

# Caracterização do fosforito uranífero no furo 1-IG-03-PE, sub-bacia Olinda, em Igarassu (PE)

Ebenézer Moreno de Souza<sup>1,2</sup>  
Emerson Emiliano G. Farias<sup>1</sup>  
Luana Lídia Silva Santos<sup>1</sup>  
Virgínio Henrique Neumann<sup>2</sup>  
Mário Ferreira de Lima Filho<sup>2</sup>  
Crescêncio Andrade Silva Filho<sup>1</sup>  
Alexsandro Francisco do Nascimento<sup>1</sup>  
Elvis Joacir de França<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN  
Centro Regional de Ciências Nucleares do  
Nordeste - CRCN  
Avenida Prof. Luiz Freire, 200  
Cidade Universitária  
50740540 - Recife, PE – Brasil

emsouza@cnen.gov.br  
emersonemiliano@yahoo.com.br  
llidia.silva@hotmail.com  
candrade@cnen.gov.br  
anascimento@cnen.gov.br  
ejfranca@cnen.gov.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Geologia  
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 5º andar CTG  
Várzea Recife PE Brasil  
CEP: 50.740-530  
neumann@ufpe.br  
miff@ufpe.br

## RESUMO

A Sub-bacia Olinda localiza-se na faixa costeira pernambucana a norte de Recife, e corresponde ao segmento sul da Bacia da Paraíba. Por toda região entre Olinda e Goiana é reconhecida uma camada de fosforito-uranífero considerada como uma seção condensada da bacia. A camada fosforítica ocorre em sub-superfície numa faixa meridiana entre as cidades anteriormente citadas e com uma largura média em torno de 4,0 km. Ao longo das décadas de 1960-1980, vários furos de sondagens foram perfurados na área visando o estudo do fosfato, dentre eles, o furo 1-IG-03-PE, em Igarassu, alvo do estudo deste trabalho. No intervalo mineralizado do furo em tela, foram selecionadas cinco amostras para estudos radiogeoquímicos nos laboratórios do Serviço de Análises Ambientais-SEAMB do Centro Regional de Ciências Nucleares-CRCN. As amostras de fosforito-uranífero foram analisadas através da Espectrometria por Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva-EFRX-ED, Espectrometria Gama de Alta Resolução-EGAR e por Espectrometria de Absorção Atômica-AAS. Utilizou-se ainda a Análise Termogravimétrica-ATG, para a determinação da Matéria Orgânica e do Dióxido de Carbono-CO<sub>2</sub>. As amostras analisadas mostraram que as concentrações mais elevadas em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, estão situadas na metade superior da camada mineralizada, enquanto que a matéria orgânica se concentra na porção intermediária do intervalo mineralizado. Há um aumento nos teores de Mg na base, que é inversamente proporcional aos de Ca, confirmando que a deposição do fosforito, teve seu início em águas rasas e quentes. Após a caracterização do fosforito-uranífero no furo estudado, serão realizados procedimentos similares em outros furos da seção estratigráfica mais distal (E) da Sub-bacia Olinda, que possibilitem fazer a correlação entre os teores radiométricos e geoquímicos da camada fósforo-uranífera da bacia, na costa norte de Pernambuco.

**Palavras-chave:** Bacia Paraíba, fosforito-uranífero, geoquímica

## ABSTRACT

The Olinda Sub-basin is located in Pernambuco coastal area north of Recife City, and corresponds to the south segment of the Paraíba basin. Throughout the region between Olinda and Goiana cities is recognized a phosphorite-uraniferous layer considered as a condensed section of the basin. The layer with a high phosphate-uranium content occurs in the sub-surface within an area between the cities previously mentioned and with an average width around 4.0 km. Over the decades of 1960-1980, various surveys were drilled holes in the area aimed at the study of phosphate, among them, the hole 1-IG-03-PE, in Igarassu, objective of the study of this work. In the mineralized interval in hole 1-IG-03-PE, five samples were selected for radiochemistry studies in the laboratories of Environmental Analyses-SEAMB service of the Regional Center of Nuclear Sciences CRCN. Phosphorite-uraniferous samples were analyzed by x-ray Fluorescence Spectrometry for Dispersive Energy-EFRX-ED, High-Resolution Gamma-Spectrometry - EGAR and Atomic-Absorption Spectrometry AAS. Thermogravimetric Analysis-ATG

has been also used for the determination of Organic Matter and Carbon Dioxide-CO<sub>2</sub>. The analyzed samples have been shown that the highest concentrations in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, are located in the upper half part of the mineralized layer while organic matter is concentrated in the intermediate part of the mineralized interval. There is an increase in the Mg contents at the base that is opposite to that of Ca contents, confirming that the phosphorite deposition has occurred in shallow, warm water. Similar characterization will be to carried out in other holes of the most distal stratigraphic section (E) of the Olinda Sub-basin, which will allow the correlation between the radiometric and geochemistry levels of the layer rich in phosphate-uranium of the basin on the North coast of Pernambuco.

**Keywords:** Paraíba Basin, phosphorite-uraniferous layer, geochemistry

## 1. Introdução

Trabalhos recentes mostraram que o fosforito da Bacia da Paraíba, nordeste do Brasil, representa o “*hardground*” decorrente da “Superfície de Inundação Máxima-SIM”, que à luz da Estratigrafia de Sequências está posicionado no topo da Formação Itamaracá, encerrando o Trato de Sistema Transgressivo – TST da bacia (Souza, 2006; Córdoba *et al.*, 2007).

