

# Estratos Calcários da Pedreira Poty (Paulista), PE

Evidências de evento catastrófico no primeiro registro do limite K-T descrito na América do Sul

**SIGEP 102**

Gilberto Athayde Albertão <sup>1</sup>  
Paulo Pereira Martins Jr. <sup>2</sup>

A PEDREIRA POTY, localizada na bacia de Pernambuco-Paraíba (PE-PB), foi a primeira localidade aflorante descrita no Brasil, e mesmo na América do Sul (Albertão, 1993), como uma seqüência sedimentar completa através do limite entre os períodos Cretáceo e Terciário (limite K-T). A sucessão estratigráfica na área caracteriza-se pelas Formações Gramame e Maria Farinha. A Formação Gramame (biomicritos margosos) ocorre sotoposta à Formação Maria Farinha (intercalações entre calcários e folhelhos); ambas são caracterizadas por uma deposição em ambiente de rampa carbonática dominada por tempestades. Nas proximidades do limite K-T, uma série de características peculiares marcam evidências de uma conturbada transição entre períodos geológicos. Notável extinção da biota, alterações paleoclimáticas, indicadas por análise micropaleontológica, bem como pelo comportamento de isótopos estáveis de carbono e oxigênio, alteração do padrão geoquímico de diversos elementos químicos, incluindo-se aí conspícuas anomalias de irídio e flúor, presença de possíveis fragmentos de quartzo de impacto, esférulas e de uma camada interpretada como tsunamito, são algumas das mais fortes evidências que apóiam as interpretações de que essa seqüência estratigráfica marca o registro sedimentar de um evento catastrófico no limite K-T. Trata-se, possivelmente, de um impacto extraterrestre, conforme relatado em dezenas de outras localidades distribuídas por todo o globo terrestre. Essas características são únicas dentre áreas aflorantes das bacias sedimentares brasileiras descritas até agora. É também o primeiro e ainda único relato do registro desse possível impacto em baixas latitudes do Hemisfério Sul. Esses fatos, *per se*, reforçam a importância da área como sítio geológico e justificam a preocupação pela sua preservação, que, a continuarem as atuais condições do local, pode estar ameaçada.

**Palavras-chave:** limite Cretáceo-Terciário; anomalia de irídio; pedreira Poty; bacia Pernambuco-Paraíba; tsunamito

**Limestone strata of Poty quarry (Paulista), State of Pernambuco** – Evidences of a catastrophic event on the first geological record of the K-T boundary in South America

The stratigraphic record of the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary (the Poty quarry section) in the Pernambuco-Paraíba coastal basin, Northeastern Brazil, was the first K-T section described in South America with evidence supporting the interpretation that the impact of a bolide has caused the widespread biotic extinction at the end of the Cretaceous. The stratigraphic succession includes Gramame Formation (marly biomicrites) which underlies Maria Farinha Formation (intercalation of limestones and shales). Peculiarities such as iridium and fluorine anomalies, as well the occurrence of shocked quartz, spherules, tsunamiite bed, biotic extinction and other possible impact-related characteristics have been brought together in this report. A geochemical break for most of chemical elements is better expressed in the geological contact than in the K-T boundary, although iridium and fluorine anomalies have been determined exactly at the boundary. Palaeoenvironmental characterisation is determined by micropalaentological considerations, stable isotope data, and the presence of phosphatised fragments. Most of the particular characteristics described here, such as the geochemical anomalies (iridium, total organic carbon and fluorine) and the presence of a tsunami deposit, of possible shocked quartz grains, and of some impact-related spherules, give support to previous preliminary interpretations of this stratigraphic boundary as a sedimentary record of a catastrophic event marking the K-T boundary. All of these unique characteristics among other outcropping sedimentary sections known in Brazil justify the preservation of such geological site and its inclusion into the Brazilian Geological Heritage.

**Key words:** Cretaceous-Tertiary boundary; iridium anomaly; Poty quarry; Pernambuco-Paraíba basin; tsunamiite

## INTRODUÇÃO

Os registros do(s) evento(s) ocorrido(s) na História da Terra na passagem entre os períodos Cretáceo e Terciário têm sido estudados de maneira multidisciplinar em diversos ramos das Geociências e têm sido responsáveis por importantes mudanças de paradigmas e conceitos geológicos nos últimos 25 anos. Nesse aspecto deve-se ressaltar a relevância do trabalho seminal de Alvarez *et al.* (1980), ponto de partida para o que pode ser considerada uma das mais importantes revoluções científicas, no sentido de Kuhn (1978), acontecida em tempos recentes no campo de abrangência das geociências. Nesse trabalho mencionado, Alvarez e colaboradores propuseram a teoria de um impacto extraterrestre para explicar as mudanças ambientais e bióticas observadas ao longo do limite K-T. Sob essa perspectiva, Albertão (1993) estudou algumas áreas aflorantes e de subsuperfície das bacias brasileiras, buscando evidências ou contra-argumentos para a teoria de Alvarez *et al.* (1980).

A Bacia de Pernambuco-Paraíba é estudada desde o final do século XIX, principalmente do ponto de vista de seu conteúdo fossilífero, dada a riqueza em macrofósseis, notadamente moluscos e peixes. Aspectos importantes da exploração mineral dessa bacia estão relacionados à mineração do fosfato (no contacto entre as formações Beberibe e Gramame), ocorrida principalmente nas décadas de 1960 e 1970 e, mais importante, à mineração do calcário (Formações Gramame e Maria Farinha) presente ainda nos dias atuais. Em relação à abordagem da transição K-T, com destaque para os afloramentos da pedreira Poty, podem ser citados, dentre outros, os estudos pioneiros de Beurlen (1967), Tinoco (1967), Mabesoone *et al.* (1968) e Stinnesbeck (1989). Entretanto, somente em Albertão (1993) aparece a descrição dessa seção geológica como um registro quase completo dos eventos do limite K-T e dos indícios de um impacto extraterrestre.

As descrições feitas no presente trabalho aparecem mais detalhadas em uma série de trabalhos iniciada por um estudo de tese de mestrado (Albertão, 1993, sob orientação do professor Paulo P. Martins Jr.) e continuada no período entre 1996 e 2000 com o suporte de um projeto do IGCP (*International Geological Correlation Program – Project 384: Impact and Extraterrestrial Spherules*). Uma sucessão de trabalhos foi publicada como resultado dessas pesquisas, podendo ser citados Albertão *et al.* (1994a e b), Albertão & Martins Jr. (1996a e b), Marini *et al.* (2000), Martins *et al.* (2000), Albertão & Martins Jr. (2002), Albertão *et al.* (2004) e Albertão & Martins Jr. (no prelo). Paralelamente, estudos

micropaleontológicos foram extensivamente desenvolvidos, bem como diversos trabalhos, dentre eles algumas teses de mestrado e doutorado, foram também escritos. Podem ser destacados os trabalhos de Koutsoukos (1996), Grassi (2000), Fauth (2002) e Sarkis (2002).

As melhores exposições dos afloramentos da pedreira Poty e, eventualmente, de algumas áreas próximas foram selecionadas para amostragem. As amostras, especificamente preparadas, foram analisadas com diferentes objetivos através de uma série de instrumentos e métodos: lupa, microscópio petrográfico, difratometria de raios-X (DRX), isótopos estáveis (carbono e oxigênio), geoquímica inorgânica (elementos principais, secundários e traços), micropaleontologia (notadamente foraminíferos e palinóforos), microscópio eletrônico de varredura (MEV) e análise química qualitativa e quantitativa em espectrômetro de energia dispersiva. Subprodutos das análises isotópicas foram determinações de carbono orgânico total (COT), resíduo insolúvel (IR) e conteúdo de CaCO<sub>3</sub> dos sedimentos. A determinação da concentração de 45 elementos químicos, incluindo o irídio (Ir), foi feita por análise de ativação neutrônica, em Los Alamos National Laboratory (Estados Unidos). Detalhes de todos esses métodos analíticos estão em Albertão (1993) e Albertão & Martins Jr. (2002). Esférulas e grãos de quartzo foram separados manualmente e analisados à lupa binocular e ao MEV (com sistema EDS anexado), de acordo com os procedimentos descritos em Albertão *et al.* (1994b), Delicio *et al.* (2000) e Marini *et al.* (2000).

A pedreira Poty foi a primeira descrição de uma sequência razoavelmente completa ao longo da seção de transição do limite K-T em baixas latitudes do Hemisfério Sul e em toda a América do Sul, apresentando inclusive anomalia de irídio. Continua sendo a única área aflorante no Brasil com essas características. Essa particularidade, além de outras apresentadas na discussão que vem a seguir, são justificativas suficientes para incluir essa área como sítio geológico/estratigráfico/sedimentológico/paleontológico do Patrimônio Geológico Nacional e adotar medidas de proteção para a área.

## LOCALIZAÇÃO

A pedreira Poty, localiza-se no município de Paulista, Estado de Pernambuco, na Região Nordeste do Brasil (Fig. 1). Suas coordenadas em UTM são Zona 25: 9.117.000N: 296.000E (07°59'S - 34°51' W). O acesso se dá facilmente pela estrada que liga a cidade Paulista à localidade de Maria Farinha. A partir dessa localidade, prossegue-se para norte, seguindo-se a placa indicativa para entrada à

esquerda (à direita é a praia), para a mineração Votorantim, que detém o direito de lavra da pedreira.

