

Geoconservação é conhecimento
Uma história escrita pela natureza

Introdução

Os estudos que motivaram os trabalhos cujos resultados são apresentados neste geossítio começaram dentro da disciplina de Geologia Histórica, ofertada no curso de Engenharia Geológica da Escola de Minas de Ouro Preto e conduzida pelo Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Jr. e na consequente dissertação do então mestrando Gilberto Athayde Albentão.



PROF. DR. PAULO PEREIRA MARTINS JR.

Desde a conclusão do trabalho de mestrado em 1993, seguiram-se mais de 25 anos de novas pesquisas e atualizações até a inauguração do geossítio.

A configuração dos continentes e oceanos há 66 milhões de anos



Antiga massa terrestre
Massa terrestre moderna
Zona de subducção (os triângulos apontam na direção da subducção)

Mapa reconstituído dos continentes no intervalo temporal K-Pg com a posição da cratera de Chicouhub.

Fonte: Scotese (<http://www.scotese.com/>), Incrementado por Martins Jr.

Discussões em torno do PRINCÍPIO DO UNIFORMITARISMO DE Lyell



CHARLES LYELL (1797 - 1875)



JEAN-ANDRÉ DE LUC (1727-1817)

Vamos mostrar nesta introdução ao percurso do geossítio que a temática abordada nos painéis insere-se numa discussão histórica acerca de um dos pilares das geociências: o princípio do uniformitarismo. Esse princípio foi apresentado por Charles Lyell em 1830 com a publicação de seu livro *Principles of Geology*. Ressalta-se que desde sua publicação, à sua época e até tempos atuais, o princípio foi e tem sido alvo de diversas e contenciosas críticas, que comentaremos mais adiante.

O fato é que a rigidez conceitual de Lyell favoreceu a que muitos aspectos de evolução da Terra fossem banidos, especialmente em países sob forte influência cultural do Reino Unido no ensino da Geologia. É importante destacar que, na realidade, antes da publicação de Lyell, dois autores, Lomonosov e Prévost, em diferentes trabalhos, haviam apresentado um princípio mais simples e não tão rígido, denominado "princípio do atualismo".

Para a compreensão mais correta das questões envolvendo o princípio do uniformitarismo de Lyell é importante resgatarmos o trabalho de Stephen Jay Gould (1985), que fez uma revisão completa dos conceitos envolvidos na obra de Lyell. Essa revisão mostra que, apesar de passar para a ciência "oficial" como "o princípio fundamental da geologia" (Challinor, 1968, p. 331), nunca houve, dentre os geocientistas, o consenso que era celebrado por Dunbar em sua revisão histórica de 1960 (p.18: "... o uniformitarismo ganhou então aceitação universal entre as pessoas inteligentes e informadas..."). Na verdade, já desde 1870 Thomas Huxley declarava que o "uniformitarismo deveria ser conciliado com o catastrofismo". Davison (1964) chegou a ironizar a discussão por vezes irracional sobre esse princípio, afirmando que "o uniformitarismo era a sustentação central da fé dos geólogos". Albrían (1961) apresenta um debate entre geólogos e filósofos, mostrando que alguns deles não reconheciam o uniformitarismo como essencial ao pensamento geológico; o mesmo autor afirma que "... a maioria dos filósofos da ciência aparenta sentir que o princípio (do uniformitarismo) é muito vago para ser de uso, ou é uma assertiva injustificada e desnecessária" (Albrían, 1963, p.263). Um grande número de respeitáveis pensadores e cientistas, tais como Cannon (1960), Hooykaas (1971), Rudwick (1971) e Porter (1976) alinharam-se com a declaração do uniformitarismo como "propaganda errônea", expressa pelo próprio Cannon (1976, p.109).



ANTOINE FRANÇOIS PRÉVOST (1697-1763)

A análise feita por Gould no trabalho mencionado permite entrar no cerne da questão epistemológica acerca do uniformitarismo. O autor salienta que existem quatro subprincípios distintos, "embutidos" no conceito geral do uniformitarismo, denominados metodológico, causal, de ação (energia no sentido de Lyell) e configuracional. Lyell deu especial importância aos dois últimos subprincípios, o que determinou assim uma maior inflexibilidade conceitual ao princípio como um todo: "... causas jamais ...ocorreram com diferentes graus de energia distintos do que atualmente existe" (Lyell, 1881, Vol. 1, p. 234); "... todas as teorias são rejeitadas quando envolvam assertivas de catástrofes súbitas e violentas e revoluções na totalidade da Terra" (Lyell, 1875, Vol. 1, p.318). Além disso, Lyell denorou muitos anos para aceitar a teoria da evolução de Darwin/Wallace, visto que a mesma não se encaixava no 4º subprincípio.

É possível verificar que nos dois últimos subprincípios, que por sinal não são utilizados no princípio do atualismo de Lomonosov e de Prévost, parece residir o principal erro de Lyell, e são justamente o motivo de boa parte das divergências discutidas ao longo do tempo. Sabe-se por certo que processos de magnitude energética muito diferente do que observamos, gerando eventos que não tenhamos presenciado no presente, devem ter ocorrido, com registro na história da Terra: impactos com meteoritos de grandes dimensões são um dos principais exemplos.

Constata-se que, apesar de toda a discussão ocorrida no meio científico, a aplicação dogmática do princípio do uniformitarismo impediu durante mais de 100 anos que se reconhecesse o papel dos eventos catastróficos na história da Terra e da vida.

Uma potente flexa que derruba o DOGMATISMO DO UNIFORMITARISMO

Devemos a Luiz Walter Alvarez (prêmio Nobel de Física em 1958) e a seu filho Walter Alvarez, geólogo, liderando uma equipe multidisciplinar, a descoberta de teores anormalmente altos de irídio (Ir) em sedimentos que registravam o limite entre as Eras Mesozoica (Maastrichtiano) e Cenozoica (Paleógeno), o famoso Limite K-Pg (ou Limite Cretáceo-Terciário, K-T, de acordo com a denominação à época).

Conforme poderá ser verificado com mais detalhe no decorrer da visita a este geossítio, a anomalia de Ir junto a diversas outras características únicas presentes nesta área estão coerentes com a hipótese, hoje considerada como válida, do impacto de um meteorito como principal causa das profundas transformações na Terra e na biota, que ocorreram nesse período temporal.

Adicionalmente, Robert H. Dott, em 1983, apresentou seu trabalho sobre sedimentação episódica, que são em verdade processos catastróficos, explicitando, dentre outros, eventos como os de grandes terremotos, erupções vulcânicas e impactos e suas relações com processos sedimentares. Ambos trabalhos, de Alvarez et al. (1980) e de Dott (1983), colocam fim aos 3º e 4º subprincípios do uniformitarismo.