Este trabalho tem como objetivo contribuir com ideias novas sobre o conteúdo uranífero associado ao fosfato na bacia da Paraíba. A ideia do nível fosfático ser tratado como uma superfície de inundação máxima não é o objetivo do mesmo. As ideias deste trabalho estão de acordo com a Carta Estratigráfica da Bacia de Pernambuco-Paraíba, que foi sugerida por Córdoba *et al.* (2007). Esses autores quando abordam a Sequência K88-K130 da SUPERSEQUÊNCIA DRIFTE, na página 396, fazem os seguintes comentários abaixo.

*“A Curva Global de Variação Eustática do Nível do Mar (Haq et al. 1988) revela uma tendência regressiva desse intervalo, a partir do Turoniano superior. Apesar disso, na Bacia de Pernambuco-Paraíba, esta mudança se deu de forma mais sutil e gradual. O padrão fortemente transgressivo que prevaleceu na seqüência anterior provavelmente se manteve até o Campaniano superior, culminando em um pico máximo expresso por um nível fosfático. A partir daí o padrão transgressivo cedeu lugar*

*a um padrão agradacional. A imposição, no entanto, de uma tendência fortemente regressiva ocorreu apenas no final do Cretáceo.”*

Com base nesses e em outros autores que também trabalharam e contribuíram com pesquisas na referida bacia (Lima Filho e Souza, 2001; Barbosa *et al.*, 2004), sugere-se que a sequência fosfática estudada nesse trabalho representa uma superfície de inundação máxima (SIM), encerrando o trato transgressivo da bacia.

O poço estudado 1-IG-03-PE (IG-03) localiza-se na “Seção Estratigráfica Igarassu” (Fonseca Neto, 1979), e dista cerca de 3,0 km em linha reta, a leste da sede do distrito de Cruz de Rebouças (Igarassu-PE), tendo as seguintes coordenadas UTM: 9.130.000 mN e 292.900 mE (Figura 1), ocupando a segunda porção mais distal da Sub-bacia Olinda, na faixa costeira pernambucana.

As amostras foram coletadas no intervalo mineralizado do poço 1-IG-03-PE, para caracterização radiométrica e geoquímica do fosforito-uranífero, através da detecção dos elementos presentes e os teores de fósforo e urânio encontrados. A mineralização fósforo-uranífera no furo considerado corresponde ao intervalo entre 31,0 m e 38,0 m, que foi depositado na bacia estudada durante os eventos que culminaram com a deriva continental entre América do Sul e África e a completa circulação do oceano Atlântico, no final do Cretáceo.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Coletas das amostras

No intervalo fosforítico do poço 1-IG-03-PE foram coletadas cinco amostras ao longo do intervalo mineralizado de sete metros

da camada no poço considerado, distribuídos a cada 0,50 m nas seguintes profundidades: 34,50m, 35,00m, 35,50m, 36,00m e 36,50m. A

primeira e a última amostra estão próximas do topo e da base da camada fosforítica, respectivamente, e foram coletadas para observar a influência recebida pelo fosforito durante a deposição em relação às litologias adjacentes. As três amostras intermediárias

foram coletadas para caracterizar a radiometria e a geoquímica da camada fosforítica de Litofácies Fosforítica (Souza, 2006), que é muito rica em elementos fosfáticos e fósseis, notadamente, moldes de foraminíferos, e com elevados teores de  $P_2O_5$  e  $U_3O_8$ .

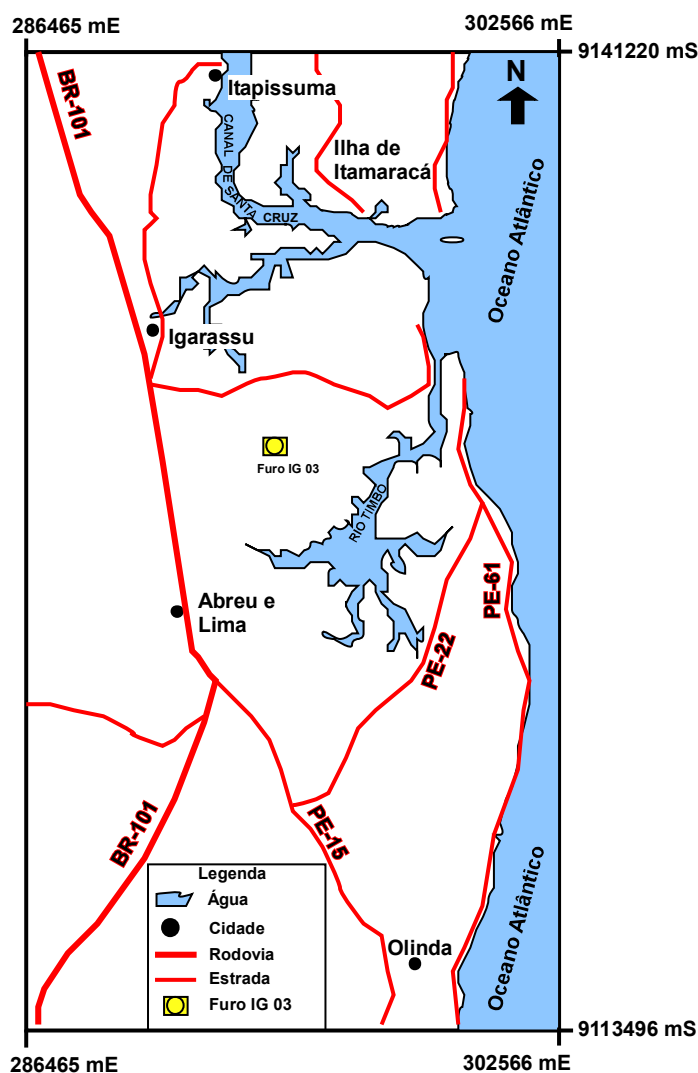


Figura 1  
Localização do poço 1-IG-03-PE no Distrito de Cruz de Rebouças, litoral norte de Pernambuco.