A pedreira (Figs. 2 e 3) é uma mineração de calcário, que está parcialmente desativada desde o início dos anos 2000. Há diversas bancadas abertas para exploração do calcário, tanto na Formação Gramame, quanto na Formação Maria Farinha, sendo que no topo desta última, nas áreas de contacto com a Formação Barreiras, é explorada a argila pozolana, utilizada como refratário na indústria. Outro ponto de apoio, utilizado para o trabalho, refere-se à Ponta do Funil, localizado mais a norte (Fig. 1), em direção ao Estado da Paraíba.

## DESCRIÇÃO DO SÍTIO

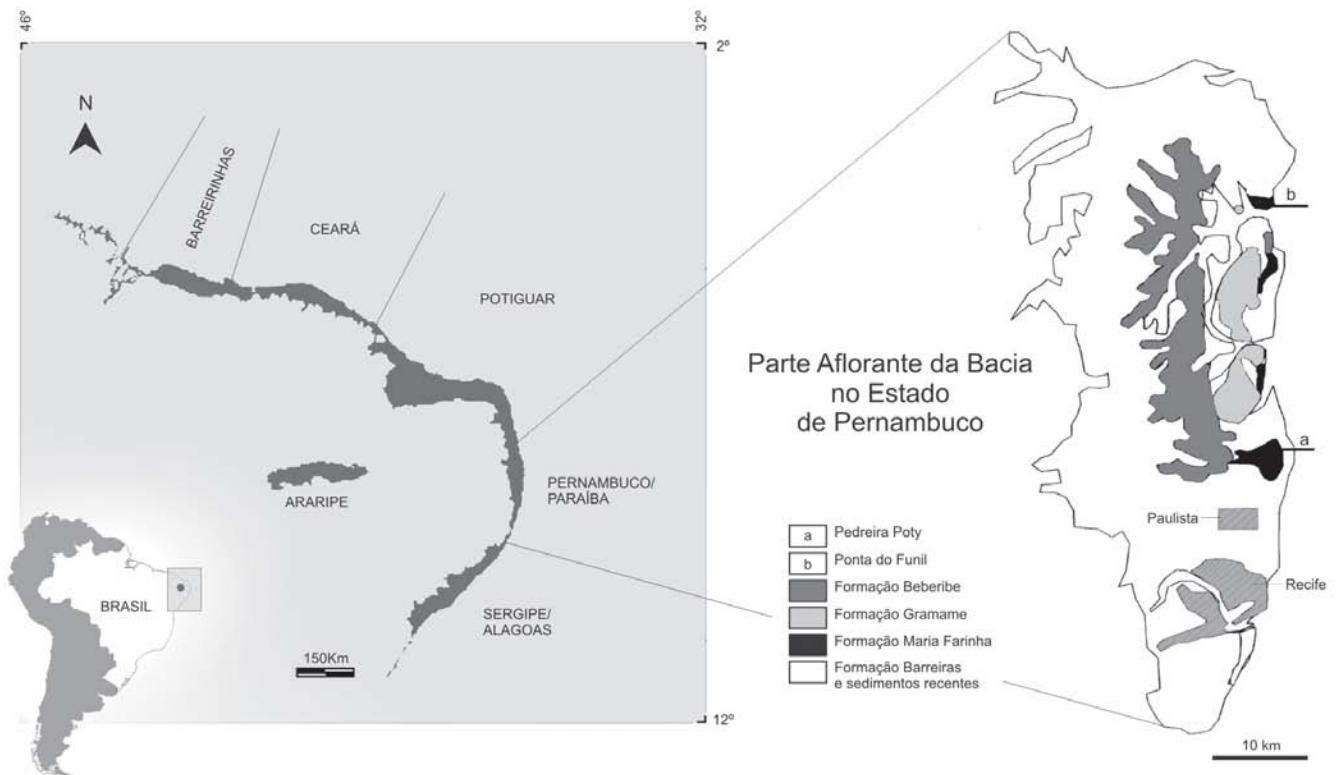
### Descrição Litológica

#### • Generalidades

A bacia sedimentar costeira de PE-PB é uma bacia do tipo *rift*, de margem passiva. Sua origem está relacionada com a abertura do Oceano Atlântico-Sul. As su-

cessões sedimentares estudadas foram depositadas durante as idades Maastrichtiana e Daniana, e caracterizam uma megasseqüência sedimentar, como definida por Chang *et al.* (1988).

Na pedreira Poty, a seção aflorante é composta pelas formações Gramame e Maria Farinha (Fig. 2), que exibem um contacto lítico erosivo. A Formação Gramame, na base, é composta principalmente por biomicritos margosos de ambiente batial superior a nerítico profundo. A Formação Maria Farinha, no topo, consiste de alternâncias entre calcários (biomicritos, biosparitos e calcilitutos) e folhelhos depositados em ambiente nerítico, de profundo a médio. As estruturas sedimentares presentes na transição entre as porções mais superiores da Formação Gramame e as porções mais basais da Formação Maria Farinha, tais como, estratificações cruzadas *hummocky*, gradacionais (com granodecrescência ascendente) e marcas onduladas, assim como evidências de icnofósseis, micropaleontologia, mineralogia e geoquímica, caracterizam o desenvolvimento de uma rampa carbonática, controlada por



**Figura 1** - Mapa de localização dos afloramentos da pedreira Poty (a, UTM 9.152.000N / 300.000 E) e área da Ponta do Funil (b, UTM 9.117.000N / 296.000E), Pernambuco. As duas localizações estão afastadas cerca de 30km. A Bacia de Pernambuco-Paraíba é contextualizada entre outras bacias da margem continental nordeste do Brasil. As cidades de Recife (capital do Estado de Pernambuco) e Paulista estão referenciadas na figura.

**Figure 1** - Location map for the outcrops of Poty quarry (a, UTM 9,152,000N / 300,000E) and Ponta do Funil area (b, UTM 9,117,000N / 296,000E), State of Pernambuco. The two localities are about 30 km apart. Pernambuco-Paraíba basin is located among other northeastern marginal Brazilian basins. Recife city (Pernambuco State capital) and Paulista town are indicated.



**Figura 2** - Vista geral da pedreira Poty. O primeiro nível (1) da pedreira (branco) é composto principalmente pela Fm. Gramame. O segundo e o terceiro níveis (2 e 3) são compostos pela parte basal da Fm. Maria Farinha. O quarto e o quinto níveis (4 e 5) são as porções superiores e intemperizadas da Fm. Maria Farinha. No quinto nível, a Fm. Maria Farinha está muito intemperizada e é recoberta erosivamente pela Formação Barreiras, não tendo sido explorada para calcário. A espessura total vertical da pedreira é de cerca de 25m.

**Figure 2** - General view of Poty quarry. First (1) level of the quarry (white) is mainly composed of Gramame Formation. Second and third levels (2 and 3) are composed by the basal portion of Maria Farinha Formation. Forth and fifth levels (4 and 5) are upper and weathered portions of Maria Farinha Formation. In fifth level Maria Farinha Formation is extremely weathered and erosively overlain by Barreiras Formation, and was not explored for limestone. Total vertical thickness of the quarry is about 25m.

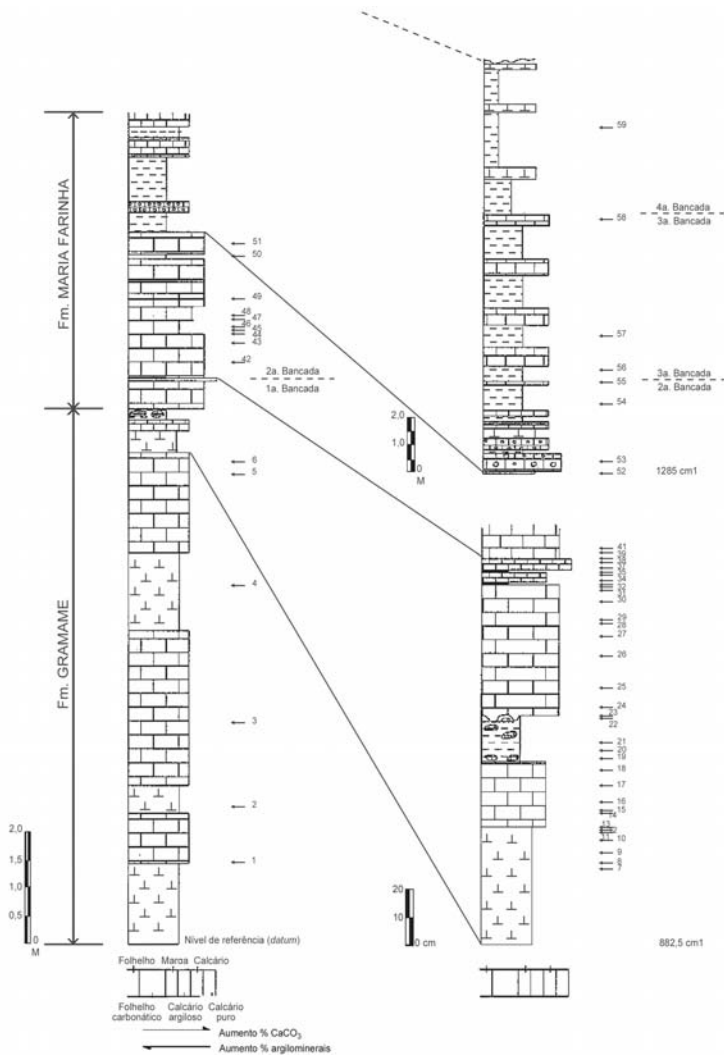


**Figura 3** - Estado atual da pedreira Poty (2004). As porções basais da pedreira, vistas na Fig. 2, estão completamente inundadas por água pluvial, que ameaça o registro das camadas do limite K-T, e formam uma lagoa de cerca de 7m de profundidade. Os afloramentos, justo acima do nível da água (com cerca de 2m de altura), são compostos pela porção superior da Fm. Gramame e pela base da Fm. Maria Farinha (relevo positivo).