Luiz Walter Alvarez (1911-1986)

O "fazer" geológico nos TEMPOS ATUAIS

Decorrente da perda da orientação "uniformitarista" como base do pensamento geológico atual, espera-se que procedimentos a serem utilizados em pesquisas científicas nas geociências estejam de acordo com as conclusões que são apresentadas a seguir:

- Procedimentos atualistas de pesquisa e de interpretação são base *sine qua non* para uma boa ciência geológica do ponto de vista de um sistema empírico bem como método de inclusão pela similitude e método de exclusão pela ineqüação entre os processos do passado e do recente da Terra;
- De fato, o presente pode ser uma chave de interpretação do passado, mas não a única, e isto é óbvio;
- A recíproca sobre a "relação presente versus passado" deve ser verdadeira, e assim o passado pode ser uma chave de interpretação do presente também - entende-se, entretanto, que esse enfoque pode ser mais difícil de ser aplicado em todo o registro geológico, mas em Geologia do Quaternário, por exemplo, enuncia-se que o passado é chave de interpretação do presente;
- Catástrofes recentes não são necessariamente iguais às do passado, mas servem para estudos atualistas de eventos catastróficos do passado e para avaliação de semelhança e dessemelhança; assim, catástrofes do passado podem também ser únicas, não tendo mais ser repetido de modo igual na história da Terra;
- Podem ter existido regimes ambientais do passado totalmente diferentes dos regimes ambientais do presente e, portanto, para esses, o presente não seria a chave de interpretação do passado;
- Muitas catástrofes podem ser eventos comuns e repetitivos, como mostra a sedimentação episódica, e agir como formadores e/ou destruidores de estruturas.

O que se descortina para você que passará a fazer o percurso deste geossítio...

Este tempo de revoluções no pensamento geológico é refletido no geossítio da Mina Poty, um verdadeiro Museu a Céu Aberto, com a presença de diversas evidências que reforçam a interpretação do registro de um evento de ordem catastrófica: o impacto de um meteorito no Limite K-Pg. Verifica-se assim um processo de entendimento e interpretação dos eventos geológicos superficiais e de outros eventos que fazem a relação da história da Terra com o Cosmos.

Patrimônio geológico de relevância mundial

A sequência geológica aflorante na área de mineração da Unidade Poty Paulista representa o primeiro e ainda único registro completo de uma sequência sedimentar abrangendo o Limite K-Pg nas bacias sedimentares brasileiras, que materializa o momento geológico que marcou o final da Era Mesozoica e o começo da Era Cenozoica, há aproximadamente 66 milhões de anos atrás.

Unidade Poty Paulista 2ª Fábrica de cimento mais antiga do grupo Votorantim Cimentos

Em atividade desde a década de 40, a Unidade Poty Paulista foi construída com o intuito de produzir cimento para abastecimento da região nordeste do Brasil, em uma época de grande carência deste produto no mercado regional, devido à dificuldade de importação de cimento decorrente dos conflitos gerados pela Segunda Guerra Mundial.

O interesse pelo negócio em Pernambuco também foi fortalecido pela franca ascensão que a S/A Indústria Votorantim vinha estabelecendo no Estado de São Paulo com a fábrica de cimento em Sorocaba. Durante a instalação, a região era pouco habitada, sendo na sua grande maioria formada por colônia de pescadores. Atualmente, o município de Paulista apresenta uma população estimada de 325.590 habitantes, com índice de desenvolvimento humano municipal - IDHM - acima da média dos municípios pernambucanos, certamente influenciada pela atividade econômica e geradora de empregos provenientes da Unidade Poty Paulista na região.

O nome Poty foi uma homenagem a um dos heróis da história brasileira, Antonio Felipe Camarão ou Poty, na língua Tupi ou Nheengatu, lendário pela sua bravura nos combates travados para a expulsão dos holandeses do Brasil durante o século 17.

Propaganda Cimento Poty em 1942. Foto: arquivos do Diário de Pernambuco. Fonte: Ricardo Telles.



DISTRIBUIDORES NESTA REGIÃO:
 ZARRE, REI & CIA. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 CAMARGO & CIA. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 DISTRIBUIDORA DE CIMENTO LIMA - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 PRADO PEREIRA & CIA. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 GOMES, VIEIRA & CIA. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 J. SOARES - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 J. SOARES - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 S. A. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 S. A. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 S. A. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP
 S. A. - Rua N. São João, 90-91 - São Paulo, SP

SOCIEDADE ANÔNIMA INDUSTRIAS VOTORANTIM
 FÁBRICA DE CIMENTO - RUA N. SÃO JOÃO, 90-91 - SÃO PAULO, SP

Em reconhecimento da importância deste local para as geociências, a Votorantim Cimentos assumiu o compromisso e tomou a dianteira no mercado cimenteiro brasileiro em compatibilizar as atuais atividades minerárias existentes na Unidade Poty Paulista com a implementação de uma estratégia de geoconservação, que prevê medidas de conservação do patrimônio geológico do geossítio e promoção do seu uso de caráter científico e educativo.

Esta iniciativa de vanguarda cria oportunidade e exemplo para todo o setor da indústria extrativa mineral, demonstrando como a mineração também pode promover a conservação da natureza, biodiversidade e geodiversidade, além dos já conhecidos e fundamentais benefícios positivos na economia e no dia a dia da sociedade, colocando em prática o conceito do desenvolvimento sustentável.

Normas de Segurança

Na área do geossítio K-Pg Mina Poty é obrigatório o uso de equipamento de proteção individual - EPI. Faça sua parte, use adequadamente e cuide deste material, para que outras pessoas possam utilizá-lo nas próximas visitas.

A PARTIR DESTA PONTO PARA SUA SEGURANÇA É OBRIGATÓRIO O USO DE:



CAPACETE



ÓCULOS DE SEGURANÇA



COLETE REFLETIVO



CALÇADO FECHADO

Fique atento ao trânsito de veículos e/ou máquinas pesadas;

O caminhamento na área do geossítio deve ser realizado sempre em grupos, somente nas áreas indicadas e sinalizadas;

Em caso de chuva, redobre o cuidado com o piso escorregadio;

Fique atento à presença de eventuais blocos soltos nos taludes das exposições geológicas;

Não caminhar utilizando smartphones

Regras Gerais do Geossítio

• Intervenções com martelo e/ou outro equipamento só serão permitidas ao final da visita na exposição geológica para prática de campo.

• A coleta e retirada de material fóssilífero da Unidade Poty Paulista só é permitida com a devida autorização do DNPM. Caso encontre fósseis, entregue ao colaborador da Votorantim.

• Não é permitido o consumo de alimentos na área do geossítio.

Regra Verde nº 7

Respeitar cavernas, sítios culturais, geológicos, históricos, paleontológicos e arqueológicos

VEJA ALGUNS EXEMPLOS DE COMO COLOCAR EM PRÁTICA ESTA REGRA:

- Ao encontrar evidências de cavernas ou sítios culturais, geológicos, históricos, paleontológicos e arqueológicos, informar ao responsável pela área de Meio Ambiente da sua Unidade.
- Procure se informar quanto às características destes locais para facilitar sua identificação.

Política Global de Meio Ambiente da Votorantim S.A.