## 2.2. Caracterização Radiométrica (EGAR)

Na preparação das amostras para análises por espectrômetros EFRX-ED, EGAR e AAS-AC, primeiramente, cada amostra foi triturada com almofariz e pistilo até a obtenção de granulação menor que 2 mm, e depois colocadas em sacos plásticos com fecho zíper e identificadas de acordo com as profundidades.

Para a determinação das concentrações dos radionuclídeos da série do  $^{238}U$ , foram pesadas cerca de 15 g em recipientes cilíndricos os quais foram hermeticamente

vedados por 21 dias até que fosse atingido o equilíbrio radioativo entre o  $^{226}Ra$  e seus descendentes de meia-vida curta. As análises foram realizadas no Espectrômetro Gama de Alta Resolução (EGAR), com 40 % de pureza do cristal e 2,4 keV de resolução (FWHM), modelo GC 4019, fabricado pela CANBERRA e com sistema digital de ampliação de sinal DAS 1000, também produzido pela CANBERRA.

Antes das análises serem realizadas, foram feitas as calibrações do equipamento em energia e em eficiência. Para tal calibração foi utilizado um padrão de referência com geometria de análise semelhante as das amostras. Esse padrão foi feito dopando o material com fontes líquidas de atividades conhecidas, como  $^{152}\text{Eu}$  (Isótopo do európio com massa atômica 152),  $^{241}\text{Am}$  (isótopo do amerício com massa atômica 241),  $^{133}\text{Ba}$  (isótopo do bário com massa atômica 133) e  $^{137}\text{Cs}$  (isótopo do cério com massa atômica 137). A seleção das linhas de emissão gama utilizada na EGAR foi realizada com o

material de referência NIST-694, produzido pela *National Institute of Standards and Technology*.

A determinação da concentração de atividade do  $^{238}\text{U}$  foi realizada através do equilíbrio radioativo apresentado com os radionuclídeos filhos  $^{214}\text{Pb}$  e  $^{214}\text{Bi}$ . Para o  $^{214}\text{Pb}$  foram utilizados os resultados com energias de 295,22 keV e 351,93 keV, com probabilidade de emissão de 18,42 % e 35,60 %, respectivamente. Para o  $^{214}\text{Bi}$  utilizou-se as atividades com energias de 609,22 keV e 1120,29 keV, com probabilidade de emissão de 45,49 % e 14,92 %, respectivamente.

### 2.3. Caracterização geoquímica das amostras

#### 2.3.1. Determinação dos elementos por EFRX-ED

Para as análises das amostras no Espectrômetro de Fluorescência de Raio-X por Energia Dispersiva - EFRX-ED, cada amostra foi homogeneizada e delas retiradas cerca de 2 g com uma colher de plástico e colocadas em recipiente específico para o método sendo vedados com filme de polipropileno, na base e no topo dos mesmos. As amostras foram analisadas no espectro da fluorescência de raios-X, do equipamento modelo EDX – 720, produzido pela SHIMATZU, onde os raios-X são aplicados diretamente sobre a superfície do material, o qual determina quantitativamente

os elementos químicos presentes em determinada amostra. Essa é uma técnica não destrutiva, onde a amostra após a análise encontra-se intacta, sendo, por isso, uma técnica bastante vantajosa na determinação dos elementos presentes e pronta para uma nova análise caso seja necessário. Para cada resultado a análise da amostra foi realizada em triplicatas e os valores foram validados utilizando um material de referência (Montana I Soil 2710), o qual foi utilizado para calcular o erro relativo dos resultados obtidos no EFRX-ED com relação ao valor de referência.

#### 2.3.2. Análise por Espectrometria de Absorção Atômica-EAA

Para análise do fósforo e do sódio foi utilizado o Espectrômetro de Absorção Atômica – EAA, pois o EFRX-ED não possuía curva de calibração para o fósforo (P), e no caso do sódio, a massa atômica está abaixo do limite da região do espectro que o aparelho pode determinar.

Para a produção das soluções utilizadas nas determinações do elemento químico fósforo por EAA foram pesadas 0,5 g de cada amostra e em seguida realizada a digestão das amostras e do material de referência de acordo com o procedimento USEPA, método 3051-A, com algumas modificações. O método seguiu o seguinte roteiro: a) Pesou-se aproximadamente 0,5 g de cada amostra; b) as amostras já nos tubos e devidamente identificados, foram adicionados cerca de 9,0 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e 3,0 mL de ácido clorídrico (HCl), de acordo

com o método alternativo da USEPA; c) A solução produzida foi levada ao micro-ondas durante cerca de 25 minutos; e) Em seguida filtrou-se a amostra com papel filtro faixa azul, sendo adicionados 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) a 2 % para dissolver as partículas sólidas restantes contidas no papel filtro; f) As soluções filtradas foram pesadas e levadas para EAA. As especificações do forno de micro-ondas são as seguintes: Potência de 1.200 W; Rampa de Temperatura: 5 minutos para chegar a 165°C; depois de 3 minutos chega a 175°C; e, permanecendo nessa temperatura por mais 5 minutos.