**Figure 3** - Present state of Poty quarry (2004). Basal portions of the quarry, seen in Fig. 2, are completely flooded by pluvial water, threatening the K-T limit beds and forming a lake about 7m deep. The outcrops just above the water level (about 2 m high) are composed by the uppermost portion of Gramame Formation and the base of Maria Farinha Formation (positive relief).

tempestades, durante um processo sedimentar de regressão marinha progressiva (Alberção, 1993). Os estratos são contínuos e perfeitamente preservados, com pequenas variações laterais de fácies, e apresentam mergulhos estruturais suaves, entre 1 e 2 graus, para as direções leste e sudeste.

A figura 4 exibe uma sucessão geológica esquemática do empilhamento estratigráfico das camadas aflorantes, assim como o posicionamento das principais amostras utilizadas no estudo. Esse perfil é uma seção composta de quatro diferentes locais da pedreira (pontos 1 a 4). O *datum* de referência indica a posição mais baixa da pedreira à época das amostragens, situado na porção oeste, e foi considerado como o valor “zero” para as medidas de espessuras; os valores de medidas foram tomados da base para o topo, podendo ser considerados como alturas relativas. O intervalo entre 0 e 882,5cm foi medido e descrito mais detalhadamente no ponto 2; do nível 882,5 para ao nível 1022,5cm nos pontos 1 e 4; e, finalmente, entre os níveis 1022,5 e 2775,0cm no ponto 3. O conteúdo de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) determinado em amostras representativas das diversas camadas permitiu a classificação representada na Figura 2, seguindo os critérios de Flügel (1982), esquematizado na figura 5, apresentada seguir.



**Figura 4** - Seção geológica esquemática da pedra Poty. As posições estratigráficas das amostras 1-59 estão indicadas. Detalhes da seção (parte inferior, lado direito da figura) são também mostrados na Fig. 6. Os símbolos litológicos são os mesmos da Fig. 6. Ver outros detalhes no texto.

**Figure 4** - Schematic geological section of Poty quarry. The stratigraphic location of samples 1-59 are indicated. Details of the section (lower part, right side of the figure) are also shown in Fig. 6. Lithological symbols are the same as in Fig. 6. See text for details.

Teor de $\text{CaCO}_3$ em t%	Classificação
[ 0-20)	folhelho (argilominerais)
[20-40)	folhelho carbonoso
[40-65)	marga
[65-80)	calcário argiloso
[80-95)	calcário
>95	calcário de pureza elevada

**Figura 5** - Critérios pra a caracterização de camadas estratigráficas, com base no teor de  $\text{CaCO}_3$ , na pedra Poty (critérios de Flügel, 1982).

**Figure 5** - Criteria for the characterisation of stratigraphic beds accordingly to the  $\text{CaCO}_3$  content in the Poty quarry (after Flügel, 1982).

A pedra Poty, à época das descrições, estava dividida em quatro bancadas para a mineração do calcário (Figs. 2 e 4): uma, mais inferior, na Formação Gramame e as demais três na Formação Maria Farinha. A exposição aflorante na pedra compreendia uma espessura média de 10m para a Formação Gramame e de 18m para a Formação Maria Farinha. A porção inferior da pedra (o datum referenciado; Figs. 2 e 4) ocorre na Formação Gramame. Posteriormente, uma bancada mais inferior foi escavada, revelando seções mais antigas da Formação Gramame, embora não tenham sido encontrados sedimentos da Formação Beberibe, a formação lítica mais antiga observada em áreas adjacentes. Para o topo, sedimentos fluviais da Formação Barreiras truncam por contacto erosivo o topo da Formação Maria Farinha.

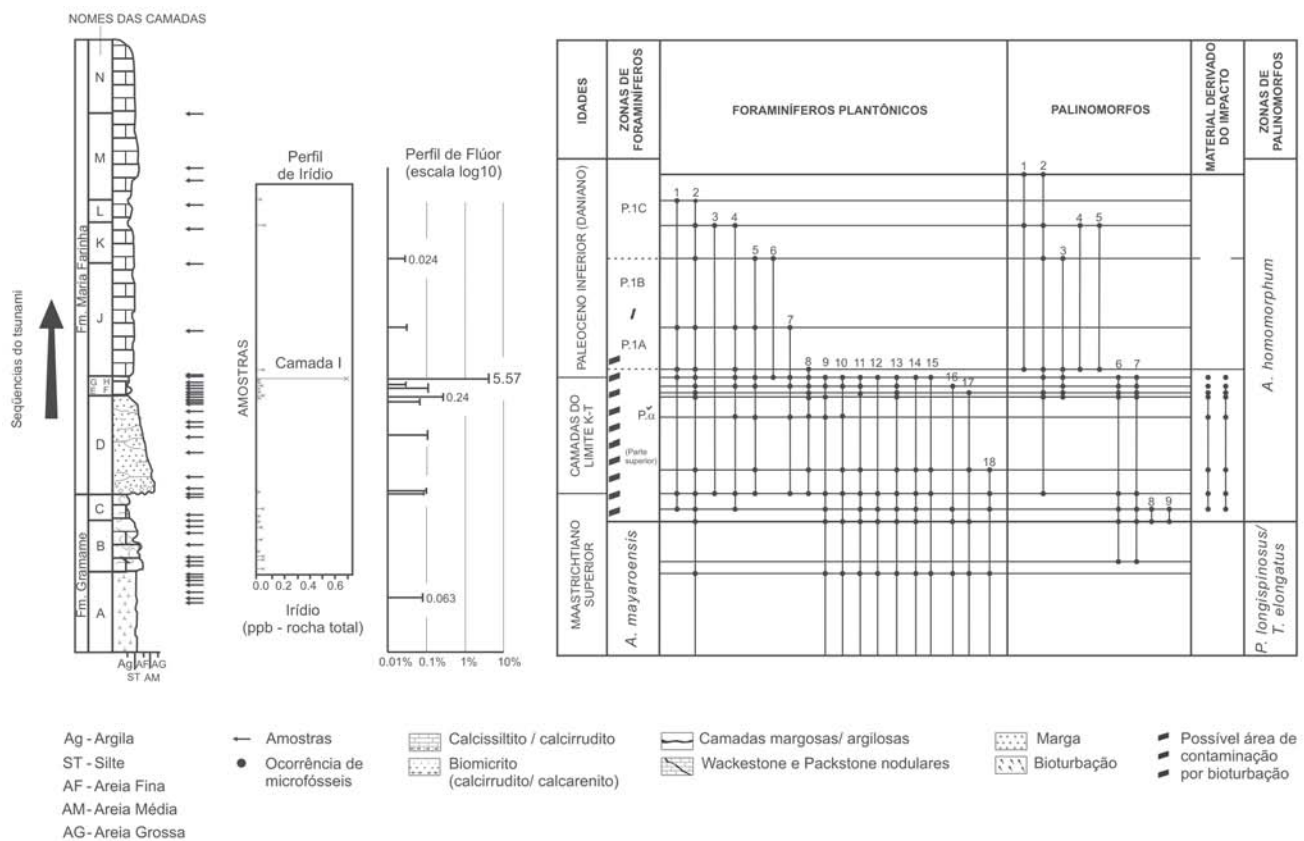
O contacto entre as formações Gramame e Maria Farinha é identificado em 964,5 cm (acima do datum; Figs. 4, 6 e 7a). A descrição que vem a seguir refere-se a ambas as formações e também ao contacto entre elas, incluindo uma discussão a respeito do posicionamento do limite K-T.

#### • Formação Gramame

Da base, no nível de referência (datum), ao topo erosivo, os sedimentos dessa unidade são relativamente homogêneos em composição (Figs. 2 e 4), alternando entre *wackestones/mudstones* e margas, com pouca variação no conteúdo de argilas e bioclastos. Estruturas sedimentares primárias estão praticamente ausentes. As espessuras individuais das camadas variam de poucos centímetros a poucos metros. Cada camada é composta por laminações descontínuas, alteradas por intensa bioturbação que perturba milimétricos níveis de calcário e marga.

