

## Capítulo IV. Análise Estratigráfica

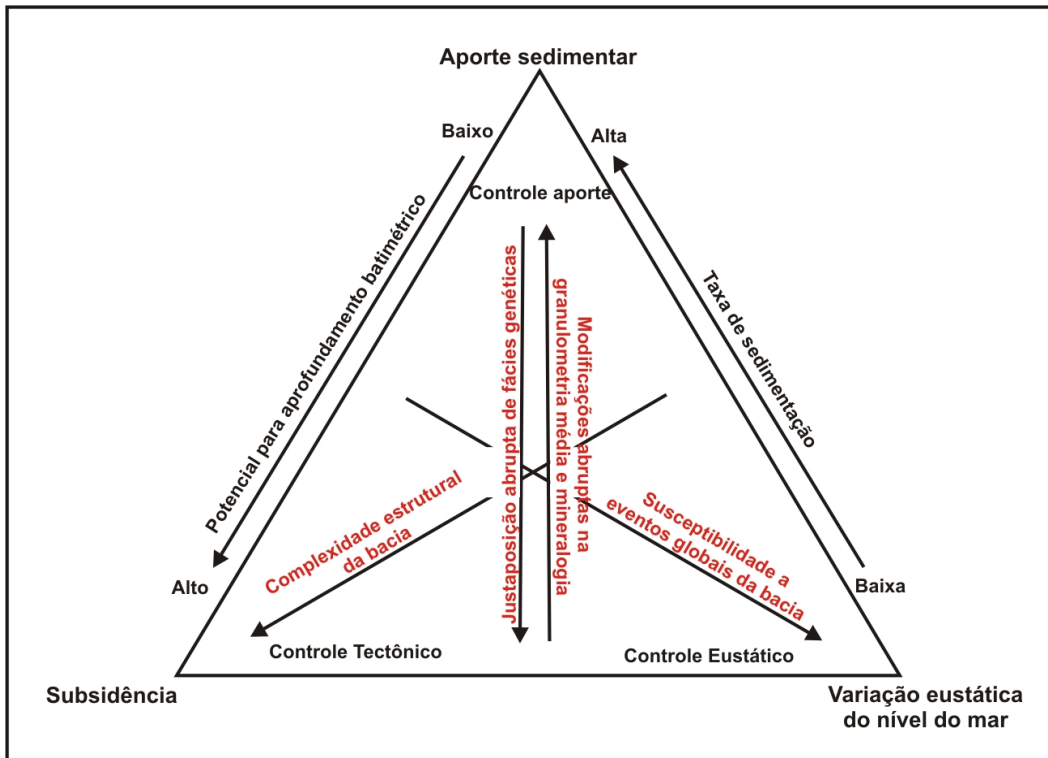
Após as etapas de descrição das fácies e processamento das amostras, iniciou-se a etapa principal da pesquisa, cujo objetivo foi interpretar com maior detalhe os dados dos poços, estabelecendo os limites e unidades estratigráficas como as seqüências deposicionais e os tratos de sistema, de terceira e 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 ( $\alpha a$ )**

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 ( $\alpha b$ )**

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 ( $\beta a$ )**

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 ( $\gamma a$ )**

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 ( $\gamma b$ )**

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 seqüência é marcada por condições ambientais, que favoreceram uma maior produtividade primária de matéria orgânica e de uma relativa menor oxigenação da coluna d'água interpretadas por incrementos na concentração de COT e redução na razão Th/U. Destacam-se, ainda, anomalias negativas nas concentrações relativas de K e Th. Decréscimos nestes elementos favorecem a idéia de restrição ao aporte sedimentar em decorrência do afogamento da bacia. Todos estes elementos são indicativos de condições propícias a maior preservação da matéria orgânica.