Exposição geológica: porção superior da Formação Gramame 2

Exposição geológica: Limite K-Pg 3

Exposição geológica: porção intermediária da Formação Maria Farinha 4

Exposição geológica para prática de campo 5

Início da Visita 1

Geoconservação é conhecimento
Uma história escrita pela natureza

Imagine-te abaixo do nível do mar, prestes a mergulhar na experiência de conhecer o registro geológico do Limite K-Pg existente no Brasil - o geossítio K-Pg Mina Poty

No início da década de 1990, o Limite K-Pg foi detalhado no Brasil nesta área de mineração ativa na bacia sedimentar Pernambuco - Paraíba. Localizada no extremo nordeste da costa brasileira, essa região da bacia apresenta indícios de ter sido a última porção a se romper, no processo de separação dos continentes América do Sul e África que propiciou a abertura do Oceano Atlântico (entre 130 e 90 milhões de anos atrás).



Limite K-Pg Registro impactante entre capítulos do livro da história da Terra

A história geológica e paleobiológica pode ser comparada a um livro, dividido por capítulos. Entre estes capítulos revelam-se eventos de grande magnitude que deixaram marcas registradas nas páginas desta história.

Para registrar e compreender os acontecimentos que marcaram a história da Terra, foi estabelecida uma escala universal que define a hierarquia completa e sistematicamente ordenada de unidades cronoestratigráficas, intervãos de tempo geológico que caracterizam os eventos que marcaram o registro estratigráfico da Terra.

A padronização global das relações cronoestratigráficas é realizada pela Comissão Internacional de Estratigrafia (UNESCO / ICS - International Commission on Stratigraphy).

A sequência estratigráfica nas rochas do geossítio K-Pg Mina Poty revela importante capítulo da história da Terra, o fim do Cretáceo (K) e o início do Paleógeno (Pg).

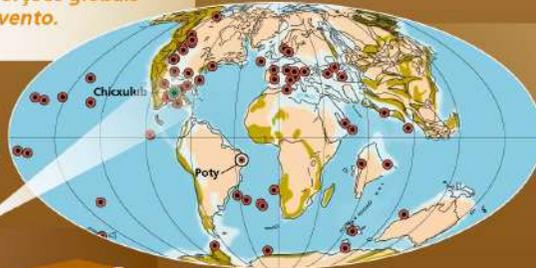
Os registros geológicos associados ao Limite K-Pg, ocorrido há aproximadamente 66 milhões de anos na passagem entre as eras Mesozoica e Cenozoica, foram estudados de maneira multidisciplinar em diversos ramos das Geociências.

Este limite foi um tempo de grandes mudanças ambientais e episódios de extinção em massa que ocasionou o desaparecimento de 64% a 85% de todas as espécies no final do Cretáceo, nos biomas marinhos e terrestres, incluindo muitos grupos de seres vivos, como os dinossauros.

Hoje são conhecidos mais de 350 locais que registram a transição Cretáceo-Paleógeno comprovando as proporções globais do evento.

A bacia Pernambuco-Paraíba tem sido estudada desde o final do século XIX, principalmente do ponto de vista de conteúdo fóssilífero, dada a evidente riqueza em macrofósseis, notadamente moluscos, peixes e répteis marinhos. Aspectos importantes da exploração mineral dessa bacia estão relacionados à mineração do fosfato (no contato entre as formações Beberibe e Gramame), ocorrida principalmente nas décadas de 1960 e 1970 e, mais importante a mineração do calcário e argila (formações Gramame e Maria Farinha) presente ainda nos dias atuais.

Trabalhos realizados no período 1990 e 1992, permitiram a primeira descrição de uma sequência completa da seção de transição K-Pg em baixas latitudes do Hemisfério Sul, portadora de anomalia de irídio. É a única área aflorante no Brasil com características suficientes como geossítio do Limite K-Pg e incluí-la como Patrimônio Geológico Nacional de interesse estratigráfico, sedimentológico, paleontológico, geoquímico e paleoambiental.



Distribuição mundial das principais localidades onde foi caracterizado o Limite K-Pg.

Coluna Estratigráfica

Coluna estratigráfica esquemática da Bacia Pernambuco-Paraíba (Sub-bacia Olinda).
Fonte: Adaptado de Barbosa, 2004.

ERAS	PERÍODO	ÉPOCA	CONTINENTAL	MARINHO
CENOZOICA	NEÓGENO	Mioceno		Formação Barreiras
PALEÓGENO	Paleoceno/ Eoceno Oligoceno		Limite K-Pg	Formação Maria Farinha
			Horizonte Fosfático	Formação Gramame
MESOZOICA	CRETÁCEO	Maastrichtiano		
		Campaniano		
		Santoniano		
		Conlac.		
PRÉ-CAMBRIANO				Embasamento Cristalino

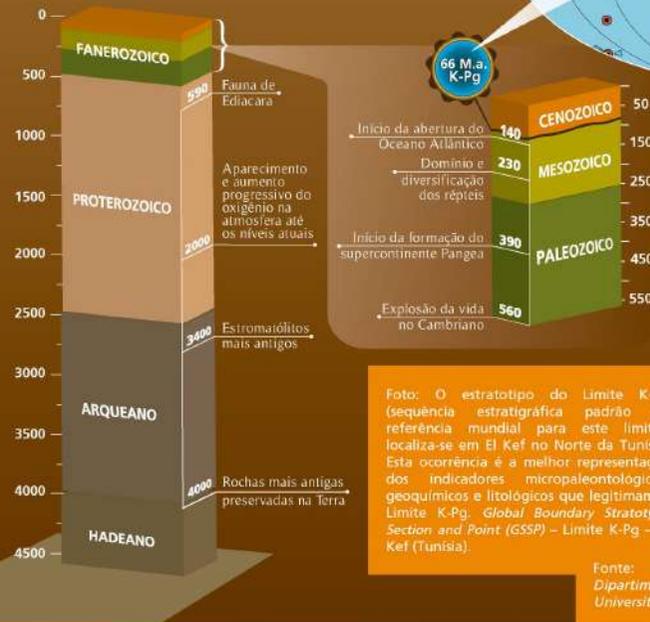
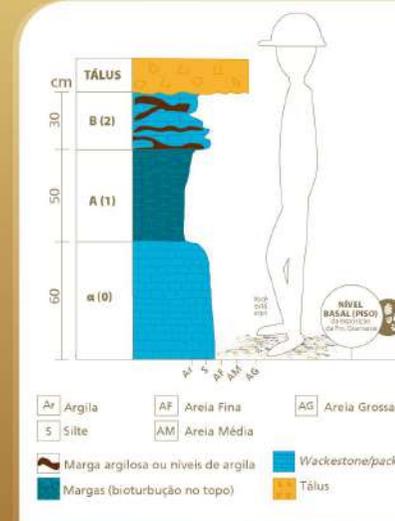


Foto: O estratipo do Limite K-Pg (sequência estratigráfica padrão de referência mundial para este limite), localiza-se em El Kef no Norte da Tunísia. Esta ocorrência é a melhor representação dos indicadores micropaleontológicos, geoquímicos e litológicos que legitimam o Limite K-Pg. *Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) - Limite K-Pg - El Kef (Tunísia).*

Fonte: Prof. Simonetta Monechi Dipartimento di Scienze della Terra Università degli Studi di Firenze.