O Sódio (Na) também foi determinado no Espectrômetro de Absorção Atômica-EAA, pois no EDXRF o sódio ficou abaixo do limite de detecção. As soluções amostra utilizada para essa análise foi a mesma utilizada na determinação do fósforo.

## 2.4. Determinação da Matéria Orgânica

A determinação do teor da matéria orgânica (MO) foi realizada através do método gravimétrico (Termogravimétrica-ATG). Pesou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em cadinhos e deixou-se para secar

durante 24 horas em uma Mufla na temperatura de 500°C. Esse procedimento foi realizado em triplicata. Os resultados foram subtraídos à umidade.

## 3. Resultados

Na Tabela 1 são mostrados as concentrações dos elementos encontrados nas análises químicas do fosforito uranífero.

Tabela 1 - Resultados das análises elementares e radiométricas nas amostras de fosforito uranífero amostrado em testemunho (Furo IG-03) coletado no município de Igarassu, Pernambuco.

	Profundidade (m)				
	34,5	35	35,5	36	36,5
Si(mg.kg <sup>-1</sup> )	123089 ± 289	134452 ± 342	137947 ± 211	138213 ± 558	132247 ± 585
Al (mg.kg <sup>-1</sup> )	5923 ± 55	11160 ± 146	16332 ± 574	11674 ± 369	3763 ± 884
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	9510 ± 23	10709 ± 23	10579 ± 14	10460 ± 23	9387 ± 14
Ti (mg.kg <sup>-1</sup> )	1586 ± 59	1771 ± 17	1733 ± 25	1707 ± 46	1604 ± 37
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	8863 ± 176	9587 ± 88	9946 ± 36	8975 ± 76	7539 ± 75
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	411801 ± 275	269711 ± 299	258957 ± 157	259744 ± 356	278150 ± 455
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	10287 ± 2192	53084 ± 1610	60685 ± 330	58590 ± 2153	66052 ± 1064
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	107 ± 22	100 ± 3	95 ± 19	103 ± 11	83 ± 17
Rb (mg.kg <sup>-1</sup> )	12 ± 1	19 ± 1	16 ± 1	15 ± 1	14 ± 2
Sr (mg.kg <sup>-1</sup> )	29 ± 2	154 ± 3	151 ± 1	158 ± 1	168 ± 1
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	57 ± 3	47 ± 3	30 ± 2	37 ± 2	24 ± 1
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	21000 ± 4000	10000 ± 2000	13500 ± 900	19000 ± 2000	17000 ± 3000
U (Bq.kg <sup>-1</sup> )	570 ± 70	540 ± 70	400 ± 60	400 ± 60	360 ± 50
Na (mg.kg <sup>-1</sup> )	300 ± 40	230 ± 40	250 ± 40	280 ± 50	220 ± 40

Todos os resultados dos elementos foram convertidos em óxidos, como mostra a Tabela 2, com a finalidade de facilitar a comparação com outras análises químicas do fosforito da Sub-bacia Olinda, encontradas na literatura.

Os valores radiométricos do perfil gama do poço 1-IG-03-PE (Fonseca Neto, 1979; Souza, 2006), variaram entre 170 cps (Am-60) no topo do intervalo mineralizado, até 100 cps (Am - 64), na base, indicando que existe um aumento do teor do urânio da base para o topo da camada fósforo-uranífera fato verificado com o resultado obtido neste trabalho (Figura 2).

Pode-se observar que na Tabela 1 os valores de fósforo, urânio, cálcio, estrôncio, zinco e manganês são os mais elevados, em oposição a sílica, titânio, magnésio e rubídio

com baixos valores no intervalo amostrado, permitindo deduzir, *a priori*, um ambiente mais influência marinha do que continental.

Como os maiores valores em termos de teores de U e P estão bem representados nos picos de radiometria do poço e nos valores analisados na Am-60, então, eles foram tomados como referência para mostrar a razão, em termos de percentagens, com relação às demais amostras e expressas Tabela 1.

De acordo com as Tabelas 1 e 2, cálcio e estrôncio apresentam uma correlação positiva, tendo em vista a afinidade química entre ambos, mostrando os menores valores na amostra Am-63 e os maiores valores na amostra Am-60, ou seja no topo da camada mineralizada e, portanto, próximo do contato com os carbonatos, ou ainda, de acordo com a estratigrafia de sequências, já nos estertores do

Tabela 2 – Concentrações dos Óxidos no intervalo com o Fosforítico Uranífero no Poço 1 – IG – 03 – PE, em Igarassu.