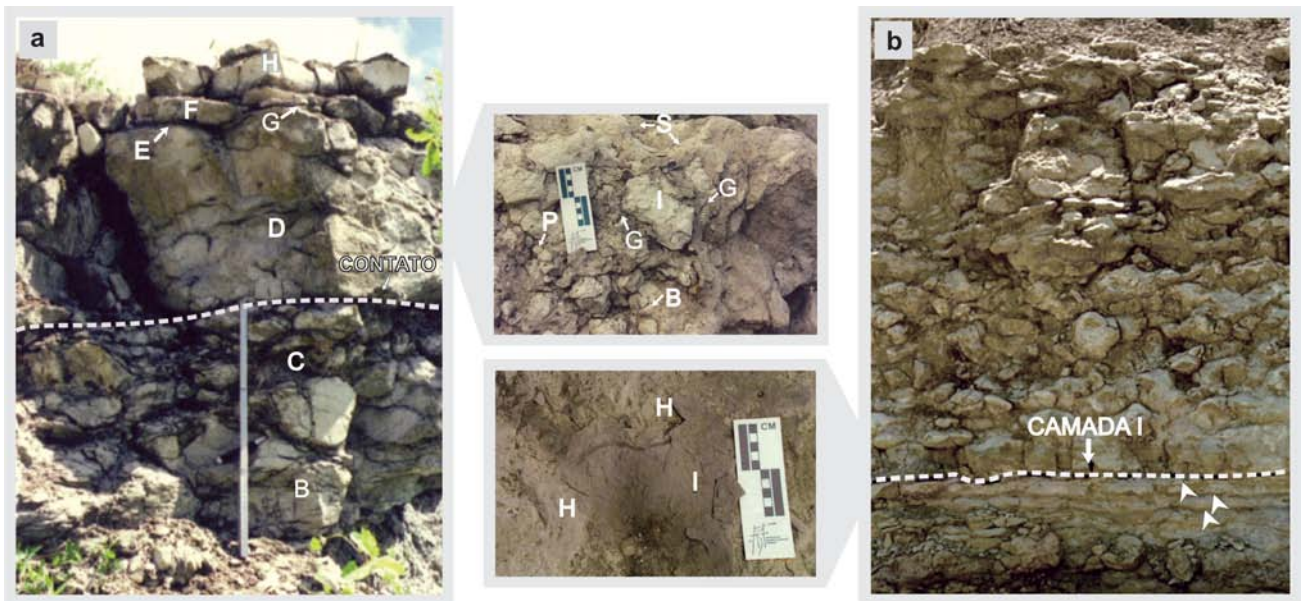
Estruturas de bioturbação, notadamente as produzidas por icnofósseis de *Thalassinoides* de dimensões métricas em extensão e decimétricas em diâmetro, encontram-se largamente distribuídas no contacto entre margas e calcários, ficando mais evidentes nas primeiras.

O material micrítico é visível, ocorrendo alguma recristalização. Os calcários e margas são extremamente ricos em foraminíferos, sendo largo o predomínio dos planctônicos em relação aos bentônicos. Calcisferulídeos, radiolários e equinodermas são também muito freqüentes. Mais raramente são encontrados fragmentos fosfatizados de vertebrados (principalmente peixes) e grãos de silicilásticos (principalmente quartzo em tamanho silte).



**Figura 6** - Lito- e químioestratigrafias (irídio e flúor) e distribuição de microfósseis através da seção medida ao longo do limite K-T na pedreira Poty. Observar as anomalias de Ir e F em um argilito de 2-3cm de espessura (camada I, na parte superior da zona de foraminíferos plancônicos P.á). Foram utilizados os dados originais de foraminíferos de Koutsoukos (1996) e Albertão *et al.* (1994b), embora para a localização do limite K-T as camadas D a I sejam consideradas como as “camadas-limite”. Possíveis contaminações faunais abaixo de I são também consideradas. **Foraminíferos plancônicos** (análise de Eduardo A. M. Koutsoukos): (1) *Woodringina hornestownensis*; (2) *Guembeltria cretacea*; (3) *Parasubbotina pseudobulloides*; (4) *W. claytonensis*; (5) *P. aff. pseudobulloides*; (6) *Eoglobigerina eobulloides*; (7) *Praemurica taurica*; (8) *Parvularugoglobigerina eugubina*; (9) *Pseudotextularia nuttalli*; (10) *Pseudoguembelina costulata*; (11) *P. palpebra*; (12) *Rugoglobigerina ex gr. rugosa*; (13) *R. scotti*; (14) *Contusotruncana contusa*; (15) *R. reicheli*; (16) *Globotruncana aegyptiaca*; (17) *Racemiguembelina fructicosa*; (18) *Globotruncana falsocalcarata*. **Palinomorfos** (análise de Marília P. S. Regali): (1) *Proxapertites cursus*; (2) *Pterospermopsis sp.*; (3) *Veryhachium reductum*; (4) *Schizeoisorites eocenicus*; (5) *Echitriporites trianguliformis*; (6) *Ariadnaesporites sp.*; (7) *Dinogymnium spp.*; (8) *Cricotriporites almadaensis*; (9) *Crassitriapertites vanderhammeni*.

**Figure 6** - Litho- and chemostratigraphy (iridium and fluorine) and distribution of microfossils across the measured K/T boundary section in the Poty quarry. Observe the iridium and fluorine anomalies in a 2-3 cm thick claystone (bed I, in planktonic foraminifera zone upper P.á). Original foraminifera zones from Koutsoukos (1996) and Albertão *et al.* (1994b) are taken into account, although for the K-T boundary placement beds D to I are considered as boundary beds. Possible faunal contamination under bed I is also taken into account. **Planktonic Foraminifera** (analysis by dr. Eduardo A. M. Koutsoukos): (1) *Woodringina hornestownensis*; (2) *Guembeltria cretacea*; (3) *Parasubbotina pseudobulloides*; (4) *W. claytonensis*; (5) *P. aff. pseudobulloides*; (6) *Eoglobigerina eobulloides*; (7) *Praemurica taurica*; (8) *Parvularugoglobigerina eugubina*; (9) *Pseudotextularia nuttalli*; (10) *Pseudoguembelina costulata*; (11) *P. palpebra*; (12) *Rugoglobigerina ex gr. rugosa*; (13) *R. scotti*; (14) *Contusotruncana contusa*; (15) *R. reicheli*; (16) *Globotruncana aegyptiaca*; (17) *Racemiguembelina fructicosa*; (18) *Globotruncana falsocalcarata*. **Palynomorphs** (analysis by dr. Marília S. P. Regali): (1) *Proxapertites cursus*; (2) *Pterospermopsis sp.*; (3) *Veryhachium reductum*; (4) *Schizeoisorites eocenicus*; (5) *Echitriporites trianguliformis*; (6) *Ariadnaesporites sp.*; (7) *Dinogymnium spp.*; (8) *Cricotriporites almadaensis*; (9) *Crassitriapertites vanderhammeni*.



**Figura 7a** - Fotografia mostrando o contacto lítico (“contacto” indicado por uma seta) entre as formações Gramame e Maria Farinha (pedreira Poty). Da base para o topo estão representadas as camadas **B**, **C**, **D**, **F** e **H**. As camadas **E** e **G** são margas finas entre respectivamente as camadas **D** e **F**, e **F** e **H**. A camada **I** se superpõe sobre a camada **H**, mas não é visível na foto. A camada **A** ocorre sotoposta à camada **B**, mas está coberta por *debris* na foto. É possível observar o caráter erosivo entre as camadas **D** e **C**, as estruturas de *ripples* de interferência (como um acamamento ondulado) por sobre a camada **D** e o aspecto de brecha da camada **C** (barra de escala na foto de 1,0m).

**Detalhe de 7a** - Bloco da camada **D** (pedreira Poty) com sua composição heterogênea específica (fragmentos fosfatados -**P**-, fragmentos de gastrópodes -**G**- e bivalvos -**B**-, siliciclastos -**S**-, intraclastos -**I**-) e grãos de tamanho grosso.

**Figure 7a** - Photograph showing the lithological contact (“contact” indicated by an arrow) between Gramame and Maria Farinha formations. (Poty quarry). From the base to the top, beds **B**, **C**, **D**, **F** and **H** are represented. Beds **E** and **G** are fine marls between respectively beds **D** and **F**, and **F** and **H**. Bed **I** overlies bed **H**, but is not visible in the photo. Bed **A** underlies bed **B**, but is covered by debris in the photo. It is possible to observe the erosive character of the contact between beds **D** and **C**, the interference ripple (like a wavy bedding) structures above bed **D** and the breccia-aspect of bed **C** (scale bar in the photo: 1.0m).

**Detail of 7a** - Block of bed **D** (Poty quarry) with its characteristic heterogeneous composition (phosphatised fragments -**P**-, fragments of gastropods -**G**- and bivalves -**B**-, siliciclasts -**S**-, intraclasts -**I**-) and coarse grain size.

**Figura 7b** - Porção contínua e não-intemperizada da seção através da camada **I**, na pedreira Poty. As camadas **D** (base) a **N** (topo) são mostradas na fotografia. As camadas margosas **E**, **G** e **I** (camada rica em Ir) são indicadas pelas setas. É possível observar as estruturas de *ripples* de interferência nas duplas **E/F** e **G/H**. A espessura total da seqüência na fotografia é de 2,5m.

**Detalhe de 7b** - Preservação pobre e rara da camada **I** nas depressões formadas pelos *ripples*, no topo da camada **H**. Observa-se bioturbação através das camadas **H** e **I**. A camada **I** é usualmente mais fina do que cm nessas depressões; a camada **I** exibe anomalias de Ir, F e COT.

**Figure 7b** - Continuous and non-weathered portion of the section across bed **I** in Poty quarry. Beds **D** (base) to **N** (top) are shown in the photograph. Marly beds **E**, **G** and **I** (the Ir-rich bed, designated “limit” in the figure) are indicated by arrows. It is possible to observe interference ripple structures in the couplets **E/F** and **G/H**. Total thickness of the sequence in the photography is 2.5 m.

**Detail of 7b** - Poor and rare preservation of bed **I** in the swales (formed by the ripples) at the top of bed **H**. Bioturbation across beds **H** and **I** is observed. Bed **I** is usually less than 1cm thick at these swales; it exhibits Ir, TOC and fluorine anomalies.

Dada a importância do contacto entre as formações Gramame e Maria Farinha, foi identificada e detalhada nas proximidades do contacto uma seqüência de 14 camadas, aqui nomeadas com as letras de **A** a **N**. Seu conteúdo lítico e fossilífero está parcialmente descrito na figura 8 e ilustrado nas figuras 4, 6 e 7. As camadas **A**, **B** e **C** estão na Formação Gramame, enquanto as camadas **D**, **E**, **F**, **G**, **H**, **I**, **J**, **K**, **L**, **M**, e **N** pertencem à Formação Maria Farinha. Na figura 6, a sucessão **A** – **N** está completa e esquematicamente representada, enquanto na figura 7a está visível o contacto litológico e são identificadas as camadas **B** a **H**.