Formação Gramame Coluna Estratigráfica

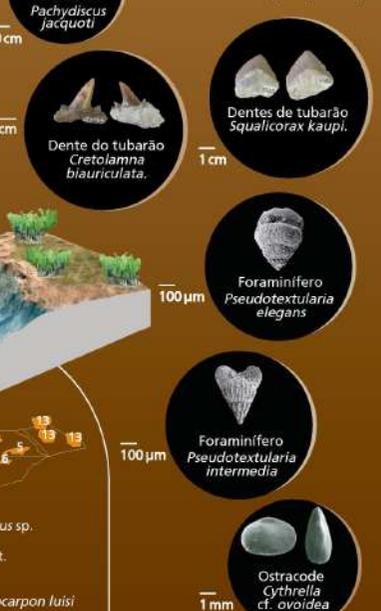
Camada α (0) - Wackestone/packstone, calcário com granulometria areia fina, com bioturbação.

Camada A (1) - Wackestone de composição "margosa" com planctônicos grãos fosfatizados/fósseis/alguns *Hamulus*/bioturbação, principalmente *Thalassinoides*/bivalvíos, equinodermas e foraminíferos.

Camada B (2) - Calcário nodular/wackestone - localmente packstone com forte bioturbação / maior proporção de foraminíferos planctônicos em relação aos bentônicos / *Hamulus*, equinodermas, ostracodes, calciferulídeos / fragmentos fosfatizados.

Conteúdo Fóssilífero

Esta formação apresenta rica fauna de moluscos, corais, crustáceos, equinóides, peixes ósseos e cartilaginosos e répteis (marinhos, como mosasaurus e voadores, como pterossauros), tubos de habitação de crustáceos (*Thalassinoides* sp.), e coprólitos (marcas de excreção).
Foram observadas ocorrências de frutos de palmeira fossilizados. Dentre os microfósseis, os palinóforos e foraminíferos planctônicos são abundantes, representados por grupos típicos do Cretáceo Superior, extintos na passagem K-Pg.

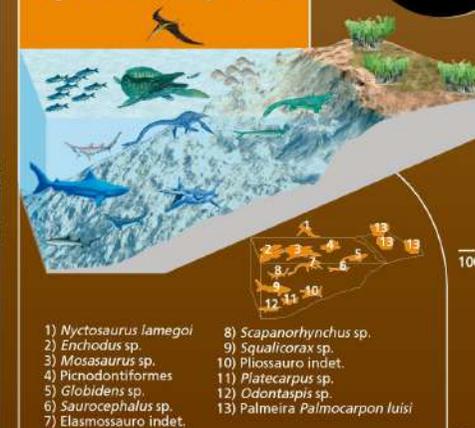


AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO

A Formação Gramame (Maastrichtiano, Cretáceo Superior), base da sequência estratigráfica neste geossítio, é composta por calcários dolomíticos em alternância com margas. Corresponde ao tempo de implantação de um ambiente marinho na bacia.

Reconstituição paleoambiental

do Cretáceo Superior, ilustrando algumas formas de vertebrados registradas nos estudos já realizados.



- 1) *Nyctosaurus lamegoi*
- 2) *Enchodus* sp.
- 3) *Mosasaurus* sp.
- 4) Picnodontiformes
- 5) *Globidens* sp.
- 6) *Sauropcephalus* sp.
- 7) *Elasmossauro* indet.
- 8) *Scapanorhynchus* sp.
- 9) *Squalicorax* sp.
- 10) *Pliosaurus* indet.
- 11) *Platycarpus* sp.
- 12) *Odontaspis* sp.
- 13) Palmeira *Palmocarpon Luisi*

Fonte: Marcia Cristina Silva, os vertebrados da Bacia da Paraíba (Cretáceo Superior-Paleoceno), Nordeste do Brasil, 167 p. Dissertação de mestrado, UFPE.

Fontes: Macrofósseis: PALEOLAB - UFPE (2018)
Foraminíferos: Koutsoukos (1996)
Ostracode: Fauth et al. (2005)

Geoconservação é conhecimento
Uma história escrita pela natureza

Limite K-Pg

Fim da Era Mesozoica
Início da Era Cenozoica

O que, de fato, ocorreu há 66 milhões de anos?

O fim de uma Era, a Mesozoica, e a passagem para o início de uma nova Era, a Cenozoica: extinção severa da biota e profundas transformações ambientais de abrangência global.

Diversas hipóteses foram elaboradas para explicar este evento mundial: (1) mudanças de condições oceanográficas, atmosféricas e climáticas; (2) reversão do campo magnético; (3) vulcanismo intenso e (4) impacto de meteorito. Esta última, possivelmente associada a algumas das anteriores, é a mais aceita pela comunidade científica.

Em 1980, Luis Alvarez (Prêmio Nobel de Física) e seu filho, Walter Alvarez, coordenaram uma equipe multidisciplinar responsável pela proposição da hipótese de que o impacto produziu efeito mundial na atmosfera, climas e biomas, pelo impedimento da entrada da luz e queda da produtividade primária em toda a cadeia alimentar dos continentes e oceanos.

A hipótese é baseada na descoberta de anomalia de irídio, elemento químico comum em meteoritos, mas raríssimo na superfície terrestre. Essa anomalia reconhecida pela primeira vez em fina camada de argila em Gubbio (Itália), foi constatada em outros Limites K-Pg pelo mundo, incluindo este da Mina Poty. Anos mais tarde, confirmou-se a cratera de impacto do meteorito, na península de Yucatán e em área submarina adjacente, México (cratera de Chicxulub, com 180 km de diâmetro).

Neste painel estão descritos os principais componentes peculiares que caracterizam de forma inequívoca o Limite K-Pg neste geossítio: extinções em massa, anomalias geoquímicas (do irídio, em particular), grãos de quartzo de impacto, microfósseis e o depósito sedimentar interpretado como tsunamito.

O meteorito que caiu no Golfo do México, estimado com 10km de diâmetro, liberou mais de 1 bilhão de vezes a energia da bomba atômica usada em Hiroshima em 1945!

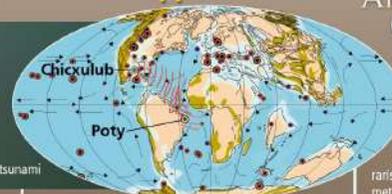
A configuração dos continentes e oceanos há 66 milhões de anos



Antiga massa terrestre
Massa terrestre moderna
Zona de subdução (os triângulos apontam na direção da subdução)

Ocorrências de irídio - ppt

- Desconhecido
- 2 - 1500
- 1501 - 15000
- 15001 - 90000
- Circulação oceânica (há 66 m.a.)
- Possível caminho do tsunami



Distribuição dos registros das anomalias de irídio, consideradas fundamentais na caracterização das seções geológicas do Limite K-Pg.

Mapa reconstituindo dos continentes no intervalo temporal K-Pg com a posição da cratera de Chicxulub.

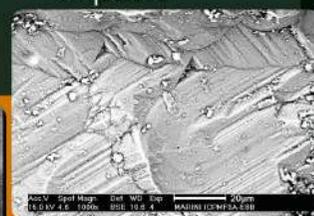
Fonte: Scotese (<http://www.scotese.com/>), incrementado por Martins Jr.