Oxidos (%)	Profundidades				
	Am - 60 34,5 m	Am - 61 35,0 m	Am - 62 35,5 m	Am - 63 36,0 m	Am - 64 36,5 m
SiO <sub>2</sub>	26,33	28,76	29,51	29,57	28,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,24	4,22	6,20	4,41	1,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,72	3,10	3,03	2,99	2,68
TiO <sub>2</sub>	0,26	0,29	0,30	0,28	0,27
Na <sub>2</sub> O	0,09	0,07	0,07	0,08	0,09
K <sub>2</sub> O	2,13	2,31	2,40	2,16	2,82
CaO	57,62	37,74	36,23	36,34	28,92
MgO	1,76	8,80	10,10	9,72	10,95
MnO	0,014	0,013	0,012	0,013	0,011
Rb <sub>2</sub> O	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003
SrO	0,035	0,018	0,018	0,019	0,020
ZnO	0,007	0,006	0,004	0,005	0,003
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,31	9,62	12,39	17,51	15,67
U <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	0,016	0,015	0,011	0,011	0,010
MO	1,15	2,12	2,23	2,25	1,57
Classificação Petrográfica	Biomicro Doloeparito Fosfático	Biomicro Doloeparito Fosfático	Doloeparito Fosfático	Doloeparito Fosfático	Arenito Doloeparito Fosfático

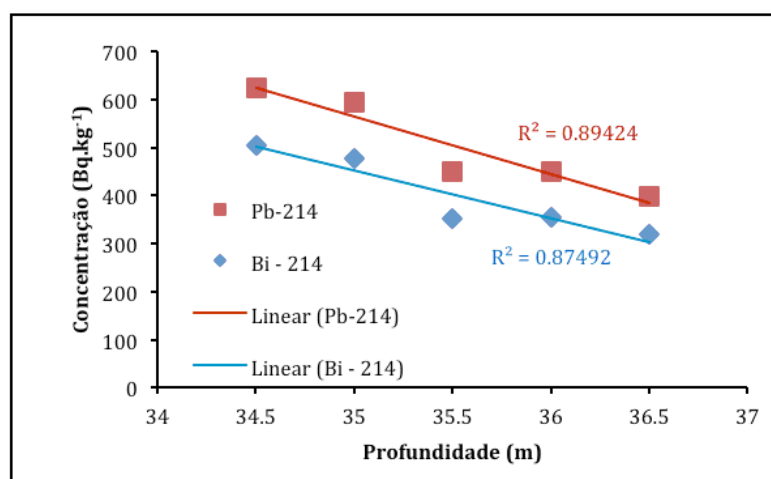


Figura 2

Distribuição dos teores radiométricos no intervalo mineralizado, sendo mais alto no topo que na base.

Por sua vez, magnésio, apesar da sua afinidade com cálcio, apresenta uma correlação negativa com o mesmo, com maior teor na amostra (Am-64), ou seja, na base da camada, e menor teor na (Am-60), no topo. Isto confirma que a paleogeografia da bacia na época do início da deposição da camada, o mar era raso e com águas quentes possibilitando a precipitação do magnésio (Tinoco, 1978; Mabesoone, 1988; Souza, 2006).

Elementos tipicamente continentais como sílica, alumínio e potássio apresentam valores modestos, o que era de se esperar em um ambiente transicional, com água salobra,

como atestam os macro e microfósseis encontrados (Tinoco & Siqueira, 1976; Mabesoone *et al.*, 1991; Souza, 2006). Sódio apresenta os maiores valores tanto no topo quanto na base, mas como ele ocorre nos minerais tanto no ambiente marinho quanto no continental só podemos fazer ilações quanto à sua presença nos arenitos calcíferos (Formação Itamaracá) do contato com a base da camada fosforítica e nas margas carbonáticas do topo, pertencentes à Formação Gramame.

A matéria orgânica apresenta seus maiores valores nas amostras intermediárias da camada fosforítica (Am-61, Am-62 e Am-63),

indicando maior mortalidade dos micro-organismos no terço médio da camada. O ambiente salobro favoreceu a morte dos organismos que chegaram à superfície por ressurgência das águas profundas, e se espalharam sobre uma extensa plataforma rasa e de águas quentes. Essa barreira topoquímica favoreceu a deposição do urânio e do fosfato

#### 4. Discussão

##### 4.1. Análise Comparativa das Amostras

A seguir serão discutidos os resultados das análises nas amostras do poço IG-03-PE, comparando o significado de cada uma em relação à profundidade, paleogeografia e estratigrafia da bacia.

Amostra Am-60 – Esta amostra foi coletada na profundidade 34,5 m, e representa o topo do intervalo fósforo-uranífero do poço IG-03-PE, meio metro abaixo do contato com os carbonatos sobrepostos (Figura 3). Observa-se que as concentrações de Cálcio (Tabela 1) e do Óxido de Cálcio (Tabela 2) são elevadas, provavelmente indicando que a subsidência da bacia estaria aumentando e a mesma estaria passando para o domínio marinho com a deposição dos carbonatos da Formação Gramame (Trato de Mar Alto).

Corroborando essa hipótese, ou seja, do aumento da lâmina d'água, observa-se que magnésio, sempre associado com cálcio, apresenta valores muito baixos, os menores do intervalo mineralizado, refletindo ambiente de mar mais profundo, uma vez que o magnésio é dominante sob condições de águas rasas (< 100 m) e quentes, tais como se encontra no início de uma transgressão (Am-64).

Os valores de estrôncio e zinco também estão elevados e, primeiro, pode estar associado ao cálcio por afinidade química, e o segundo, por acumulação, aprisionado nos micro-organismos. Por sua vez, fósforo e urânio apresentam seus maiores valores nesta amostra, indicando que o terço superior do intervalo mineralizado está enriquecido nestes dois elementos, e que os mesmos são sin-sedimentares no topo da camada. Como era de se esperar, os elementos de origem continental apresentam os menores valores nesta amostra.