Entre as camadas **C** e **D** ocorreu uma conspícua quebra no regime de deposição sedimentar, caracterizando um contacto lítico entre as formações. Da camada **D** para o topo há um crescente aumento na variação litológica, e uma completa distinção com as rochas subjacentes (ver descrições na figura 8 e ilustrações nas figuras 4, 6 e 7).

#### • Limite Cretáceo-Terciário (K-T)

As camadas **D** a **I** representam a seqüência imediatamente relacionada ao limite K-T. Esse limite na pedreira Poty tem sido localizado em dois diferentes níveis estratigráficos (Albertão, 1993; Koutsoukos, 1996; ver as figuras 6, 7 e 8).

A primeira localização do limite K-T (Albertão, 1993) foi feita em uma contínua e fina camada de margas (camada **I**; Fig. 7b). O limite foi definido pela identificação das principais extinções da biota observadas nas análises micropaleontológicas de foraminíferos e palinóforos (Albertão, 1993) e caracterizado ainda por: (i) anomalias geoquímicas, principalmente do irídio, com um valor máximo de 0,69 ppb (Albertão, 1993; Albertão & Martins Jr. 1996a; Fig. 6), COT (Albertão 1993, Albertão & Martins Jr. 1996a) e flúor (Marini *et al.*, 2000); (ii) esférulas (Albertão *et al.*, 1994b; Albertão & Martins Jr. 1996a; ver figura 9a), algumas delas contendo

Camadas	Nomes locais	Altura (cm)	Tipos de rochas e descrição de conteúdos
<b>A</b>	Marga I	40	<i>Wackestone / packstone</i> com planctônicos / grãos fosfatados / fósseis / alguns tubos de vermes <i>Hamulus</i> / bioturbação, principalmente <i>Thalassinoides</i> / pelecípodos, equinodermas, foraminíferos.
<b>B</b>	Poty I	25	Limite K-T duvidoso (Koutsoukos, 1996) / calcáreo nodular / <i>wackestone</i> – localmente <i>packstone</i> / forte bioturbação / mais foraminíferos planctônicos do que bentônicos / <i>Hamulus</i> , equinodermas, ostracodes, calcisferulídeos/ fragmentos fosfatados.
<b>C</b>	sem nome local	15	O mesmo que em <b>B</b> , embora <b>C</b> seja mais margosa / ocorrência de esférulas / primeira observação de raros e minúsculos foraminíferos do Daniano / forte bioturbação.
<b>D</b>	Capim	50	Contacto lítico erosivo na base / <i>packstone</i> gradando para o topo para <i>wackestone</i> e <i>mudstone</i> / bioturbação rara / ocorrência de esférulas / raros grãos de quartzo, possivelmente de impacto / areias bio e siliciclásticas grossas / fragmentos fosfatados (parcialmente transformados em glauconita e pirlita) de foraminíferos, gastrópodes, pelecípodos, tubos de vermes, equinodermas, dentes de tubarões, e madeira (estes mais raros).
<b>E</b> *	sem nome local	2	Margas contínuas / ocorrência de esférulas / foraminíferos bentônicos e planctônicos / equinodermas / fragmentos fosfatados / siliciclásticos.
<b>F</b> *	Topo do Capim	3	Similar à parte superior da camada <b>D</b> / <i>mudstone-wackestone</i> / ocorrências de esférulas.
<b>G</b> *	sem nome local	2	Margas / ocorrências de esférulas / foraminífera planctônico/ equinodermas, fragmentos de tubos de vermes/ menos siliciclásticos e fragmentos fosfatados, do que em <b>E</b> .
<b>H</b> *	Batentinho	4	Calcário recristalizado / <i>mudstone</i> / bioclastos raros, principalmente foraminíferos / ocorrência de esférulas / bioturbação – <i>Chondrites</i> , <i>Planolites</i> , tubos de vermes / <b>E</b> *, <b>F</b> *, <b>G</b> *, <b>H</b> * - alternância de <i>mudstone</i> /marga, camadas finas com complexas estruturas de <i>ripples</i> de interferência, em toda a pedreira.
<b>I</b>	sem nome local	2	<i>Mudstone</i> margoso / limite K-T definido por Albertão (1993) / ocorrências de esférulas / raros grãos de quartzo, possivelmente de impacto / foraminíferos planctônicos globigeriniformes e bentônicos / siliciclastos e fragmentos fosfatados / anomalias de Ir, F e COT.
<b>J</b>	Vidro	58	<i>Mudstone</i> micrítico aparentemente recristalizado / minúsculos foraminíferos planctônicos e bentônicos / equinodermas, raros calcisferulídeos / pouca bioturbação.
<b>K</b>	sem nome local	20	Similar a <b>J</b> / bioturbação mais intensa / bioclastos com grãos de glauconita e raros grãos fosfatados.
<b>L</b>	Topo do Vidro	23	Camada fortemente bioturbada, quase brechada / fragmentos de gastrópodes / foraminíferos / grãos fosfatados e glauconitizados.
<b>M</b>	Enfornação do Vidro	35	Com alguns elementos de <b>L</b> / <i>wackestone-packstone</i> / granodescrescência ascendente / abundantes bioclastos / alguns fragmentos fosfatados / fragmentos de gastrópodes (com até 7mm) / tubos de vermes (serpulídeos), artrópodes, foraminíferos principalmente bentônicos, raros briozoários / <i>pellets</i> fosfatadas, eventualmente do artrópode <i>Calianassa</i> /
<b>N</b>	Batente	28	Similar a <b>M</b> / grãos mais grossos na base de <b>N</b> do que no topo de <b>M</b>

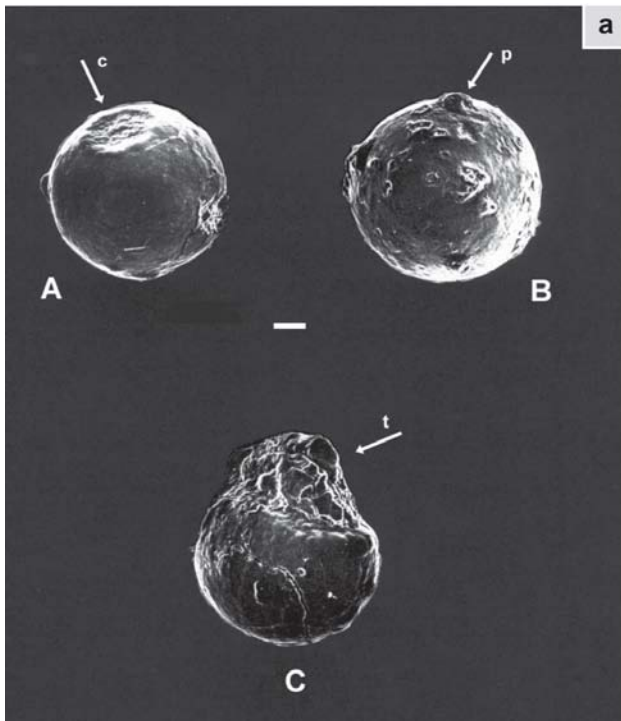
**Figura 8** - Resumo das observações de campo e de descrições petrográficas das camadas que compõem a vizinhança do contacto entre as formações Gramame (**A**, **B** e **C**) e Maria Farinha (**D** a **N**); ver também as figuras 2, 4, 6 e 7).

**Figura 8** - Summary description of field and petrographic observations of the neighbourhood of the lithological contact between Gramame (beds **A**, **B** and **C**) and Maria Farinha (bed **D** up to bed **N**) formations; see also figures 2, 4, 6 and 7.



fluorita (Marini *et al.* 2000); (iii) raros fragmentos de quartzo com lamelas retilíneas (Albertão *et al.* 1994b; Albertão & Martins Jr. 1996a; ver figura 9b).

A outra localização é no topo do *wackestone/packstone* nodular, não-gradado (camada B), situado cerca de 75cm abaixo da camada I (figuras 6 e 7a). Nessa posição, após detalhada investigação nos foraminíferos, os primeiros *taxa* planctônicos do Daniano foram identificados (Albertão *et al.*, 1994b; Koutsoukos, 1996). Mais recentemente, novas análises bioestratigráficas em ostracodes marinhos e dinoflagelados (Fauth, 2000; Sarkis, 2002) indicaram novamente a posição do limite como o topo de B.