Anomalias Geoquímicas

Uma fina camada de argila (cm a mm) é identificada na maioria das seções sedimentares contendo a passagem K-Pg em todo o mundo, apresentando-se, enriquecida em elementos siderofílicos, particularmente do grupo da platina, em especial, o irídio. Como este elemento é raríssimo na crosta terrestre mas abundante nos meteoritos, tornou-se o elemento para indicar as anomalias geoquímicas observadas neste limite cronoestratigráfico.

As amostras da Mina Poty revelam valores anormalmente elevados de teor de irídio (0,69 ppb), comparativamente a média da abundância na crosta terrestre (em geral menor que 0,1 ppb); dentro, da mesma seção analisada, o valor do Limite K-Pg ainda é cerca de 26 vezes maior que a média das amostras mais próximas.

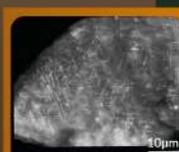
Quartzo de Impacto



Impactos de meteoritos causam transformações nas rochas, gerando um fenômeno conhecido como metamorfismo de impacto. Acontece sob intensa pressão e temperatura moderada. Deformações na estrutura cristalina do quartzo (múltiplos conjuntos de lamelas reticuladas em várias direções, conforme ilustra a fotografia ao MEV, à esquerda) são evidências desse tipo de metamorfismo. A presença de grãos de quartzo com essas características é evidência conclusiva do grande impacto no Limite K-Pg.

Neste geossítio alguns grãos de quartzo apresentam tais características de metamorfismo de impacto, similares aos encontrados em outras localidades com descrição do Limite K-Pg.

Escala (barra): 20 µm (foto acima)
Fonte: cortesia do Dr. François Marini, publicado em Albertão et al., 2009.



Fotomicrografia (acima), com detalhes em MEV (à direita), de grão de quartzo recuperado na camada D. Observar as interseções entre conjuntos de lamelas reticuladas. As imagens acima apresentam com mais clareza tais lamelas.

Fonte: cortesia do Dr. Eduardo Koutsoukos, publicado em Albertão & Martins, 2009.

Esférulas e Tectitos

Tectitos são partículas formadas pelo impacto de meteorito na superfície da Terra. Fragmentos de rocha, em geral da crosta e do próprio meteorito, são ejetados em estado fundido, solidificam-se ao alcançar grandes altitudes, retornando à superfície terrestre como partículas aerodinamicamente moldadas (com formatos de esferas ou gotas).

Neste geossítio, as camadas - Limite do K-Pg apresentam esférulas que têm aspecto externo muito similar a tectitos descritos em outras localidades do Limite K-Pg.

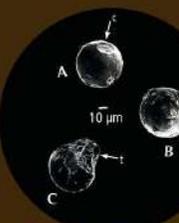
Há quase 30 anos, exatamente aqui, no geossítio Mina Poty, pesquisadores identificaram as principais evidências do impacto do meteorito que causou um evento de proporções catastróficas!

(Albertão, 1993, e Albertão et al., 1994)

Embora origem diagenética possa ser aventada, a riqueza em flúor da maioria das partículas encontradas neste geossítio pode estar relacionada à abundância desse elemento nas rochas que sofreram o impacto pelo meteorito na península de Yucatán.

Fotomicrografias de microfósseis recuperadas da seção sedimentar da Mina Poty (camada I)

- As imagens ressaltam os aspectos externos das microfósseis
- Apresenta superfície lisa com conspicuas depressões semelhantes a crateras (c);
 - Exibe uma superfície mais corrolada com protuberâncias (p);
 - Exibe a porção superior similar a uma cauda (t).



Esquema representando o impacto de um meteorito em superfície emergsa da Terra. Ilustra também os tipos de tectitos:

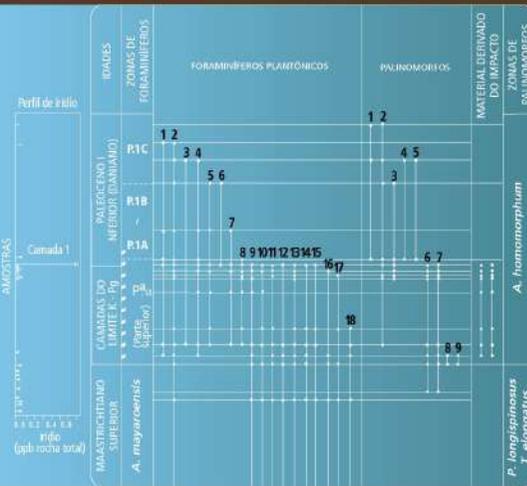
- se derivados da crosta terrestre, composta predominantemente por silicatos, seu núcleo é predominantemente silicoso (vítreo);
- se derivados de meteoritos, que são predominantemente ferrosos, o núcleo tende a ser predominantemente metálico.

Extinções em Massa

Limite Cretáceo Paleógeno

Este evento teve um enorme impacto na biodiversidade e vitimou de 64% a 85% dos seres vivos da época, afetando com extinções generalizadas todos os biomas terrestres e marinhos.

Fonte: mod. de Albertão & Martins, 2009



Saiba mais: www.votorantimcimentos.com/geossitio

Distribuição dos micro-organismos ao longo do Limite K-Pg. Ocorre o desaparecimento de várias espécies e o surgimento de outras nas camadas-Limite (D-I);

No Limite K-Pg deste geossítio observa-se importante variação da macrofauna, como, por exemplo, o desaparecimento de importantes grupos de amonóides e aparecimento dos nautilóides; além disso grupos de répteis marinhos (Mosassauros) deram lugar a grupos de crocodilos e tartarugas. A notável alteração na distribuição dos micro-organismos (quadro acima) é confirmada pela análise de extinções de grupos de foraminíferos e pólenes.

Ds tsunamis tsunamis (ou maremotos) são grandes ondas originadas por sismos ou escorregamentos submarinos, explosões vulcânicas, impactos de meteoritos no oceano ou outros distúrbios acima ou abaixo da água. Originados em oceano profundo, tsunamis não varrem grandes distâncias em terra pelo fato de dissipar energia rapidamente após alcançar a zona litorânea. Apesar disso, em virtude das altas velocidades das ondas, que podem atingir centenas de km/h, efeitos catastróficos são provocados em zonas litorâneas. O mecanismo de atuação de um tsunami é ilustrado no esquema abaixo.



Adaptação da Ilustração esquemática de um evento de tsunami (Albertão et al., 2006; mod. de Düringer, 1984), por Eleva Branding & Design.

A avaliação detalhada da estratigrafia e dos processos deposicionais neste geossítio permitiu interpretar as camadas D a I como um possível tsunamito (registro sedimentar de um tsunami). A seção caracterizada nesta mina assemelha-se a seções sedimentares clássicas que apresentam também o registro de tsunamis.

A camada D apresenta-se com pequena espessura e grande continuidade lateral ao longo da Bacia, com uma vez que é possível segui-la em direção norte por cerca de 30km, desde este geossítio até a área da Ponta do Funil.

Os tsunamitos apresentam as seguintes características estratigráficas e deposicionais encontradas na camada D.

