

# breves comunicações

## Em busca da bioestratigrafia de alta resolução – a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobras

*Towards a high resolution biostratigraphy – the Petrobras' calcareous nannofossil zonation performance*

Rogério Loureiro Antunes | Seirin Shimabukuro | Luiz Carlos Veiga de Oliveira | Ana Lúcia Zucatti da Rosa | Simone de Oliveira Costa | Armando Antonio Scarparo Cunha | Francisco Henrique de Oliveira Lima

(originais recebidos em 10.08.2004)

**Palavras-chave:** nanofósseis calcários | bioestratigrafia | geologia de reservatório

**Keywords:** calcareous nannofossil | biostratigraphy | reservoir geology

### introdução

O estudo dos nanofósseis calcários que ocorrem na margem continental brasileira teve início no final da década de 1960. Naquela época, buscava-se complementar o Laboratório de Paleontologia da Petrobras com o mais recente grupo microfóssil de comprovada aplicação na indústria do petróleo. Como resultado destas investigações pioneiras, Trölsen e Quadros (1971) publicaram o primeiro zoneamento para a margem continental brasileira. Este arcabouço bioestratigráfico contava, então, com 25 biozonas (20 para o Cenozóico e cinco para o Cretáceo pós-Aptiano). Durante a década de 1980 a seção cenozóica foi intensamente estudada, e Richter

ÉPOCA	BIOZONAS
QUAT.	N720
PLIOCENO	N710
	N670
	N660
	N650
MIOCENO	N640
	N635
	N630
	N620
	N590
	N580
	N570
	N560
	N550
	N547
	N545
	N540
OLIGOCENO	N530
	N520
	N510
	N505
	N470
	N460
EOCENO	N450
	N447
	N440
	N437
	N430
	N420
	N410
	N350
PALEOCENO	N340
	N330
	N307
	N305

Figura 1

Zoneamento padrão da Petrobras (nanofósseis calcários) para o Cenozóico.

Figure 1

Petrobras' standard zonation (calcareous nannofossil) for the Cenozoic.

Sem escala cronométrica

et al. (1993) reestruturaram tal arcabouço propondo 35 biozonas para este Eratema (fig. 1). Com relação ao Cretáceo, o incremento da resolução foi também bastante considerável. Com os estudos desenvolvidos posteriormente, durante a década de 1990 e início dos anos 2000, a seção mesozóica marinha da margem sudeste brasileira passou a contar com 18 unidades bioestratigráficas, entre zonas e subzonas (fig. 2).

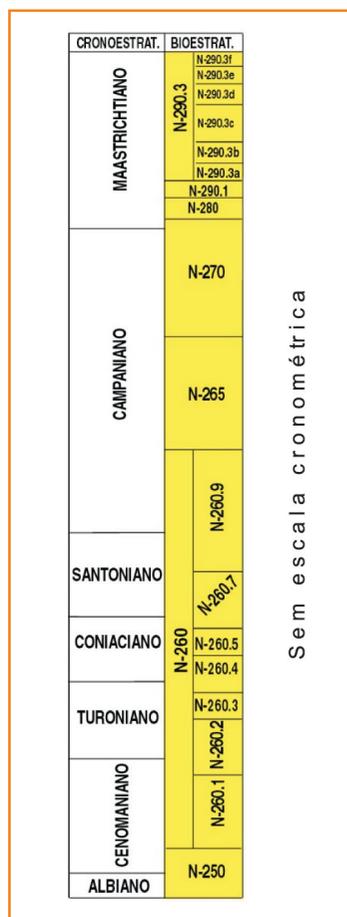
Com este aumento expressivo de detalhe, tornou-se possível individualizar intervalos cronoestratigráficos de amplitude relativamente reduzida. Deste modo, a bioestratigrafia com base em nanofósseis, além de seu enfoque exploratório tradicional, passou a ter um uso potencial no auxílio à elucidação de questões estratigráficas que requerem bastante detalhe, como é o caso dos estudos relacionados à geologia de reservatórios. Isto porque, para determinados intervalos, o arcabouço de nanofósseis passou a ser visto como um arcabouço muito próximo ao da alta resolução.

Figura 2

Zoneamento padrão da Petrobras (nanofósseis calcários) para o Cretáceo Superior das bacias da margem sudeste brasileira.