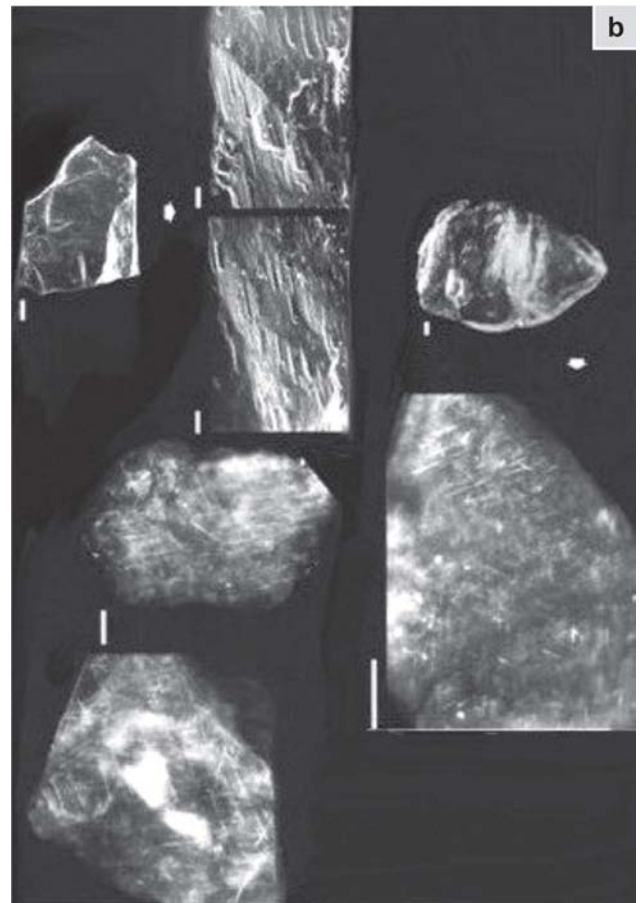


**Figura 9a** - Microfotografias de varredura eletrônica de três microesférulas recuperadas da seção da pedreira Poty (camada I), ressaltando seus aspectos externos. Barra de escala =20  $\mu\text{m}$ . A microesférula (A) apresenta conspícuas depressões semelhantes a crateras, circulares e irregularmente formadas; a superfície da esférula é muito lisa. A microesférula (B) exibe uma superfície mais corroída com montículos protusos ou protusões (p). A microesférulas (C) exibe a porção superior similar a uma cauda (t).

**Figure 9a** - Scanning electron photomicrographs of three selected microspherules recovered from the Poty quarry section (bed I) -reveal their external aspects. Scale bar = 20 $\mu\text{m}$ . Microspherule (A) presents conspicuous "crater-like" pits (c), circular to irregularly shaped, and a very smooth surface. Microspherule (B) exhibits a more corroded surface with protruding mounds or protrusions (p). Microspherule (C) exhibits an upper portion similar to a tail (t).

Albertão & Martins Jr. (1996a) discutem em mais detalhe essa situação controversa e ambígua e sugerem a possibilidade de contaminação pós-deposicional, através de bioturbação causada por escavações biogênicas, que permitiriam que fragmentos de microfósseis migrassem de estratos mais recentes para outros mais antigos. Essa situação já foi encontrada em diversas outras localidades do limite K-T (Albertão, 1993).

Além disso, é importante considerar o fato de que os eventos catastróficos alteram de tal forma o registro geológico, que não se deve esperar uma seqüência bem preservada dos eventos deposicionais, incluindo-se aí a sucessão da biota (Shiki, no prelo; Albertão & Martins



**Figura 9b** - Fotomicrografia (com detalhes em MEV) de grãos de quartzo, possivelmente de impacto, recuperados na camada D (amostra da pedreira Poty). Os grãos exibem conjuntos em intersecção de lamelas retilíneas. Barra de escala =120  $\mu\text{m}$ . OBS.: As fotografias da Fig.9 são cortesia de Eduardo A.M. Koutsoukos.

**Figure 9b** - Photomicrography (with details on SEM) of possible shocked quartz grains from bed D (sample from the Poty quarry), exhibiting intersecting sets of sharp and straight planar lamellae. Scale bar = 120  $\mu\text{m}$ . OBS.: Photographs of Fig.9 are courtesy of Eduardo A. M. Koutsoukos.

Jr., no prelo). Dessa forma, tais eventos e seus produtos requerem uma abordagem sedimentológica e também paleontológica não usual. No caso de rápida extinção em massa, os desaparecimentos de espécies da fauna e da flora, e não suas primeiras aparições, deveriam ser considerados no posicionamento dos limites. É possível que alguns poucos representantes de animais e plantas possam ter aparecido no final de uma determinada época e sobrevivido para a próxima, a despeito de dramáticas alterações ambientais após a catástrofe. E ainda, especial atenção deve ser dada ao retrabalhamento de sedimentos, que pode produzir deposição de fósseis mais antigos em sedimentos mais novos. Nesse caso, fósseis retrabalhados mais antigos e fósseis *in-situ* mais novos podem aparecer misturados nas camadas do K-T, como pode ser observado nas camadas **D** e **H**, na pedreira Poty (Fig. 6). Finalmente, deve-se considerar que em caso de eventos catastróficos, a escala de tempo a ser usada é bem diferente daquela da sedimentação “normal”: uma camada única, de ordem métrica de espessura, pode ser depositada em alguns minutos ou horas. Esse é um fato bem conhecido, por exemplo, a partir da deposição de turbiditos (Dott, 1983). Com base nessa discussão, é possível propor, também de acordo com Albertão & Martins Jr. (no prelo; ver Fig. 6):

- o topo da camada **C** é o registro final do Maastrichtiano Superior;

- as camadas **D** e **I** (Figs. 6 e 7) representam de fato as camadas-limite: a base da camada **D** marca o início de um possível evento catastrófico (ver discussão mais adiante), enquanto as camadas **E** e **I** são o registro do seu final, sendo impossível estabelecer uma estratigrafia de tempo, baseado no conteúdo fóssilífero dessa específica seqüência de camadas;

- o topo da camada **I** e a base da camada **J** representam o início da sedimentação Daniana.

- as características encontradas apontam para um evento catastrófico nas proximidades do limite: a presença de possíveis tectitos e quartzo de impacto (ver a seguir) nas camadas **D** e **I** e mais a anomalia de irídio na camada **I** são indícios que apóiam a hipótese do impacto extraterrestre no limite K-T ocorrido em Chicxulub, Península de Yucatán, México, com registro em boa parte do globo terrestre (Hildebrand *et al.*, 1991); a camada **D** (Fig. 7a), conforme caracterização feita mais adiante, tem características únicas que indicam a plausibilidade de sua deposição ter ocorrido por um tsunami, resultado do impacto.

A ocorrência de esférulas e quartzo de impacto (Fig. 9) está principalmente restrita às camadas **D** e **I**. As esférulas têm aspecto externo muito similar a tectitos descritos em outras localidades do limite K-T (Fig. 9a),

mas sua origem de impacto não está inteiramente evidente na pedreira Poty (Marini *et al.*, 2000). A grande maioria das esférulas amostradas na pedreira Poty é composta principalmente por apatitas ricas em flúor, têm origem diagenética e diferem muito da composição da maioria daquelas ricas em Al ou F, originadas pela alteração de vidro de impacto do limite K-T de outras localidades (Marini *et al.*, 2000).

Entretanto, algumas esférulas encontradas somente na camada **I** apresentam cristais de fluorita. Embora elas também tenham origem diagenética, aventa-se uma relação indireta com o impacto, considerando o alto teor de flúor desse nível estratigráfico, de 5.57 wt.%, em grande contraste com os teores de menos de 0.3 wt.% em todas as outras amostras (Marini *et al.*, 2000; Fig. 6). Essa hipótese pode ser apoiada pelas seguintes observações: (i) a anomalia de flúor ocorre no mesmo nível da anomalia de irídio e (ii) seqüências de rochas evaporíticas, como as que foram impactadas em Chicxulub (Hildebrand *et al.*, 1991) são usualmente compostas por sedimentos ricos em flúor. A liberação extremamente alta e global de flúor deveria ser levada em consideração se estudos posteriores confirmarem a ocorrência de fluorita diagenética (e outras anomalias de flúor) próxima do limite K-T em outras, e mais “clássicas”, seções sedimentares.

Alguns fragmentos de grãos de quartzo de impacto, com múltiplos conjuntos de lamelas de deformação (feições retilíneas) também ocorrem nas camadas **D** e **I** (mais raramente na **C**; Fig. 6). Esses conjuntos de lamelas retilíneas que se interceptam (Fig. 9b) foram provavelmente formados por processos de metamorfismo de impacto, e são similares aos grãos de minerais de impacto, encontrados em rochas associadas a conhecidas estruturas de impacto (Jansa, 1993) e de outras localidades com descrição do limite K-T (Bohor, 1990).

#### • Formação Maria Farinha

Sobreposta à Formação Gramame e sotoposta à Formação Barreiras, a Formação Maria Farinha (Figs 2, 4, 6 e 7) tem em média 18m de espessura na área. É composta por alternância de camadas de calcários, margas e folhelhos. Da base para o topo há uma tendência geral de progressiva diminuição no conteúdo de CaCO<sub>3</sub> e aumento de sedimentos margosos. Há concomitantemente aumento de siliciclásticos e dolomitização. Estruturas como estratificações cruzadas *swaley* atingem dimensão métrica.

Ocorrem ainda bioturbações com estruturas *Thalassinoides*, mas com dimensões menores que às da Formação Gramame (chegam a formar tubos com 2 cm de diâmetro), mas também são comuns as *Fugichi-*

nia, e são especialmente comuns nos contactos entre margas e calcários. São comuns calcários bioclásticos, predominantemente *wackestones/packstones*, onde estruturas como estratificação gradacional com grandocrescência ascendente e marcas onduladas são observadas. Bioclastos comuns são fragmentos de gastrópodes, tubos de vermes, ostracodes e vertebrados (notadamente peixes) fosfatizados. Grandes foraminíferos (alguns *Nummulites* atingem até 2mm), são comuns nas camadas ricas em argila, e os bentônicos predominam sobre os planctônicos. A razão planctônicos/bentônicos decresce da base para o topo, concomitantemente com o aumento no teor de siliciclásticos e de argila. A figura 8 apresenta um sumário das principais características das camadas que compõem a Formação Maria Farinha.

### Informações Geoquímicas

Análises de ativação neutrônica forneceram dados para a descrição geoquímica da abundância relativa de 35 elementos ao longo do limite K-T da Pedreira Poty, permitindo um tratamento estatístico dos dados analíticos que ajudaram na descrição dos processos sedimentares (Albertão, 1993; Albertão & Martins Jr., 1996b; Albertão & Martins Jr. 2002).