- Abrupta base erosiva;
- Segue-se uma sucessão com estratificação gradacional com granodrecrescência ascendente, composta por fragmentos de conchas, silicilastos e abundantes fragmentos fosfatizados concentrados na base;
- Forte mistura e fragmentação de fósseis, derivados de diferentes paleobatimetrias, e retrabalhados de estratos mais antigos;
- Mistura de granulometrias muito distintas, indicando má seleção, variando desde areia fina até areia grossa e, mais raramente, seixos;
- Ocorrência de abundantes intraclastos e bioclastos que chegam a atingir 9 cm de diâmetro, predominando nas porções mais basais;
- Presença de material possivelmente derivado de impacto (esférulas e quartzo de impacto);
- Marcas de onda (ripples) de interferência imediatamente acima da camada D (presentes nas camadas E, F, G, H e I). Todas essas características estão evidenciadas no detalhamento apresentado no painel 3B;
- Grande continuidade da camada ao longo da Bacia (observação em pelo menos três pontos ao longo de 20 km; de sul para norte: Mina Poty, poço da Petrobras na Ilha de Itamaracá e Ponta do Funil).

Coluna Estratigráfica

Topo da Formação Gramame e base da Formação Maria Farinha - Limite K-Pg

Camadas M e N



Conspícuo contato de caráter erosivo entre as camadas M e N, indicando eventos de alta energia (provavelmente tempestades).

Camada L



Detalhes da camada L, com seu aspecto brechado (à esquerda) e abundantes fragmentos de gastrópodos (esquerda e direita).

Camada I



Raras depressões da camada I em depressões (formadas graças aos ripples) no topo da camada H.



Detalhe da seção entre as camadas E e I (a porta superior do martelo indica a camada I), com destaque para a alternância entre 3 níveis de margas (camadas mais escuras e delgadas, E, G e I), que englobam 2 níveis de mudstones (camadas mais claras e espessas, F e H). Essa delgada sucessão de alternância de camadas ocorre ao longo de toda extensão da mina com complexas estruturas de ripples de interferência. A espessura total da sucessão E a I é de cerca de 16 cm, sendo que na camada I em geral (com espessura de médio de 1 cm, ocorrem as anomalias de Irídio, Carbono Orgânico Total (COT) e Fluor.

CAMADA N

Similar a M / grãos mais grossos na base de N do que no topo de M. Destaca-se no relevo da exposição.

CAMADA M

Wackestone-packstone / apresenta similaridade com e alguns elementos observados em L / granodescendência ascendente / abundantes bioclastos (formando eventualmente coquina) / alguns fragmentos fosfatizados / fragmentos de gastrópodos (com até 7mm) / tubos de vermes (serpulídeos) / artrópodes / foraminíferos principalmente bentônicos / raros briozoários / pellets fosfatizados, eventualmente do artrópode *Calianassa*.

CAMADA L

Camada fortemente bioturbada, quase brechada / fragmentos de gastrópodos / foraminíferos / grãos fosfatizados e glauconitizados.

CAMADA K

Similar a J / bioturbação mais intensa / bioclastos com grãos de glauconita e raros grãos fosfatizados.

CAMADA J

Mudstone micrítico, aparentemente recristalizado / minúsculos foraminíferos planctônicos e bentônicos / equinodermas / raros calciferulídeos / pouca bioturbação. Pode ser subdividida em três devido a intercalações de filmes de argila (às vezes margas) mais contínuos.

CAMADA I

Mudstone margoso / Limite K-Pg definido por Albertão (1993) / ocorrências de esférulas / raros grãos de quartzo, possivelmente de impacto / foraminíferos planctônicos globigeriniformes e bentônicos / siliciclastos e fragmentos fosfatizados / anomalias de Ir, F e COT.

CAMADA H

Calcário recristalizado / mudstone / bioclastos raros, principalmente foraminíferos / ocorrência de esférulas / bioturbação - *Chondrites*, *Planolites*, tubos de vermes / E*, F*, G*, H* - alternância de mudstones com margas, em camadas finas com complexas estruturas de ripples de interferência, em toda a extensão da mina. A espessura total da sucessão E a I é de, no máximo, 20 cm.

CAMADA G

Margas / ocorrências de esférulas / foraminíferos planctônicos / equinodermas / fragmentos de tubos de vermes / menos siliciclastos e fragmentos fosfatizados do que em E.

CAMADA F

Similar à parte superior de D / mudstone-wackestone / ocorrências de esférulas.

CAMADA E

Margas contínuas / ocorrência de esférulas / foraminíferos bentônicos e planctônicos / equinodermas / fragmentos fosfatizados / siliciclastos.

CAMADA D

Ocorre contato lítico erosivo na base (da camada C para a camada D). Packstone gradando, em direção ao topo, para wackestone e, em seguida, mudstone (granodescendência ascendente) / bioturbação rara / ocorrência de esférulas / raros grãos de quartzo, com evidências de impacto / areias bio e siliciclastas grossas / fragmentos fosfatizados (parcialmente transformados em glauconita e pirita) de foraminíferos, gastrópodos, bivalvíos, tubos de vermes, equinodermas, dentes de tubarões e madeira (estes mais raros).

CAMADA C

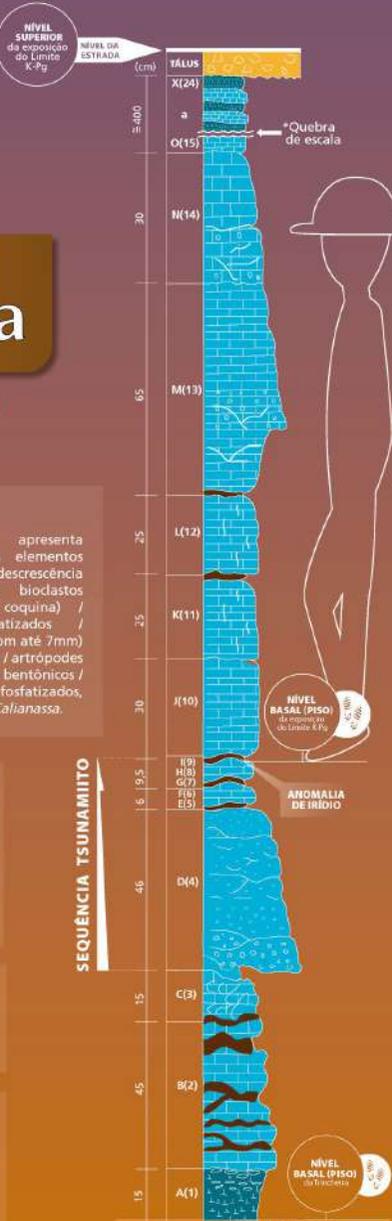
O mesmo que em B. Em C a litologia é mais margosa. São constatadas as ocorrências mais basais de esférulas e raros e minúsculos foraminíferos do Daniano / forte bioturbação (aspecto brechoid).

CAMADA B

Calcário nodular / wackestone - localmente packstone com forte bioturbação / maior proporção de foraminíferos planctônicos em relação aos bentônicos / *Hamulus*, equinodermas, ostracodes, calciferulídeos / fragmentos fosfatizados.

CAMADA A

Wackestone a packstone de composição "margosa" com planctônicos / grãos fosfatizados / fósseis / alguns *Hamulus* / bioturbação, principalmente *Thalassinoides* / bivalvíos, equinodermas e foraminíferos.



