed.). *Applied stratigraphy*. Netherlands. Springer Verlag. p. 165 – 177.
- Ruffell, A., Worden, R. 2000. Palaeoclimate analysis using spectral gamma-ray data from the Aptian (Cretaceous) of southern England and southern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **155**:265-283
- Sanei, H., Stasiuk, L.D., Goodarzi, F. 2005. Petrological changes in organic matter from Recent lacustrine sediments during thermal alteration by Rock-Eval pyrolysis. *Organic geochemistry*. **36**:1190-1203.
- Schneider, R.L., Mulmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F, Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Anais, **1**:41 – 65.
- Schnyder, J.; Ruffell, A.; Deconinck, J. Baudin, F. 2006. Conjunctive use of spectral gamma-ray logs and clay mineralogy in defining late Jurassic-early Cretaceous palaeoclimate change (Dorset, U.K.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **229**:303-320.
- Sloss, L.L. 1996. Sequence stratigraphy on the craton: caveat emptor. Geological Society of America Special Paper. **306**:425-434.

- Soares, P. C., Landim, P.M.B., Fulfaro, V.J. 1978. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. *Geological Society of America Bulletin*, **89**:181 – 191.
- Svendsen, J.B., Hartley, N.R. 2001. Comparison between outcrop-spectral gamma ray logging and whole rock geochemistry: implications for quantitative reservoir characterization in continental sequences. *Marine Petroleum Geology*, **18**:657-670.
- Tissot, B.P. & Welte, D.H. 1984. *Petroleum formation and occurrence*. Netherlands. Springer Verlag. 699p.
- Trigüis, J.A. & Araújo, L.M. 2001. Aplicação da petrografia orgânica na caracterização dos tratos de sistema. *In*: Ribeiro, H.J.P. (org.). *Estratigrafia de seqüências. Fundamentos e aplicações*. Rio Grande do Sul. Ed. Unisinos. p. 261 – 302.
- Vail, P.R., Mitchum, R.M. JR., Tood, R.G., Widmier, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N. & Hatlelid, W.G. 1997. Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. *AAPG Memoir* **26**:49 – 212.
- White, T. & Arthur, M.A. 2006. Organic carbon production and preservation in response to sea-level changes in the Turonian Carlile Formation, U.S. Western Interior Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **235**:223-244.
- Wignall, P.B., Myers, J.K. 1988. Interpreting benthic oxygen levels in mudrocks, a new approach. *Geology*, **16(5)**:452-455.
- Zalán, P. V., Wolff, S., Conceição, J.C.J. Marques, A., Astolfi, M.A.M., Vieira, I. S., Appi, V.T., Zanotto, O.A., 1990. Bacia do Paraná *In*: Raja Gabaglia, G.P & Milani, E.J. (eds.). *Origem e evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/SEREC/CEM-SUD, p. 135-168.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)