Deve ser destacado que a principal quebra geoquímica ocorre justamente no contacto entre as formações Maria Farinha e Gramame (entre as camadas **C** e **D**), e está coerente com a observação do evento erosivo observado na base da camada **D** (Figs. 4, 6 e 7a). A camada **I** (Fig. 7b) marca também uma menor mudança geoquímica nesses elementos descritos, mas é importante lembrar que se trata do nível em que são encontradas as anomalias conspícuas de irídio e flúor. Dada a importância do irídio na caracterização do limite K-T, segue uma discussão maior a seu respeito.

O irídio, um dos elementos do grupo da platina, é um importante indicador da possível presença de material extraterrestre nos sedimentos, uma vez que seu conteúdo seja significativamente maior que os valores crustais típicos. Tal enriquecimento, assim como o de outros elementos do grupo da platina, tem sido encontrado em amostras do limite K-T de localidades em todo o globo terrestre, incluindo-se aí a área da pedreira Poty, na Bacia de PE-PB (Albertão, 1993). A amostra 39, representativa da camada **I** (Figs. 4 e 6) tem um elevado teor de irídio (0.69 ppb), quando comparado com a média da abundância na crosta terrestre (em geral menor que 0.1 ppb), e é cerca de 26 vezes maior que a média das amostras mais próximas na seção analisada neste trabalho.

Michel *et al.* (1985) observaram que o enriquecimento em irídio pode ser resultado de processos sedimentares normais, uma vez que sedimentos mais ricos em argilominerais também são mais ricos em irídio. Os mesmos autores sugerem que seja determinada a razão “irídio/conteúdo de argila” para verificar a independência dos teores de irídio em relação ao teor de argila. Como os argilominerais são ricos em Fe e Al, o exame das razões de Ir/Fe, Ir/Al (assim como a própria razão Ir/argilominerais, neste caso o teor de argilominerais sendo obtido por análises de DRX) fornece informações esclarecedoras. No caso estudado fica evidente a existência da anomalia da razão “irídio/conteúdo de argila”, corroborando a interpretação da contribuição extraterrestre no enriquecimento de irídio na camada **I**.

A camada **I** tem ainda uma forte anomalia em COT. O enriquecimento em fuligem nas camadas do limite K-T foi associado a possíveis incêndios globais, causados pela entrada do bólido impactante na atmosfera terrestre (Wolbach *et al.*, 1988). Outra anomalia geoquímica presente na camada **I** é a de flúor, já discutida anteriormente.

### Considerações Paleoambientais e Processos Geológicos ao Longo do Limite K-T

Dados de palinologia dão boa definição para as extinções do limite K-T (Albertão, 1993) e podem servir como um fator de controle para a determinação de outras extinções, como foraminíferos ou outros *taxa*. A abundância notável de esporos triletes, lisos e ornamentados, além de palmas, na amostra 41, logo após a camada **I**, é interpretada como proliferação de formas “oportunistas”. A anomalia de irídio ocorre precisamente na camada **I**, que marca o limite das principais extinções e confirma a crise da biota bem ao final do Maastrichtiano.

Dados de isótopos estáveis (Albertão, 1993; Albertão & Martins Jr., 2002) indicam que valores mínimos de  $\delta^{13}\text{C}$  ocorrem, indicando possível redução de produção primária nas proximidades do limite K-T. Nos mesmos intervalos, valores crescentes de  $\delta^{13}\text{C}$  indicam tendência de redução das paleotemperaturas. Essas observações são coerentes com dados observados em outras seções mundiais do limite K-T.

Fragmentos fosfatados (intraclastos e bioclastos, usualmente com granulometria areia fina a grossa, mas eventualmente atingindo tamanho de seixos na camada **D**; ver detalhe da figura 7a), ocorrem em duas partes da seqüência principal: na base da Formação Maria

Farinha (base da camada **D**) e nas camadas **M** e **N** (principalmente na **M**; ver figura 8). Características como o formato arredondado dos intraclastos, oxidação das bordas externas, a não-seleção do material fosfatado e a estrutura de granodecrescência ascendente parecem indicar que esses fragmentos são retrabalhamento de camadas imediatamente subjacentes. Valores altos de  $\delta^{13}\text{C}$  ocorrem nos mesmos níveis de maior ocorrência de fosfatação, e podem indicar o registro de eventos de ressurgência; na verdade seriam níveis já erodidos, e as camadas **D**, **M** e **N** trariam somente os seus resquícios.

Uma avaliação mais detalhada acerca dos processos deposicionais envolvidos com a formação da camada **D** indica uma possível atuação de tsunamis. Albertão (1993), Albertão & Martins Jr. (1996a) e Albertão & Martins Jr. (no prelo) interpretam a camada **D** como um possível tsunamito. Diversas características estratigráficas e deposicionais indicam processo de rápida deposição:

1. abrupta base erosiva (Fig. 7a);
2. segue-se uma sucessão com estratificação gradacional com granodecrescência ascendente, composta por fragmentos de conchas, siliciclastos e abundantes fragmentos fosfatizados concentrados na base (Figs. 6, 7a detalhe de 7a);
3. forte mistura e fragmentação de fósseis, derivados de diferentes paleobatimetrias, e retrabalhados de estratos mais antigos (detalhe da figura 7a);
4. mistura de granulometrias muito distintas, indicando má seleção, variando desde areia fina até areia grossa e, mais raramente, seixos (detalhe da figura 7a);
5. ocorrência de abundantes intraclastos e bioclastos que chegam a atingir 9cm de diâmetro, predominando nas porções mais basais (detalhe da figura 7a);
6. presença de material possivelmente derivado de impacto (esférulas e quartzo de impacto; Fig. 9);
7. marcas de onda (*ripples*) de interferência imediatamente acima da camada **D** (presentes nas camadas **E**, **F**, **G**, **H** e **I**; Figs. 7a, 7b e detalhe de 7b);
8. grande continuidade da camada ao longo da Baía (por pelo menos 30km em Pernambuco).

A grande continuidade lateral da camada **D** é uma de suas mais distintas características, uma vez que é possível seguir essa camada desde a pedreira Poty até a área da Ponta do Funil; essas áreas ficam afastadas entre si por cerca de 30km em linha reta (Fig. 1). Entre essas duas áreas está a Ilha de Itamaracá, onde a mesma camada **D** pode ser observada no testemunho recuperado no poço 2-Ist-1-PE, perfurado pela Petrobras (Albertão, 1993).

Uma modelagem semi-quantitativa foi feita, tendo em vista essas características peculiares da camada **D**. Detalhes dos parâmetros da modelagem estão descritos em Albertão (1993), Albertão & Martins Jr. (1996) e Albertão & Martins Jr. (no prelo), onde se verifica a maior plausibilidade da ação de um tsunami como processo responsável pela deposição dessa camada. Destaca-se a energia da onda necessária para deposição de sedimentos com as granulometrias observadas, tendo em vista a lâmina d'água existente (dados de paleobatimetria obtidos a partir das análises de foraminíferos nas camadas sub e sobrejacentes), e sua rápida diminuição com a existência dos *ripples* de interferência no topo (camadas **E** a **H**; Figs. 6 e 7) e a deposição final da camada **I** (detalhe da Fig. 7b), com a anomalia de irídio.

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A pedreira onde está localizado o limite K-T (Pedreira Poty) está aparentemente desativada e não há órgão responsável ou medidas adotadas visando sua proteção. A Empresa Votorantim é a proprietária da área e responsável pela mineração do calcário, atualmente desativada. Caso a mineração ainda estivesse ativa, haveria o risco de destruição do sítio estratigráfico, pelo efeito do impacto da empresa mineradora. Por outro lado, uma parte da área de interesse encontra-se fora dos limites definidos para a extração do calcário, garantindo assim, a princípio, a sua preservação sem conseqüências para a empresa mineradora. A preocupação atual refere-se aos cuidados contra a ação natural do tempo.

Mais recentemente, em trabalho de campo de 2004, foi possível observar que as águas pluviais já formaram um lago que cobre quase toda a bancada da Formação Gramame (Fig. 3), podendo em breve ameaçar as camadas das proximidades do limite K-T.