Após a superfície de inundação máxima (SIM), posicionada neste poço na profundidade de 85 metros, são implantadas condições 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 concentrações de U. Deste modo, marcam uma tendência de condições relativamente mais óxicas, em oposição àquelas observadas na máxima inundação da seqüência. Ressalta-se que a espessura do trato de sistemas de mar alto pode estar subestimada nesta seqüência, devido à existência da superfície de ravinamento que marca o limite superior da seqüência.

Internamente à seqüência deposicional "B", são observados ciclos de maior freqüência interpretados como seqüências deposicionais de quarta ordem e denominadas nesta pesquisa como seqüências deposicionais "B2", "B3" e "B4".

Para a seqüência deposicional "B2" é 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 seqüência de quarta ordem, com a seqüência deposicional "B3", posicionado em 128 metros, com elevado decréscimo em U e incremento em Th, que caracterizam uma superfície transgressiva. Associada a ela, provável redistribuição dos sedimentos neste tempo, com condições de maior oxigenação que permitiram a mobilização 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  $\alpha_b$  e  $\beta_a$ . 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  $\alpha b$  para  $\alpha a$

### ***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

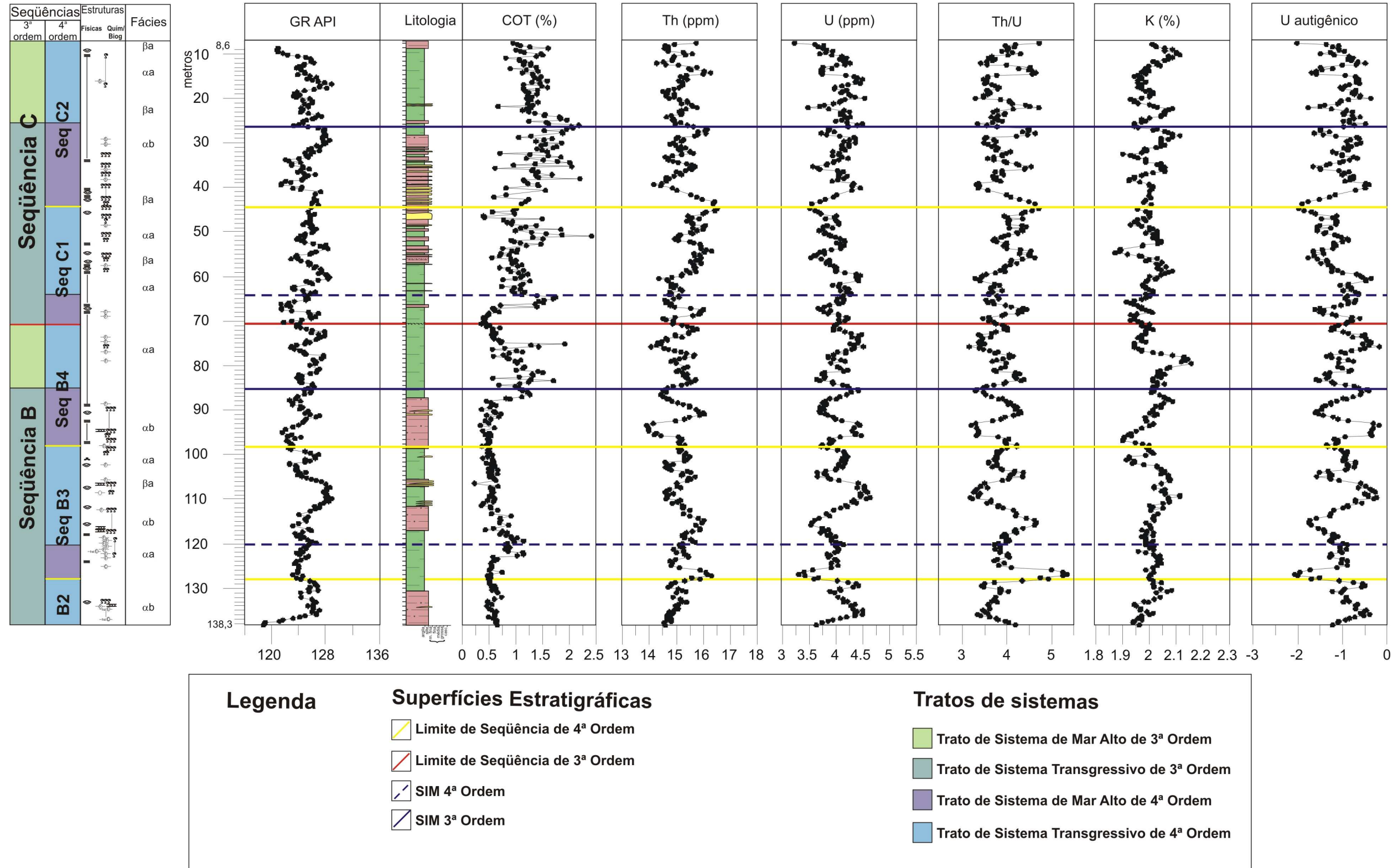
na oxigenação do ambiente e no aporte sedimentar, com máxima inundação registrada no poço em 64 metros. A partir deste nível, implanta-se o trato de sistema de mar alto, com aumento na razão Th/U, redução na concentração de COT e maior proporção de fácies arenosas  $\beta$ a e  $\gamma$ a em direção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