Figure 2

Petrobras' Standard zonation (calcareous nanofossil) for the Upper Cretaceous of Brazilian Southeastern Marginal Basins.



## os estudos no Campo de Roncador

O Campo de Roncador foi descoberto em 1996. Naquela ocasião, encontrava-se em desenvolvimento um estudo com o objetivo de detalhar, em termos bioestratigráficos, a seção maastrichtiana da Bacia de Campos. Em função da descoberta de Roncador e da constatação de que seus reservatórios principais pertenciam àquela idade, os estudos bioestratigráficos foram reestruturados visando dar suporte biocronoestratigráfico para as interpretações geológicas do campo recém-descoberto. Assim, Oliveira et al. (1999), por meio da bioestratigrafia dos nanofósseis, discriminaram as idades (biocronozonas) dos principais "pulsos" de areia (fluxos gravitacionais) responsáveis pela formação dos reservatórios do Campo de Roncador. Na verdade, esse trabalho teve uma forte conotação multidisciplinar, onde, além da bioestratigrafia dos nanofósseis calcários, várias outras ferramentas geológicas foram empregadas, tais como: variações isotópicas do Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e do Oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ), perfis geofísicos de poços (raios gama, resistividade e sônico), seções sísmicas e outros grupos microfósseis (foraminíferos e palinóforos).

De acordo com Oliveira et al. (1999), os reservatórios do Campo de Roncador são arenitos de natureza turbidítica posicionados principalmente nos estratos das biozonas N-290.b e N-290.3c (fig. 3). Certas camadas destes reservatórios encontram-se interpostas a depósitos pelíticos que contêm microfósseis e que permitem uma datação acurada da seção. Em algumas perfurações foi constatada a possibilidade de uma parte dos reservatórios do campo situarem-se nas biozonas N-290.3a e N-280, mais antigas. Ainda de acordo com os autores, com o detalhamento bioestratigráfico da seção maastrichtiana do campo tornou-se possível reconhecer e caracterizar de modo mais preciso os hiatos comumente observados na passagem Cretáceo - Terciário, além de alguns outros hiatos intra-maastrichtianos. Depois deste estudo inicial do Campo de Roncador, muitos outros foram elaborados. Assim, atualmen-