OBSERVAÇÃO:
As espessuras indicadas são as medidas na seção exposta; ao longo da mina, as camadas apresentam alguma variação em suas espessuras, variabilidade essa que é mais significativa nas camadas D e M.

Argila	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
Siltite	AM	Areia Média	
Marga argilosa ou níveis de argila			
Margas (bioturbação no topo) - camada A			
Wackestone/packstone eventualmente bioturbado			
Wackestone/packstone bioturbado e aspecto brechoid - camadas B e C			
Biomicroto, com componentes de transporte, camada D; Coquinas na base M			
Talus			

CAMADA H

Calcário recristalizado / mudstone / bioclastos raros, principalmente foraminíferos / ocorrência de esférulas / bioturbação - *Chondrites*, *Planolites*, tubos de vermes / E*, F*, G*, H* - alternância de mudstones com margas, em camadas finas com complexas estruturas de ripples de interferência, em toda a extensão da mina. A espessura total da sucessão E a I é de, no máximo, 20 cm.

CAMADA G

Margas / ocorrências de esférulas / foraminíferos planctônicos / equinodermas / fragmentos de tubos de vermes / menos siliciclastos e fragmentos fosfatizados do que em E.

CAMADA F

Similar à parte superior de D / mudstone-wackestone / ocorrências de esférulas.

CAMADA E

Margas contínuas / ocorrência de esférulas / foraminíferos bentônicos e planctônicos / equinodermas / fragmentos fosfatizados / siliciclastos.

CAMADA D

Ocorre contato lítico erosivo na base (da camada C para a camada D). Packstone gradando, em direção ao topo, para wackestone e, em seguida, mudstone (granodescendência ascendente) / bioturbação rara / ocorrência de esférulas / raros grãos de quartzo, com evidências de impacto / areias bio e siliciclastas grossas / fragmentos fosfatizados (parcialmente transformados em glauconita e pirita) de foraminíferos, gastrópodos, bivalvíos, tubos de vermes, equinodermas, dentes de tubarões e madeira (estes mais raros).

CAMADA C

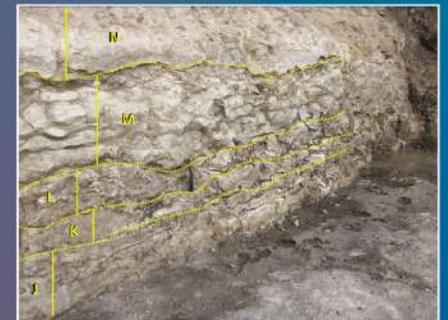
O mesmo que em B. Em C a litologia é mais margosa. São constatadas as ocorrências mais basais de esférulas e raros e minúsculos foraminíferos do Daniano / forte bioturbação (aspecto brechoid).

CAMADA B

Calcário nodular / wackestone - localmente packstone com forte bioturbação / maior proporção de foraminíferos planctônicos em relação aos bentônicos / *Hamulus*, equinodermas, ostracodes, calciferulídeos / fragmentos fosfatizados.

CAMADA A

Wackestone a packstone de composição "margosa" com planctônicos / grãos fosfatizados / fósseis / alguns *Hamulus* / bioturbação, principalmente *Thalassinoides* / bivalvíos, equinodermas e foraminíferos.



Sucessão das camadas J a N; representa a seção superior da sequência das camadas próximas ao Limite K-Pg.



Sucessão das camadas B a I, representa a seção exata da exposição do Limite K-Pg.

*No momento do registro da imagem a camada A estava encoberta.

Interpretação seção sedimentar

A seção geológica apresentada ao lado, e ilustrada nas fotos acima (em particular as camadas denominadas originalmente de B a N), mostra a sucessão sedimentar mais representativa da porção superior da Fm. Maria Farinha. Nesse intervalo está o registro sedimentar do Limite K-Pg.

Admite-se a seguinte interpretação para os eventos na parte central da seção:

- O topo da camada C é o registro final do Maastrichtiano Superior;
- As camadas D a I representam de fato as camadas-limite: a base da camada D marca o início do evento catastrófico proposto (o tsunami - ler texto a esse respeito no painel 3a), enquanto as camadas E a I são o registro do final desse evento;
- O topo da camada I e a base da camada J representam o início da sedimentação Daniana.

Geoconservação é conhecimento
Uma história escrita pela natureza

A vida é muito resistente!

Na história nada tranquila da Terra, foram vários capítulos devastadores, com poucos sobreviventes.

Desde o surgimento da vida, o planeta teve e tem constantes transformações, com alguns momentos críticos de grandes ajustes nas condições físico-químicas da Terra.

Isso é traduzido em grandes eventos globais que influenciaram diretamente os ambientes em que a biodiversidade se desenvolve. O Eon Fanerozóico, fase que iniciou alta diversidade da vida pluricelular, registrou cinco principais eventos de extinção em massa.

A 5 extinções em massa

1ª Ordoviciano-Siluriano foi a primeira do Fanerozóico, ocorrida há 443 milhões de anos. Estima-se que 60% das espécies foram extintas.

2ª No final do Devoniano há 359 milhões de anos, houve a segunda extinção em massa quando cerca de 70% das espécies teriam desaparecido.

3ª A terceira extinção, do Permiano-Triássico e conhecida como "a grande mortandade", ocorreu há 252 milhões de anos. Foi a mais severa de todas, sendo estimado o desaparecimento de 96% das espécies marinhas e 70% das terrestres.



4ª O quarto episódio de extinção foi na passagem Triássico-Jurássico, há 200 milhões de anos. Cerca de 70% das espécies teriam desaparecido. A extinção dos arcosauros e dos grandes anfíbios teria deixado terreno livre para a diversificação dos dinossauros.

5ª O EVENTO DO CRETÁCEO - PALEÓGENO (K-Pg)

Foi a última grande extinção em massa da Terra, ocorrida há 66 milhões de anos. É um dos episódios globais mais intensamente estudados pela comunidade científica, por ser relativamente mais novo que os demais episódios de extinção e estar mais bem preservado do ponto de vista do registro geológico.

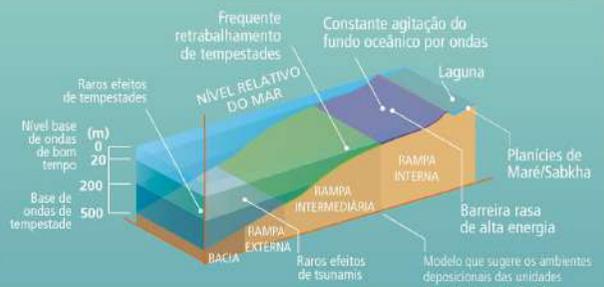
O evento eliminou um grande número de espécies, aproximadamente 75% da vida na Terra, incluindo organismos marinhos e terrestres, dentre eles os dinossauros.

Vários grupos de animais foram afetados nesse momento, tais como os foraminíferos, que perfazem, até o presente, um dos mais importantes grupos da microbiota marinha. Suas espécies foram quase todas extintas, com aparecimento de novas após o limite. Moluscos cefalópodes da ordem dos amonoides foram substituídos por nautilóides. Grandes répteis marinhos (*Mosasaurus*, *Globidens*, *Elasmosaurus*) também desapareceram. Nos continentes, dinossauros foram extintos, assim como diversos grupos de plantas.