Amostra Am-61 – A amostra corresponde a uma profundidade de 35,0m (Vide Figura 3) e, portanto, com deposição anterior a amostra do topo da camada fosforítica (Am-60). Observa-se um crescimento dos valores do magnésio,

no interior dos organismos/micro-organismos (Souza, 2006). Urânio e fósforo não apresentam uma correlação positiva como era de se esperar, por todo intervalo mineralizado. O urânio e fósforo estão em correlação positiva da porção mediana até o topo, uma vez que no terço inferior da camada esta correlação não ocorre no poço 1-IG-03-PE.

provavelmente, indicando uma coluna d'água mais rasa sobre a plataforma e também com temperaturas mais quentes. Corroborando essa ideia, o cálcio apresenta valores em torno da metade da amostra anterior (Am-60). Em contrapartida, ocorre um crescimento da matéria orgânica, compreendendo uma grande contribuição dos micro-organismos na fixação do fosfato, zinco, estrôncio e urânio no sedimento.

Amostra Am-62 – Esta amostra está posicionada na porção mediana do intervalo mineralizado, ocorrendo na profundidade de 35,5 m (Vide Figura 3). Sílica, alumínio, potássio, ferro e titânio apresentam valores mais elevados em relação as demais amostras, provavelmente, indicando uma parada na transgressão ou uma contribuição continental devido a pequena regressão. O teor de magnésio é bastante elevado indicando ambiente raso na bacia, também confirmado pela diminuição de cálcio. Urânio e fósforo apresentam valores medianos em relação as amostras anteriores, porém a matéria orgânica apresenta valores mais elevados do poço, confirmando a presença de muitos fósseis nessa porção mediana do intervalo mineralizado.

Amostra Am-63 – A amostra apresenta diminuição de teores dos elementos tipicamente terrígenos, porém, mantém cálcio e magnésio em concentrações médias em relação às demais amostras, mas é relativamente rica em urânio e bem elevada em fósforo e matéria orgânica. O ambiente transicional, constituído de muitos micro-organismos planctônicos e bentônicos (Souza & Lima Filho, 2002; Fonseca Neto, 1979) e de nutrientes, é indicativo de alta concentração de matéria orgânica, a mais alta do intervalo. Zinco, cálcio, magnésio e estrôncio estão com valores elevados em relação às amostras anteriores, de ambiente mais raso na época da sedimentação do fosforito.

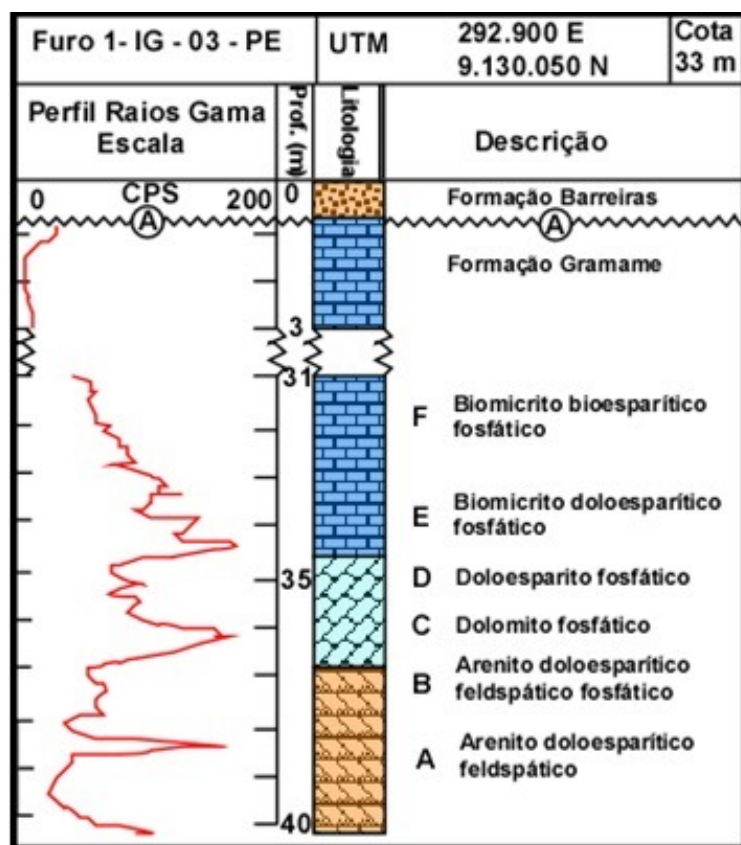


Figura 3 Radiometria no intervalo mineralizado do furo 1-IG-03-PE onde foram coletadas as amostras Am-60 (34,50 m) até Am-64 (36,50 m).

Amostra Am-64 – Esta amostra ocorre na profundidade de 36,5 metros, próxima à base do fosforito, acima de meio metro do contato com os arenitos calcíferos sotopostos. O fósforo mostra o terceiro teor mais elevado e o urânio o valor mais baixo no intervalo mineralizado, o mesmo acontecendo com a matéria orgânica, e mostrando que no terço inferior os dois elementos, P e U, não são sincrônicos na deposição. Por sua vez, o magnésio apresenta o maior valor e o cálcio o segundo maior, refletido a presença de águas

rasas sobre uma extensa praia (arenitos calcíferos Itamaracá) e valores medianos de sílica, potássio e Fe, confirmando a contribuição terrígena do arenito inferior à camada fosfática. No perfil gama do poço 1-IG-03-PE, os maiores valores radiométricos encontram-se nas profundidades entre 34,5 e 35,0 metros e o fosforito está com valores altos nas profundidades 43,5 (topo do intervalo mineralizado) e em 36,0 e 36,5 metros, na base do intervalo.