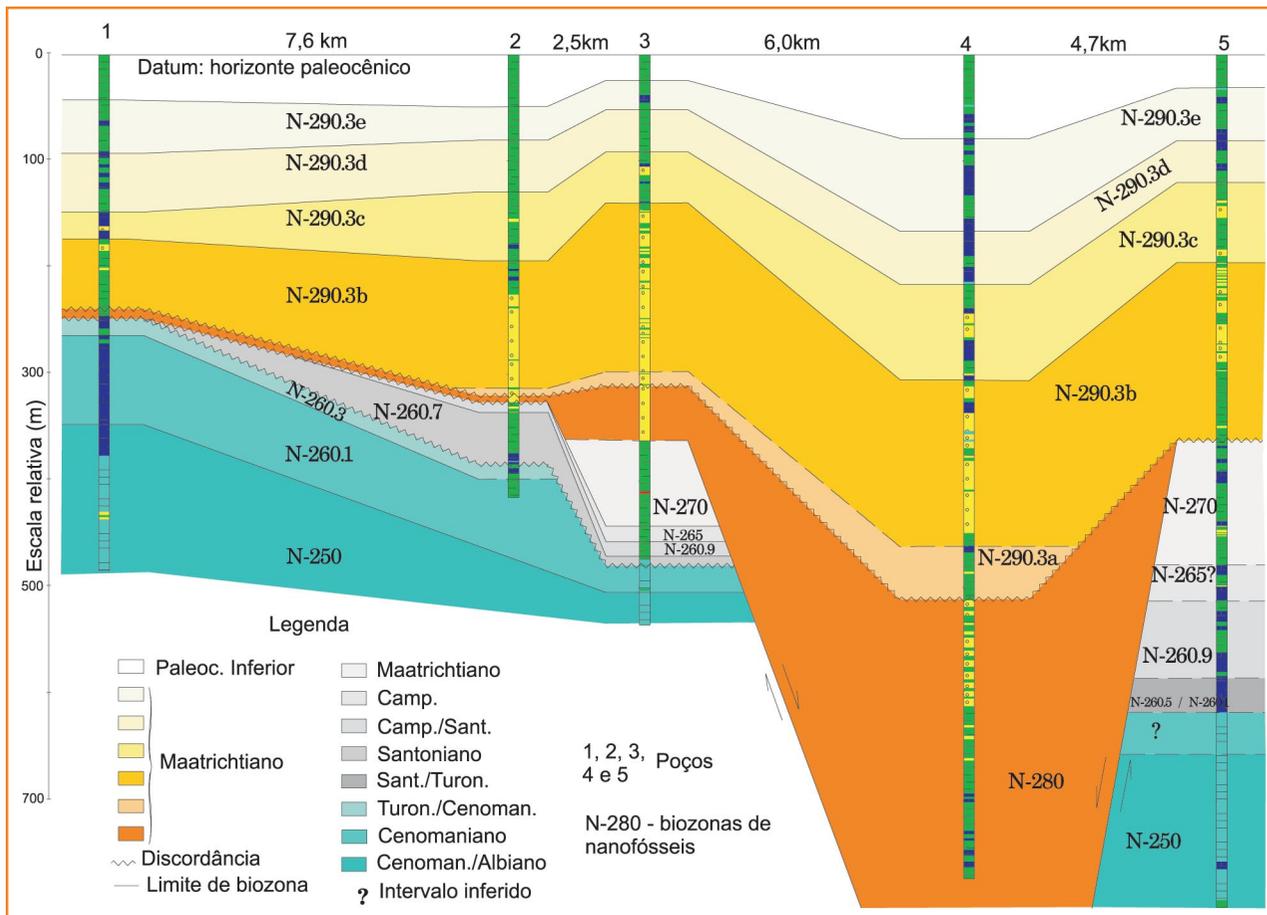


Figura 3

Seção estratigráfica na área do Campo de Roncador (modificado de Oliveira et al. 1999).

Figure 3

Stratigraphic section in Roncador field (mod. Oliveira et al. 1999).

te, sabe-se que a deposição de seus reservatórios iniciou-se ao término do Campaniano, durante o tempo da biozona N-270 (Machado Jr. et al. 2004) e estendeu-se por boa parte do Maastrichtiano.

## biosteering no Campo de Marlim sul

Um arcabouço biocronoestratigráfico detalhado é condição importante para o bom entendimento da evolução geológica de um campo de petróleo. Por meio das correlações biocronoestratigráficas é possível conhecer como se deu a deposição das camadas ao longo do tempo. Com esta informação, pode-se visualizar a geometria de tais camadas e identificar os principais níveis erosivos que condicionam as superfícies sobre as quais as camadas-reservatório encontram-se assentadas.

Uma atividade importante e decorrente deste conhecimento é o acompanhamento bioestratigráfico de segmentos horizontais de poços de produção (*biosteering*). Esta atividade de acompanhamento consiste na identificação estratigráfica de um eventual desvio da trajetória horizontal do segmento: se para cima ou para baixo do reservatório (fig. 4). A orientação deste desvio é identificada a partir da associação fóssil reconhecida nas amostras provenientes da perfuração. Assim, a partir do monitoramento bioestratigráfico no local onde a perfuração é executada, a informação obtida é capaz de orientar, em tempo hábil, as manobras mecânicas necessárias ao acerto da trajetória do segmento, no caso de verificação de um desvio. Antunes et al. (2002) empreenderam estudo deste tipo nos reservatórios eocênicos do Campo de Marlim sul. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi necessário um enfoque de detalhe na seção que compreende os reservatórios, que são arenitos provenientes da atuação de fluxos gravitacionais subaquosos. As-

sim, alguns poços foram selecionados e a seção de interesse teve o conteúdo nanofossilífero investigado detalhadamente em amostras de calha espaçadas de 3 m ou de 6 m. Por se tratar de uma investigação de detalhe, as amostras paleontológicas não foram utilizadas, como no caso da pesquisa exploratória. Como se sabe, amostras paleontológicas são compostas a partir de calha e geralmente referem-se a um intervalo com espessura igual ou superior a 15 m. Além do material de calha, também foram investigadas amostras laterais e de testemunhos disponíveis.