Ambiente de sedimentação antes, durante e depois do Limite K-Pg

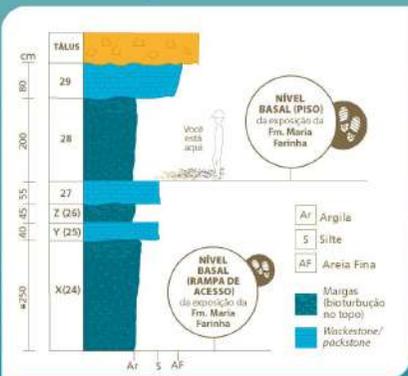
As primeiras incursões marinhas na área do NE brasileiro, representado pela costa pernambucana, em particular nessa porção conhecida como sub-Bacia Olinda, ocorreram ainda no Campaniano, e estão registradas nas camadas fossilíferas, que tiveram exploração comercial até os anos 70. No início do Maastrichtiano, o mar começou a invadir a área mais intensamente; a transgressão realizou-se rapidamente, sendo representada pelos calcários da Fm. Gramame. A área inundada agregou-se como parte da plataforma continental. Com o passar do tempo, iniciou-se a regressão marinha e a transição para o Cenozoico.

O mar recuou lentamente, tomando os depósitos cada vez mais clásticos, depositando então os sedimentos da Fm. Maria Farinha. A diminuição gradativa da razão foraminíferos planctônicos / bentônicos reforça as evidências da tendência de recuo do mar. Constatou-se ainda o contínuo aumento das espessuras e percentual de depósitos sedimentares siliciclásticos em direção ao topo da Fm. Maria Farinha, o que denota o progressivo incremento da influência continental nesses depósitos sedimentares. Essas características são francamente observadas no geossítio.



Modelo que sugere os ambientes deposicionais das unidades Gramame e Maria Farinha. Adaptado do modelo de rampa carbonática Burchette & Wright (1992) Op. cit. Barbosa (2004).

Formação Maria Farinha Coluna Estratigráfica



Camada X (24) - Marga, granulometria argila, com macrofósseis bivalvíos, gastrópodos, nautilóides, equinóides, crustáceos, tubos de verme e *Thalassinóide*.

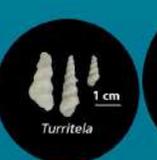
Camada Y (25) - *Wackestone-packstone*, granulometria silte, com macrofósseis bivalvíos e *Thalassinóide*.

Camada Z (26) - Marga, granulometria argila, com macrofósseis bivalvíos e gastrópodos.

Camada 27 - *Wackestone-packstone*, granulometria silte, com macrofósseis bivalvíos, gastrópodos, nautilóides, equinóides, tubos de verme e vertebrados (tartaruga e crocodilo).

Camada 28 - Marga, granulometria argila, com macrofósseis bivalvíos e crustáceos.

Camada 29 - *Wackestone-packstone*, granulometria areia fina, com macrofósseis bivalvíos, gastrópodos, equinóides, crustáceos, tubos de vermes e vertebrados (crocodilo).



Fontes: Ostracóide: Fauth et al. (2005); Foraminífero: Koutsoukos (1996); Macrofósseis: PALEOLAB – UFPE (2018).

DIVERSIDADE DE VIDA NA FORMAÇÃO MARIA FARINHA

Os afloramentos deste geossítio registram a recuperação da vida de forma gradativa; as primeiras camadas calcárias no Paleoceno ou são estereis ou apresentam pouca riqueza em fósseis. A microbiota de foraminíferos está caracterizada pela continuidade da *Gumbeliferina cretacea* e pelo aparecimento de espécies de distribuição global como *Eoglobigerina eobulioides*, entre outras. Abundante registro de plantas está representado por esporos e grãos de pólen como *Proxapertites curvus*, da família das palmeiras.

A fauna de vertebrados é dominada por peixes ósseos e cartilagineos (tubarões e raias) e répteis (crocodilos e tartarugas) que sobreviveram à extinção. A fauna de invertebrados é composta por bivalvíos, gastrópodos, cefalópodes (nautilóides), crustáceos equinodermas e corais.

RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DO PALEÓGENO INFERIOR, ILUSTRANDO FORMAS DE VIDA JÁ REGISTRADAS



Vertebrados da Formação Maria Farinha

- 1) *Enchodus* sp.
- 2) *Albulidae* indet.
- 3) *Quelonia* indet.
- 4) e 5) Crocodylomorfos
- 6) *Mylobatis* sp.
- 7) *Rhinoptera* sp.
- 8) *Hexanchus* sp.
- 9) Peixes da família Seranidae
- 10) *Cretolamna* sp.
- 11) A palmeira *Mipa pernambucensis*

Fonte: Marcia Cristina Silva, 167p. Dissertação de mestrado, UFPE.

Mineração, geodiversidade e descobertas científicas

A disseminação do conhecimento sobre os diversos valores da geodiversidade (econômico, estético, cultural e científico) são imprescindíveis para a manutenção e evolução da qualidade de vida da sociedade atual. As atividades de mineração possibilitam a exposição de relevantes conteúdos da geodiversidade, fornecendo dados que são vitais para estudos técnicos, pesquisas científicas e educação em geologia. Felizmente, pré-conceitos de impactos negativos, produzidos pelo setor da indústria mineral extrativa, diminuíram significativamente. Nos tempos atuais, são frequentes os relatos de importantes descobertas científicas em locais de mineração ativa, relacionadas, por exemplo, aos campos de conhecimento da paleontologia, da sedimentologia e paleoambiental, como é justamente o caso descrito neste geossítio K-Pg Mina Poty.

Em 2008 foi divulgada a descoberta, na área de mineração Poty, um crânio completo, vértebras e osteodermas de crocodiliforme marinho, que sobreviveu a extinção K-Pg. A espécie *Guarinisuchus munizi*, "crocodilo guerreiro", viveu na costa do Nordeste brasileiro há cerca de 62 milhões de anos.

Crocodilo *Guarinisuchus munizi*



Ilustração: André E. Piacentini Pinheiro.

Em 2016, parte da carapaça (plastrão) e outros ossos da tartaruga *Inaechelys pernambucensis*, "raimão do mar de Pernambuco", foram encontrados em rochas da mineração VC Poty. Essa espécie vivia em áreas próximas à costa, também há cerca de 62 milhões de anos.

Tartaruga *Inaechelys pernambucensis*



Ilustração: Julio Lacerda.

Geossítio K-Pg Mina Poty: Benefícios para a sociedade e sustentabilidade na prática!

A implementação da estratégia de geoconservação no geossítio K-Pg Mina Poty proporciona a estudantes e pesquisadores desfrutar de uma nova experiência que favorece o princípio do desenvolvimento sustentável, onde o desenvolvimento econômico prevê o aproveitamento, de modo racional, dos serviços da natureza que melhor respondem às necessidades das atuais e futuras gerações. E assim, a humanidade segue escrevendo os próximos capítulos da história da Terra e da Vida.