Este padrão regressivo é mantido até o limite superior da seq ncia na profundidade de 47 metros, na base de uma camada de arenito fácies  $\gamma$ a, 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 é 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 é 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  $\beta_a$  e  $\gamma_a$ , 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  $\beta_a$  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  $\alpha_a$  para fácies  $\beta_a$ . 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  $\gamma_a$  por processos de redistribuição de sedimentos, possivelmente associados a influência de tempestades.

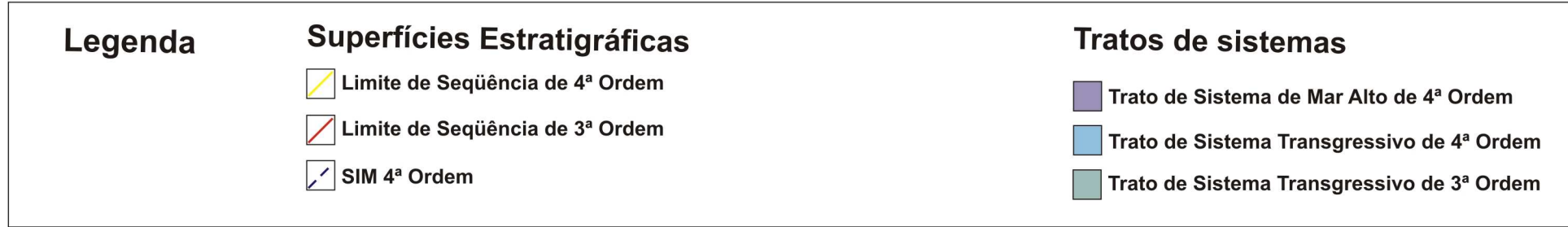
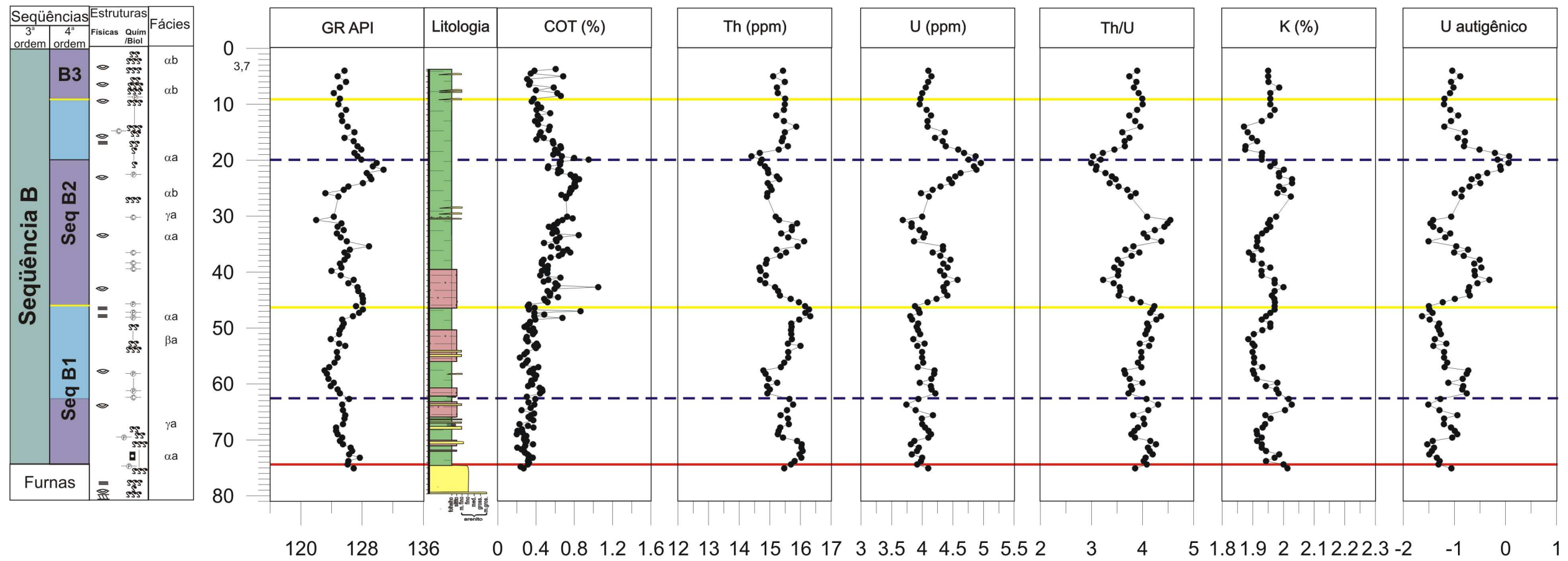
É estabelecido o trato de sistemas de mar alto na seqüência deposicional “B2”, no qual é verificada uma tendência regressiva com diminuição da argilosidade e dos teores de COT enquanto a razão Th/U