#### 4.2. Interpretação

O intervalo mineralizado fósforo-uranífero do poço 1-IG-03-PE tem aproximadamente sete metros entre o contato com os carbonatos da Formação Gramame, no topo, e os arenitos calcíferos da Formação Itamaracá, na base. A amostragem foi realizada na fração mais rica em fosfato e urânio, bem reconhecido no poço estudado, mais precisamente entre 34,5m – 36,5m, num total de cinco (5) amostras com intervalo de meio metro entre elas.

Os maiores picos do urânio, em torno de 170 cps, no perfil de raios gama do furo

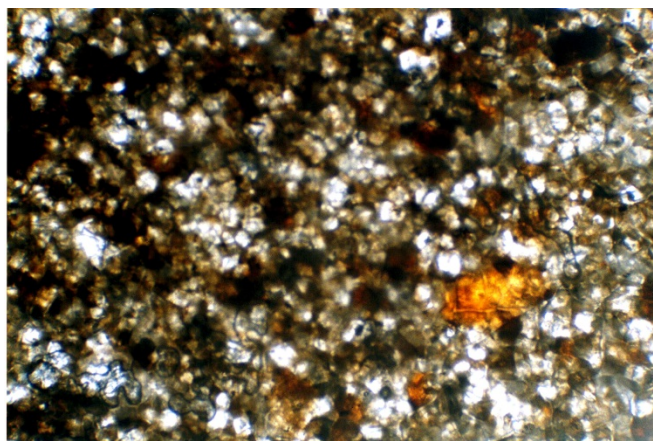
estão entre os 34 – 35 metros (Vide Figura 3), confirmados nas análises realizadas no EDXRF (Tabela 1). Cálcio aumenta muito seu teor na amostra Am-60 e relação as demais amostras (mais profundas), indicando que o intervalo mineralizado está próximo do topo, no contato com os carbonatos (biomicros e bioesparitos fosfáticos).

O aumento do teor magnésio na base, sendo inversamente ao cálcio, com “dolomitos fosfáticos” (Souza, 2006; Fonseca Neto, 1979), confirma que a deposição do fosforito iniciou em águas rasas e quentes (Souza, 2006;



Mabessone, 1991), como também indicado pela presença de cristais losangulares

(neoformados) de dolomita, e ilustrado na fotomicrografia da Figura 4.

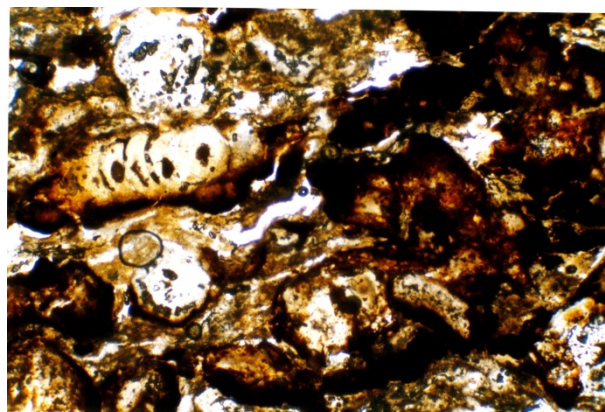


**Figura 4**

Fotomicrografia do fosforito arenoso no contato com o arenito calcífero Itamaracá no poço 1-IG-03-PE, mostrando grãos de quartzo, feldspato, calcita espática, dolomita em cristais neoformados losangulares, material amorfo, e fosforito. Aumento 4x N II.

A matéria orgânica apresenta os maiores valores entre 35-36 metros, coincidindo com o aumento de fosfato ( $P_2O_5$ ) e dos micro-organismos (microfósseis), identificados como foraminíferos bentônicos e

planctônicos (Tinôco, 1978; Fonseca Neto, 1979), e verificados em microscopia realizada por Souza (2006), como mostra a fotomicrografia abaixo (Figura 5).



**Figura 5**

Fotomicrografia do fosforito no poço 1-IG-03-PE mostrando um agregado de microfósseis com moldes internos preenchidos por material fosfático substituindo a matéria orgânica.

Na base da camada fosforítica observa-se que os teores dos terrígenos sílica, ferro, potássico e sódio são mais elevados que os de alumínio, diferente do que ocorre na fração intermediária da camada, permitindo inferir que o “arenito doloespático feldspático” sotoposto ao fosforito poderia ser derivado de fonte mais rica em feldspato calco-sódico.

Na fração intermediária da camada, os valores relativamente proporcionais dos elementos parecem indicar contribuições

terrígena-marinha intercaladas na sedimentação, confirmando o ambiente transicional do fosforito, ou do Trato de Sistema Transicional (Souza, 2006; Souza & Lima Filho, 2005).

Os teores de  $P_2O_5$  são mais elevados na base (Am-63 e Am-64) e no topo (Am-60), enquanto  $U_3O_8$  tem teores elevados no topo (Am-60 e Am-61), levando a inferir que a correlação positiva entre ambos não ocorre em todo intervalo mineralizado. A deposição de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no fosforito está associada com a ressurgência de águas frias do fundo marinho, espalhada sobre uma plataforma rasa e quente, onde devido a essa barreira topogeoquímica fez morrer os micro-organismos e a matéria orgânica aprisiona o fosfato, enquanto o urânio parece entrar na bacia como contribuição continental, a partir da porção intermediária até o topo do intervalo mineralizado, quando se encerrou o Trato Transgressivo da bacia.