Por meio da análise das amostras laterais obtidas junto a níveis pelíticos foi possível identificar, em certas perfurações, biozonas que não foram assinaladas nas amostras de calha, uma vez que estas últimas encontravam-se empobrecidas em

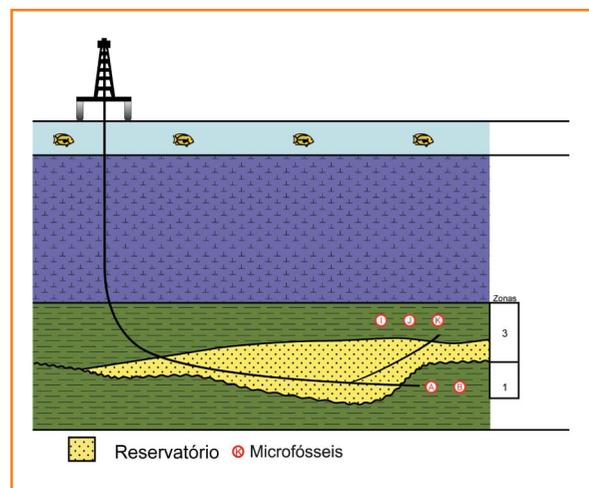


Figura 4 - Monitoramento bioestratigráfico (*biosteering*) em segmentos horizontais de poços.

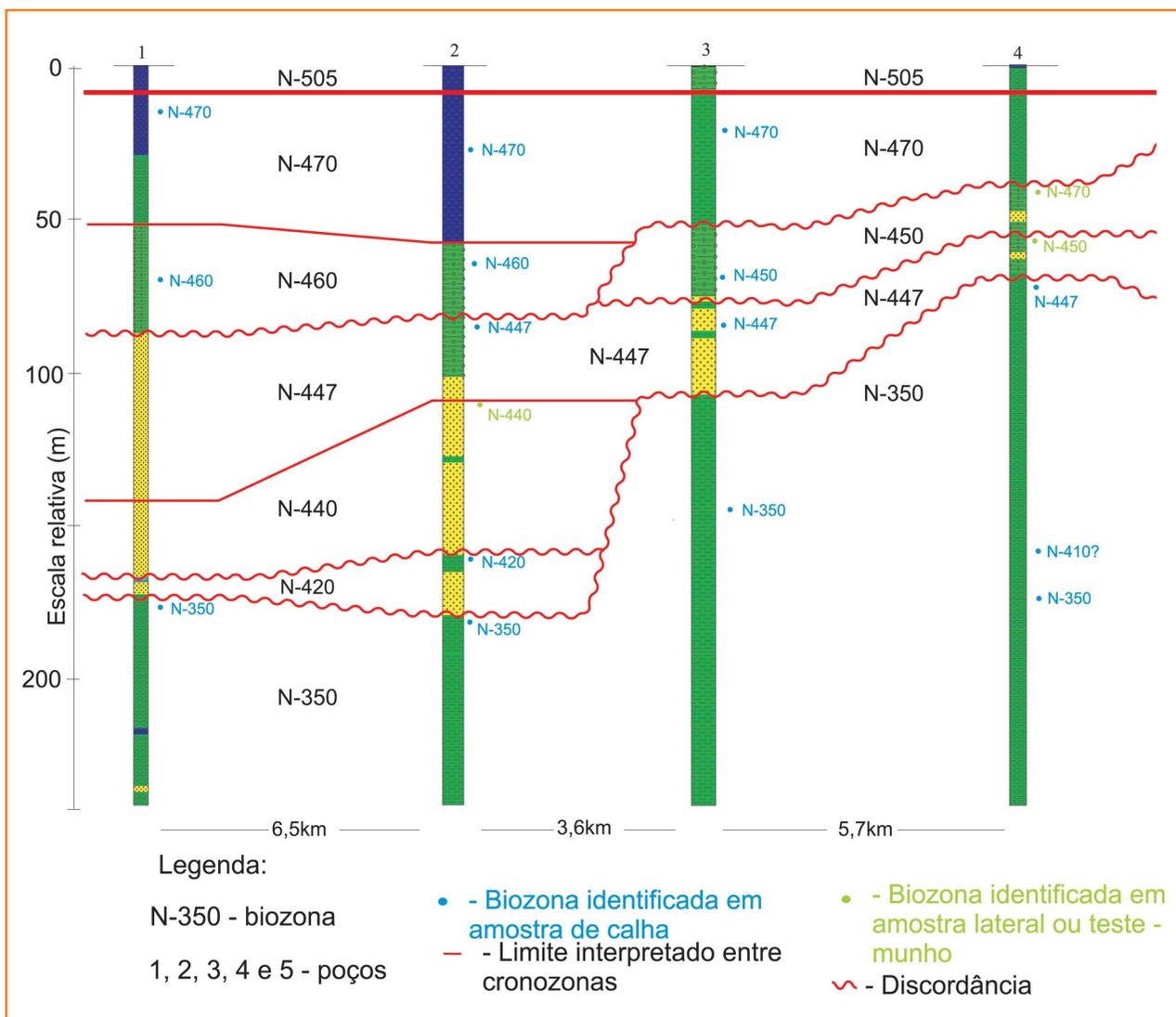
Figure 4 - *Biosteering* in horizontal wells.