Os autores sugerem ação conjunta de instituições (ex.: SBG), órgãos (ex.: UFPE, CPRM e DNPM) e empresas (ex.: Votorantim e Petrobras) para adoção de medidas de proteção, salvaguardados os interesses econômicos da empresa que detém os direitos de exploração mineral da área.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório Nacional de Los Alamos (*Los Alamos National Lab*, EUA), à Fábrica de Cimento Poty (Grupo Votorantim), à Petrobras, ao CETEC, à UFOP e à UFPE pelo apoio em diversas etapas do trabalho desenvolvido ao longo de mais de

uma década; também a diversos colegas geólogos que contribuíram pessoalmente com importantes discussões técnicas ocorridas durante todo esse período, citando, com algum receio de estarmos omitindo alguém, Jorge C. Della Favera, Eduardo A. M. Koutsoukos, Marília P. S. Regali, Adali R. Spadini, Margareth M. Alheiros, Delmiro P. Lyra, Jannes M. Mabesoone, Virginio H. Neumann, Antonio Barbosa, Maria P. Delicio, Antonio D. Oliveira, Alexandre A. Grassi, Gerson Fauth, Moses Attrep Jr., Gerhard Einsele, Adolf Seilacher, Csaba H. Detre, François Marini e Tsunemasa Shiki.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albertão, G.A. 1993. *Abordagem interdisciplinar e epistemológica sobre as evidências do limite Cretáceo-Terciário, com base em leituras efetuadas no registro sedimentar das bacias da costa leste brasileira*. Escola de Minas de Ouro Preto, MG, Brasil: Tese de Mestrado, 2 volumes, 251 p.
- Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 1996a. A possible tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco, north-eastern Brazil. *Sed. Geol.*, 104: 189-201.
- Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 1996b. Stratigraphic record and geochemistry of the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary in Pernambuco-Paraíba, North-eastern Brazil. *In: Jardine, S.; De Klasz, I.; Debenay, J-P (eds.) Géologie de l'Afrique et de l'Atlantique Sud, Elf Aquitaine Édition, Mémoire 16:403-411.*
- Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P., 2002. Petrographic and geochemical studies in the Cretaceous-Tertiary boundary, Pernambuco-Paraíba Basin, Brazil. *In Buffetaut, E.; Koeberl, C. (eds.). Geological and biological effects of impact events*, Springer-Verlag, pp. 167-196.
- Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P., (no prelo). A possible tsunamiite at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco Basin, Northeastern Brazil – Reappraisal of field research and conceptual descriptions. *In Shiki, T.; Minoura, K.; Yamazaki, T.; Tsuji, Y. (eds.) Tsunamiites – their features and implications. Developments in Sedimentology*, Elsevier (no prelo).
- Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P.; Koutsoukos, E.A.M. 1994a. O limite Cretáceo-Terciário na bacia de Pernambuco-Paraíba: características que definem um marco estratigráfico relacionado a um evento catastrófico de proporções globais. *Acta Geol. Leopoldensia*, 17(39/1): 203-219
- Albertão, G.A.; Koutsoukos, E.A.M.; Regali, M.P.S.; Attrep Jr., M.; Martins Jr., P.P. 1994b. The Cretaceous-Tertiary boundary in southern low-latitude regions: preliminary study in Pernambuco, north-eastern Brazil. *Terra Nova*, 6: 366-375
- Albertão, G.A.; Grassi, A.A.; Marini, F.; Martins Jr., P.P.; de Ros, L.F. 2004. The K-T boundary in Brazilian marginal sedimentary basins and related spherules. *Geochemical Journal*, 38:121-128.
- Alvarez, L.W.; Alvarez, W.; Asaro, F.; Michel, H.V. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.
- Beurlen, K. 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16:43-53.
- Bohor, B.F. 1990. Shock-induced microdeformations in quartz and other mineralogical indications of an impact event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Tectonophysics*, 171:359-372.
- Chang, H.K.; Kowsmann, R.O.; Figueiredo, A.M.F. 1988. New concepts on the development of East Brazilian Marginal Basins. *Episodes*, 11:194-202.
- Delicio, M.P.; Oliveira, A.D.; Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 2000. Looking for spherules at the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary in Pernambuco/Paraíba (PE/PB) Basin, NE Brazil. *In: Detre, C.H. (ed.) Proc. Annual Meet. TECOS, 1998*, Budapest, Hungarian Academy of Science, pp 35-43.
- Dott, Jr., R. H.. 1983. SEPM Presidential address: episodic sedimentation – How normal is average? How rare is rare? Does it matter?. *Journal of Sedim. Petrol.*, 53:5-23.
- Fauth, G. 2000. *The Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary ostracodes from the Poty quarry, Pernambuco-Paraíba Basin, northeastern Brazil: systematics, biostratigraphy, palaeoecology, and palaeobiogeography*. Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Heidelberg, 158 p. (unpublished Ph.D. thesis).
- Flügel, E. 1982. *Microfacies Analysis of Limestones*. Berlin, Springer-Verlag, 633 p.
- Grassi, A.A. 2000. *O limite Cretáceo-Terciário nas Bacias de Pernambuco-Paraíba e Campos: Um estudo multidisciplinar com ênfase na bioestratigrafia de nanofósseis calcários*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 152 p. (tese de mestrado não publicada).
- Hildebrand, A.R.; Penfield, G.T.; Kring, D.A.; Pilkington, M.; Camargo, A.; Jacobson, S.B.; Boynton, W.V. 1991. Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico. *Geology*, 19:867-871.
- Jansa, L.B. 1993. Cometary impacts into ocean: their recognition and the threshold constraint for biological extinctions. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 104:271-286.
- Koutsoukos, E.A.M. 1996. The Cretaceous-Tertiary Boundary at Poty, NE Brazil – Event stratigraphy and palaeoenvironments. *In: Jardine, S.; De Klasz, I.; Debenay, J-P (eds.) Géologie de L'Afrique et de L'Atlantique Sud, Elf Aquitaine Édition, Mémoire 16:413-431.*
- Kuhn, T.S. 1978. A estrutura das revoluções científicas. Editora Perspectiva. São Paulo. 257 p.
- Mabesoone, J.M.; Tinoco, I.M.; Coutinho, P.N. 1968. The Mesozoic-Tertiary boundary in Northeastern Brazil. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 4:161-185.

- Marini, F.; Albertão, G.A.; Oliveira, A.D.; Delício, M.P. 2000. Preliminary SEM and EPMA investigations on KTB spherules from Pernambuco area (NE Brazil): diagenetic apatite and fluorite concretions, suspected fluorine anomalies. In: Detre, C.H. (ed.) *Proc Annual Meet TECOS, 1998*, Budapest, Hungarian Academy of Science, pp 109-117.
- Martins Jr., P.P.; Albertão, G.A.; Haddad, R. 2000. The Cretaceous-Tertiary boundary in the context of impact geology and sedimentary record – An analytical review of 10 years of researches in Brazil – Brazilian Contributions of the 31<sup>st</sup>. International Geological Congress - *Revista Brasileira de Geociências* (Soc. Bras. Geol.), **30**(3):460-465.
- Michel, H.V.; Asaro, F.A.; Alvarez, W.; Alvarez, L.W. 1985. Elemental profile of iridium and other elements near the Cretaceous/Tertiary boundary in Hole 577 B. In: Heath GR, Burckle LH *et al.* (eds.) *Init Repts DSDP*, 86:533-538.
- Sarkis, M.F. 2002. *Caracterização palinoestratigráfica e paleoecológica do limite Cretáceo-Terciário na seção Poty, Bacia de Pernambuco/Paraíba, nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 120 p. (tese de doutorado não publicada).
- Shiki, T., no prelo. Tsunamiite sedimentology in studies of chaotic events in geohistory – Significance and problems. In: Shiki, T.; Minoura, K.; Yamazaki, T.; Tsuji, Y. (eds.) *Tsunamiites – their features and implications. Developments in Sedimentology*, Elsevier (no prelo).
- Stinnesbeck, W. 1989. Fauna y microflora em el limite Cretacico-Terciario en el Estado de Pernambuco, Nordeste de Brasil. *Contribuciones de los Simposios sobre Cretácico de América Latina*. Parte A:215-230
- Tinoco, I.M. 1967. Micropaleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16:81-85.
- Wolbach, W.S.; Gilmour, I.; Anders, E.; Orth, C.J.; Books, R.R. 1988. Global fire at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, **334**(6184):665-669.

<sup>1</sup> PETROBRAS, Av. Elias Agostinho, 665, Ponta da Imbetiba, CEP 27913-350 Macaé, R.J., Brasil, Tel.: (22) 2761-3314; FAX: (22) 2761-2474 e-mail: albertao@petrobras.com.br

<sup>2</sup> Fundação CETEC, Av. J. C. da Silveira 2000, Horto, CEP 31170-000 Belo Horizonte Tel.: (31) 3489-2250; FAX (31) 3489-2227 e Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, DEGEO, Campus, CEP 35400-000 Ouro Preto, M.G., Brasil e-mail: paulo.martins@cetec.br

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP <<http://www.unb.br/ig/sigep>>, em 12/6/2006, também com versão em inglês.



#### GILBERTO ATHAYDE ALBERTÃO

Engenheiro-geólogo, M.Sc. Geologia Sedimentar Universidade Federal de Ouro Preto. Desde 1983 exerce o acompanhamento geológico de poços e geologia de reservatório. Participou de projeto de correlação global (IGCP) referente ao Mesozóico terminal. Como coordenador de projetos destacam-se: (i) aplicação de conceitos inovadores de modelagem estratigráfica e geoestatística no desenvolvimento de campos de petróleo em reservatórios turbidíticos e carbonáticos (ii) organização e manutenção da competência técnica em reservatórios (Petrobras). Professor convidado para "Estimativa de Reservas" na Universidade Estadual do Norte Fluminense de (2002-2005). Desde 2007, prepara doutoramento - Programa de colaboração Petrobras/IFP (Instituto Francês do Petróleo) e Universidade de Bordeaux 1, com temática de "Aplicação de simulação numérica à compreensão de processos sedimentares em sistemas turbidíticos".



#### PAULO PEREIRA MARTINS JUNIOR

Geólogo, *Docteur en Sciences de la Terre*, Dr.Sc.T. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Pesquisador Pleno Fundação CETEC e Professor Associado I, Universidade Federal de Ouro Preto. Desenvolve pesquisas em Geologia Histórica para a fase final da Era Mesozóica. Pesquisa em Epistemologia das Geociências e das ciências, em geral. Desenvolve pesquisas e tecnologia em gestão geo-ambiental e econômica de bacias hidrográficas e propriedades rurais para a conservação do bioma e recursos hídricos, para as relações terra / água / planta / climatologia / produção rural, dentro do tema Geociências Agrárias e Ambientais. Desenvolve dois tipos inovadores de sistemas 3/4 "Arquitetura de Conhecimentos" e de "Inteligência Artificial para a Gestão e o Auxílio à Decisão".