De acordo com o modelo da Estratigrafia de Sequências para as bacias de

margem continental passiva, como no caso da bacia costeira em estudo, a camada de fosforito encerra o Trato de Sistema Transgressivo-TST, resultando em um “hardground”, com baixa taxa de sedimentação, que marca tanto a “superfície de inundação máxima-IM” quanto a passagem para o Trato de Sistema de Mar Alto-TSMA, com predomínio dos carbonatos da Formação Gramame.

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos pelas análises possibilitaram a caracterização geoquímica e radiométrica do intervalo mineralizado em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> no poço 1-IG-03-PE em Igarassu, no distrito de Cruz de Rebouças, Pernambuco. Esse furo é o segundo mais distal na Sub-bacia Olinda (Bacia da Paraíba), na região costeira norte pernambucana e tem um intervalo mineralizado em cerca de 7,0 metros de espessura.

Na fração intermediária da camada mineralizada, os valores relativamente proporcionais dos elementos parecem indicar contribuições terrígena-marinha intercaladas na sedimentação, confirmando o ambiente transicional do fosforito, ou do Trato de

Sistema Transicional segundo a Estratigrafia de Sequências. O aumento do magnésio na base é inversamente proporcional ao cálcio, formando “dolomitos fosfáticos”, confirmando que a deposição do fosforito, teve seu início em águas rasas e quentes, atestados pela presença de cristais romboedrais de dolomita. A matéria orgânica concentra-se na porção intermediária do intervalo mineralizado, conforme as amostras Am-61, Am-62 e Am-63, as mais ricas nos elementos fossilíferos e classificadas petrograficamente como doloesparitos fosfáticos. Os teores mais elevados de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> acompanham teores elevados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na porção mediana do intervalo mineralizado.

## 6. Referências

- Amaral, A. J. R. 1985. *Projeto recursos de urânio nos fosforitos do Nordeste*. Recife, CNEN/DNPM, Relatório Técnico Interno, 44 p. (inédito).
- Barbosa, J. A., Souza, E. M., Lima Filho, M. F., Neumann, V. H. 2004. *The Stratigraphic evolution of the Paraíba Basin, NE Brazil: a basic analysis using sequence stratigraphy tools*. AAPG Annual Meeting, Dallas, Texas. *Extended Abstract* in CD-Rom (A88107).
- Córdoba, V. C.; Jardim de Sá, E. F.; Sousa, D. C.; Antunes, A. F. 2007. Bacia de Pernambuco-Paraíba. In: *Boletim de Geociências Petrobras*, v. 15, n. 2, p.391-403.
- Fonseca Neto, J. C., 1979. *Projeto fosfato na faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba*. Recife, CPRM/DNPM, Relat. Final, V. 1.
- Kegel, W., 1955. *A geologia do fosfato em Pernambuco*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, B. 157, 53p.
- Lima Filho, M. F. & Souza, E. M., 2001. *Marco estratigráfico nos arenitos calcíferos do Campaniano da Bacia Paraíba: estratigrafia e significado paleoambiental*. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 19, Natal, *Atas...* p. 87-88.
- Mabesoone, J. M. 1981. *Modelo deposicional dos fosforitos de Pernambuco*. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geologia. Série B: Estudos Geológicos. 4: 17-24.
- Mabesoone, J. M. *et al.*, 1991 – *Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte*. UFPE/DGEO, *Estudos Geológicos*, vol 10, 252p.
- Menor, E. A.; Dantas, J. R. A.; Sobrinho, A. C. P., 1977. *Sedimentação fosfática em Pernambuco e Paraíba: revisão e novos*

- estudos*. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977, *Atas...* Campina Grande, SBG-NE, pp. 1-24.
- Saad, S., 1974. *Aspectos econômicos do aproveitamento do urânio associado aos fosfatos do Nordeste*. Rio de Janeiro, CNEN/DEM, B.7, 46p.
- Souza, E. M., 2006. *Estratigrafia da Seqüência Clástica Inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba e suas Implicações Paleogeográficas*. Tese de Doutorado, UFPE, 351p.
- Souza, E. M., 1999. *Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba*. Dissertação de Mestrado, UFPE/CTG, 152p.
- Souza, E. M.; Lima Filho, M. L.; Neumann, V. H. 2002. *Caracterização sedimentológica, estratigráfica e radiométrica do horizonte fosfático no Município de Paulista-PE*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa, 2002, *Anais...* João Pessoa, Soc. Bras. Geologia, p. 396.
- Tinoco, I. M. & Siqueira, L. P. 1976. *Aplicação da micropaleontologia na prospecção de fosfato sedimentar*. An. Acad. Bras. Ciên. 48 (1) 47-55.
- Tinoco, I. M., 1978. *Foraminíferos bentônicos da Formação Gramame (Cretáceo Superior, Maastrichtiano de Pernambuco)*. 30º Cong. Bras. Geol. Recife, v.2 p. 1032-1046.
- White, M. G., 1958. *Uranium in the marine phosphate deposits near Recife, State of Pernambuco, northeast Brazil*. Rio de Janeiro, Eng. Min. Met., 27(160): 209-210.