Figura 5

Seção estratigráfica na área do Campo de Marlim sul (modificado de Antunes et al. 2002). Veja-se também a figura 1.

Figure 5

Stratigraphical section in the Marlim sul field (mod. Antunes et al. 2002). See figure 1 also.



nanofósseis por problemas de contaminação dos níveis mais arenosos situados acima. Portanto, a amostragem lateral e também aquelas de testemunhos que cortaram níveis pelíticos, foram de capital importância para a caracterização de certas biozonas. Com as informações obtidas, foi possível elaborar uma seção estratigráfica que pode ser vista na figura 5. Para a confecção desta seção tentou-se estabelecer uma associação entre as biozonas e as feições grafo-elétricas observadas nos perfis geofísicos (não ilustradas na figura 5). Mais uma vez, os resultados obtidos com a investigação das amostras laterais e de testemunhos foram fundamentais para esta associação. Embora considerado de detalhe, o estudo desenvolvido por Antunes *et al.* (2002) valeu-se do zoneamento bioestratigráfico de Richter *et al.* (1993), estabelecido para um contexto exploratório (fig. 1).

## a alta resolução

Em geral, os profissionais de Geologia que lidam com a bioestratigrafia sempre estão empenhados em reconhecer os melhores biorizontes de um intervalo e a partir deles propor unidades bioestratigráficas. Como é praxe na indústria do petróleo, estes biorizontes geralmente referem-se a níveis de extinção de espécies, uma vez que podem ser precisamente identificados em amostras de calha ou em amostras paleontológicas. Este tipo de amostragem é rotineiramente realizada em poços de petróleo. Em face de problemas de contaminação (por material que se encontra acima da profundidade que a amostra representa), outros eventos biológicos não podem ser identificados com a mesma precisão. Tais eventos são relacionados ao surgimento de espécies ou à proliferação de uma ou mais entidades taxonômicas (acmes).

Na medida em que mais e mais biorizontes são reconhecidos em um intervalo estratigráfico específico, a bioestratigrafia passa a ser denominada bioestratigrafia de alta resolução. Esta expressão foi criada justamente para mostrar o valor que as investigações micropaleontológicas po-

dem ter no que se refere às investigações de extremo detalhe.

No estabelecimento da alta resolução, buscase, sempre, o maior refinamento possível. Ao invés de estabelecer um arcabouço para a bacia e/ou aplicar este zoneamento em um poço, objetiva-se, agora, reconhecer uma sucessão de biorizontes que seja aplicável a um intervalo estratigráfico de interesse, como aqueles que contêm os reservatórios de um campo de petróleo. Assim, a bioestratigrafia de alta resolução objetiva auxiliar a discriminação destes reservatórios que geralmente são formados em intervalos do tempo geológico bastante reduzidos. Neste contexto, o zoneamento bioestratigráfico obtido e aplicado por Oliveira *et al.* (1999) para o Campo de Roncador (fig. 3) pode ser visto como um trabalho muito próximo àquele de alta resolução.