apresenta mostra incremento em Th. Lentas e camadas de arenitos de pequena espessura, associadas a fácies  $\gamma_a$ , distribuídas em fácies  $\alpha_a$  e  $\alpha_b$ .

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  $\beta_a$  e  $\gamma_a$  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.

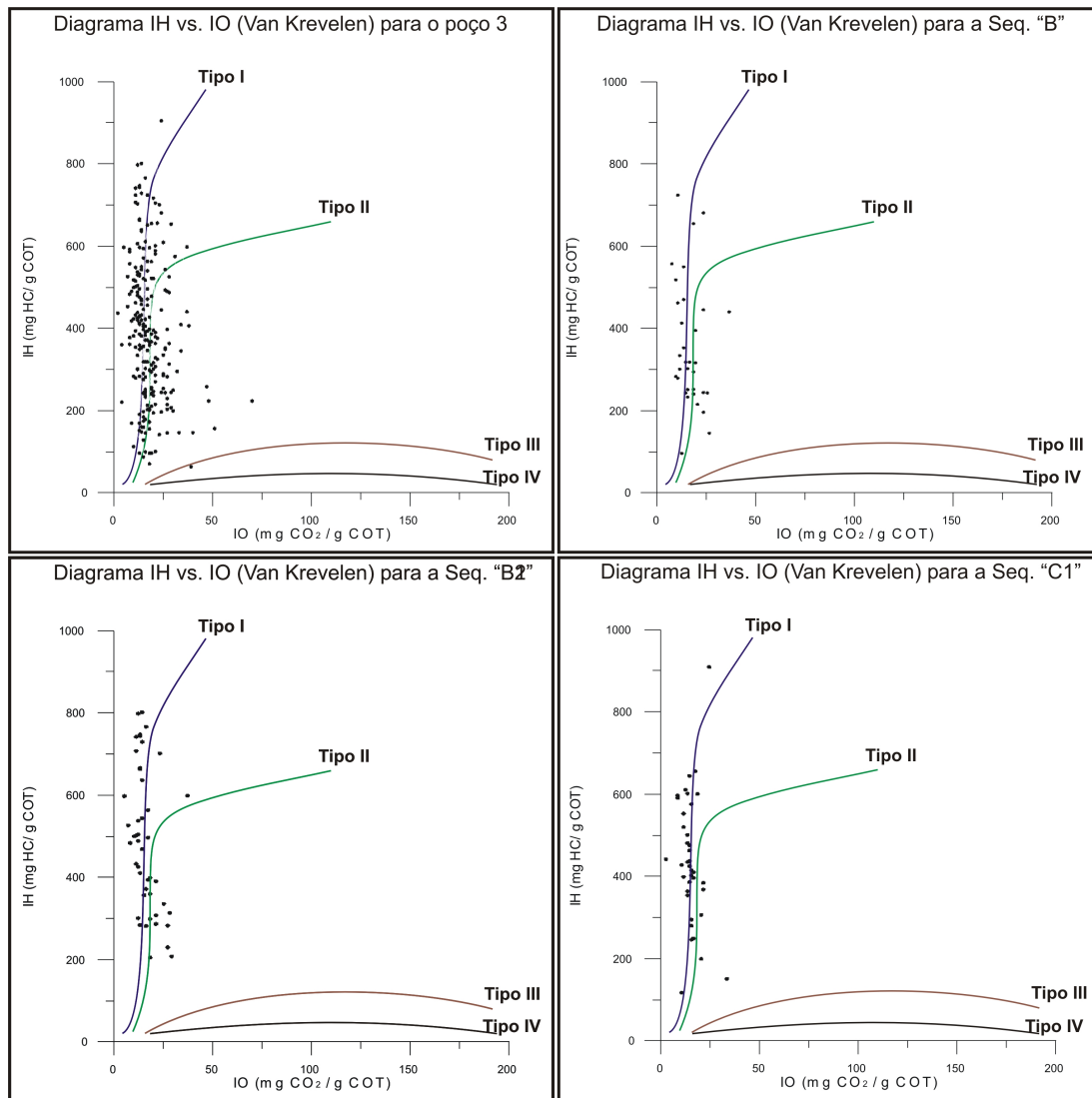
No registro sedimentar deste poço são verificadas as seqüências deposicionais de terceira ordem “B” e “C”, bem como as seqüências deposicionais de quarta ordem “B2”, “B3”, “B4” e “C1” e eventos de mais alta freqüência. Ressalta-se que a seqüência deposicional “B2” é representada pelo final do trato de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

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  $\gamma a$ . 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  $\gamma a$ , 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  $\gamma_a$  na base, passando por pacotes de interlaminados entre arenitos e siltitos da fácies  $\beta_a$  e terminando com o predomínio de fácies  $\alpha_b$ .

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  $\gamma_a$ .