Para a composição de um arcabouço bioestratigráfico de alta resolução faz-se necessária a obtenção de amostras isentas de contaminação, como aquelas provenientes de testemunhos e de amostras laterais. Claro está que estas amostras devem ser colhidas nos delgados níveis lutíticos que geralmente se interpõem às camadas-reservatório (especialmente no caso daquelas formadas por fluxos densos). Com a disponibilidade destas amostras, os eventos de surgimento de espécies e acmes também poderão ser reconhecidos precisamente, contribuindo para a formulação e o aumento da resolução do arcabouço. No trabalho de Oliveira *et al.* (1999), a disponibilidade de amostras laterais em determinados níveis possibilitou a definição da biozona N-290.3d, cujos limites encontram-se balizados por eventos biológicos de surgimento de espécies. Além disso, em função dessas amostras, os autores indicaram a possibilidade de subdivisão da unidade N-290.3e, o que mais tarde consubstanciou a proposição da biozona N-290.3f por Grassi (2000). No trabalho de Antunes *et al.* (2002), na região do Campo de Marlim sul, algumas biozonas só puderam ser reconhecidas em face da disponibilidade de amostras laterais e de testemunhos.

Além do surgimento de espécies e de acmes, outros eventos biológicos podem compor um arcabouço de alta resolução. Assim, eventos que

seriam considerados secundários e que ficariam dispersos nas amostras paleontológicas, poderão ter melhor caracterização nas amostras de calha e nas demais, constituindo-se em potenciais biorizontes. Deste modo, conclui-se que nas investigações de detalhe as amostras paleontológicas perdem a utilidade. Em seu lugar entram as amostras de calha (amostras pontuais e representativas de uma certa profundidade) que, embora contaminadas, poderão propiciar uma idéia das espécies que ocorrem naquele nível estratigráfico que ela representa. A boa qualidade das amostras, quer de calha, lateral ou de testemunho é de fundamental importância para que a bioestratigrafia de alta resolução seja bem-sucedida. Esta qualidade relaciona-se à ausência de contaminação e à presença expressiva de microfósseis.

Na realidade, para o estabelecimento de um arcabouço de alta resolução não há uma mudança de enfoque no que se refere ao objetivo principal da bioestratigrafia. Há, sim, uma mudança na metodologia e na escala de trabalho. Ao invés de se investigar toda a pilha sedimentar que preenche a bacia, deve-se investigar o intervalo estratigráfico de interesse, geralmente aquele que contém os reservatórios de um campo de petróleo.

Além da tradicional investigação qualitativa, onde se procura reconhecer as espécies guias das biozonas, análises quantitativas devem ser efetuadas objetivando a caracterização da variação percentual das principais entidades taxonômicas. Tais variações poderão fornecer subsídios para que um maior detalhamento seja atingido.

Nem todos os eventos que serão empregados no fatiamento da seção-reservatório terão necessariamente a mesma facilidade de identificação. Como se sabe, há eventos biológicos que são mais facilmente identificados do que outros. Portanto, para cada um deles deve-se atribuir um grau de confiança. Este grau será maior ou menor, a depender da facilidade ou dificuldade de identificação de um determinado *datum*. Imagine-se, por exemplo, um evento que tenha sido utilizado na composição de um arcabouço de alta resolução, mas que sua ocorrência seja relativamente rara. O fato de tal evento não ter sido

observado em uma análise bioestratigráfica não significa que ele não exista nas amostras estudadas. Assim, terá necessariamente um grau de confiança pequeno.

Na medida do possível, devem-se associar os horizontes estratigráficos, onde os eventos biológicos são registrados, às feições grafo-elétricas dos perfis geofísicos, às anomalias ou tendências quimioestratigráficas, aos horizontes sísmicos etc. O estabelecimento de um arcabouço bioestratigráfico de alta resolução deve ser um estudo de natureza integrada, totalmente inserido na geologia do reservatório. Busca-se, agora, integrar e correlacionar todas as informações geológicas observadas na seção-reservatório, atribuindo-lhes uma conotação cronoestratigráfica. Isto permitirá discriminar as várias camadas-reservatório, reconhecendo-lhes a conformação (geometria), o que facilita a definição de estratégias para a exploração do campo.