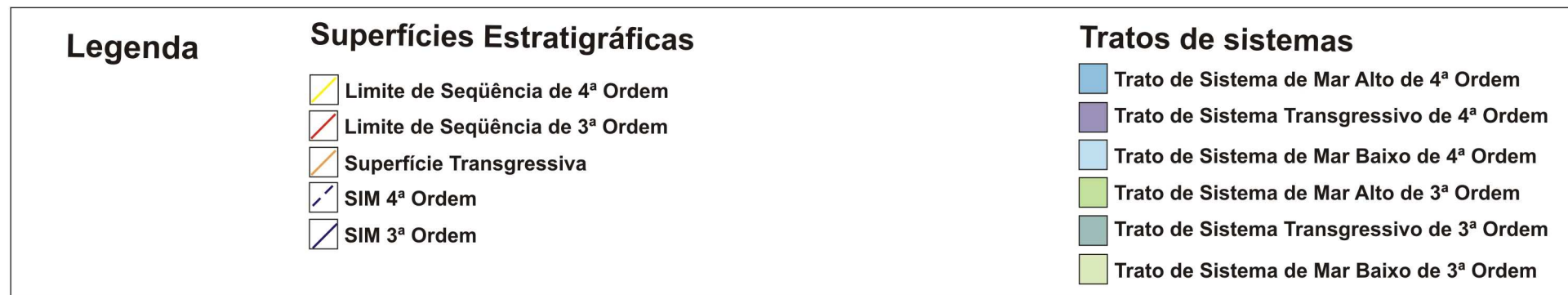
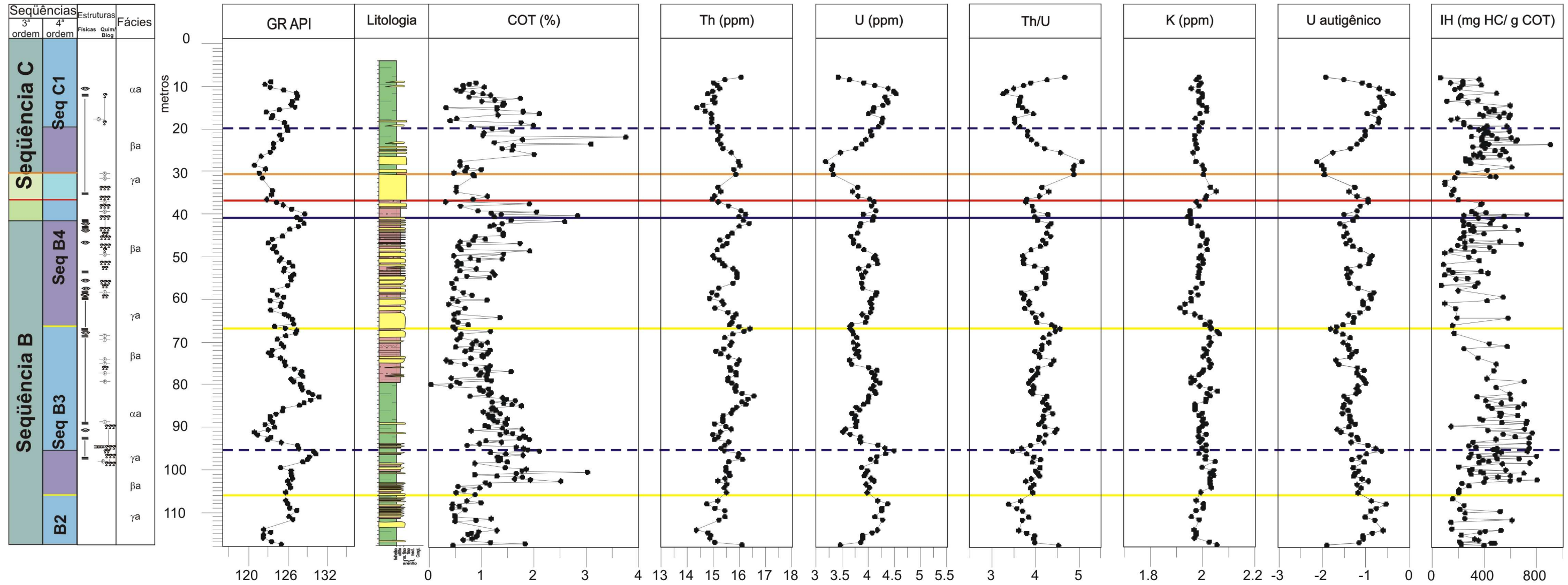
### ***Seqüência deposicional “C”***

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  $\alpha_b$  e  $\alpha_a$ . 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  $\gamma_b$ . 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  $\alpha_b$  e  $\beta_a$  para fácies  $\alpha_a$  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.