Atualmente, a equipe de geólogos da Petrobras especializados em bioestratigrafia encontra-se empenhada em estudar detalhadamente determinadas seções que contêm importantes campos de petróleo. Deste modo, estudos bioestratigráficos voltados para a geologia de reservatórios têm sido desenvolvidos. Em face de tais estudos, no que se refere à bioestratigrafia dos nanofósseis calcários, dispõe-se hoje de subdivisões para as biozonas N-520, N-545 e N-570 (fig. 1). De todos esses estudos realizados, o que mais chama a atenção é aquele que trata do refinamento da biozona N-545, em cujos estratos se concentram boa parte dos reservatórios dos campos gigantes da Bacia de Campos (Marlim, Marlim sul e Marlim leste, entre outros). Elaborado principalmente a partir de amostras provenientes de testemunhos, este estudo permitiu a subdivisão da zona N-545 em dez intervalos bioestratigráficos. Com uma amplitude geocronológica total atualmente estimada em 3,7 milhões de anos, cada intervalo bioestratigráfico que integra a biozona N-545 tem amplitude média da ordem de 370 mil anos, o que possibilita individualizar vários fluxos densos que formaram as camadas-reservatório desses campos.

Ainda no passado recente, objetivando o detalhamento bioestratigráfico do intervalo de interesse em vários poços dos campos de Marlim sul e Marlim leste, foram coletadas amostras laterais para fins exclusivamente bioestratigráficos. A obtenção de tais amostras tem auxiliado sobremaneira na individualização e mapeamento de seus reservatórios produtores.

## agradecimentos

À Petrobras por permitir a publicação desta comunicação e à geóloga Sylvia Maria Couto dos Anjos pelo incentivo.

## referências bibliográficas

ANTUNES, R. L.; COSTA, S. O. C.; STROSCHOEN Jr.; CORA, C. A. G. **Biosteering na perfuração de poços horizontais nos reservatórios Enchova do campo de Marlim Sul – Bacia de Campos**. Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. BPA, 2002. 120 f. Relatório interno (RT BPA 008/02).

GRASSI, A. A. **Arcabouço bioestratigráfico (nanofósseis calcários) do limite Cretáceo-Terciário da margem leste brasileira**. Macaé : Petrobras. E&P BC. GEXP. GELAB, 2000. 1 v. Relatório interno.

MACHADO Jr., D. L.; COELHO, D. F. S.; SELBACH, H. S.; PONTES, C. E. S. Restauração estrutural de seções e previsibilidade de petróleo em Roncador, Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1. p. 73-87. nov./maio 2003/2004.

OLIVEIRA, L. C. V.; ANTUNES, R. L.; SHIMABUKURO, S.; MARTINS, G. A.; MAGALHÃES, P. M.; RODRIGUES, R.; ARAI, M.; STROHSCHOEN Jr., O. **Refinamento bioestratigráfico e estratigrafia química do Maastrichtiano da bacia de Campos**. Rio de Janeiro. PETROBRAS.CENPES, 1999. Relatório interno.

RICHTER, A. J.; GOMIDE, J.; SHIMABUKURO, S.; ANTUNES, R. L. **Bioestratigrafia dos nanofósseis cenozóicos da margem continental brasileira**. Rio de

Janeiro : PETROBRAS. CENPES. DIVEX. SEBIPE, 1993. 45 f. Relatório interno.

TRÖLSEN, J. C.; QUADROS, L.P. Distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis em sedimentos marinhos (Aptiano-Mioceno) do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 43, p. 577-609, 1971. Suplemento.

autor

author



**Rogério Loureiro Antunes**

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)

Gerência de Bioestratigrafia e Paleocologia

*e-mail:* [antunes@cenpes.petrobras.com.br](mailto:antunes@cenpes.petrobras.com.br)

**Rogério Loureiro Antunes** graduou-se em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em fins de 1978. Em janeiro de 1979 ingressou na Petrobras, sendo designado para trabalhar com a bioestratigrafia dos nanofósseis calcários. Em 1990 obteve o grau de Mestre em Ciências e, em 1998, o de Doutor em Ciências, ambos pela UFRJ. Tem se dedicado ao estudo do nanoplâncton por mais de 20 anos. Além disso, é o responsável pelo treinamento de vários geólogos da Petrobras na bioestratigrafia dos nanofósseis calcários. Na área didática, já ministrou cursos relacionados à Geologia em várias Universidades. É instrutor da Universidade Corporativa da Petrobras.

