

# Ignimbrito do Engenho Saco, Ipojuca, PE

Registro de vulcanismo explosivo cretácico na Província Magmática do Cabo

**SIGEP 103**

Marcos Antonio Leite do Nascimento<sup>1</sup>  
Zorano Sérgio de Souza<sup>2</sup>  
José Marcelo Arnosio<sup>3</sup>  
Paulo Marcos P. Vasconcelos<sup>4</sup>

UM VOLUMOSO MAGMATISMO básico a ácido de idade cretácea, incluindo rochas vulcânicas e subvulcânicas é bem conhecido na Bacia de Pernambuco (NE do Brasil). Extensos derrames piroclásticos estão representados por brechas piroclásticas, tufos e lapilitos, contendo púmices, *fiamme*, fragmentos vítreos altamente compactados (com textura eutaxítica), fragmentos de cristais (biotita, plagioclásio, quartzo, opacos e zircão) e líticos (gnaisses do embasamento, riolitos e andesitos). A composição dos óxidos e elementos traços indica pequena variação de SiO<sub>2</sub> (71,5 a 74,0%), baixos teores em CaO (<1%) e MgO (0,3-0,8%), com Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O da ordem de 8%. São rochas com altas concentrações de Nb (326-469 ppm), Y (206-651 ppm) e Zr (707-953 ppm) e baixos Ba (10-183 ppm) e Sr (13-119 ppm). Diagramas discriminantes indicam rochas riolíticas alcalinas. Os padrões de ETR mostram enriquecimento em TRL, com La<sub>N</sub> = 167-860, Yb<sub>N</sub> = 11-51 e razão La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> = 4,8-36,7, com forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu\* = 0,1). Os valores elevados de Yb<sub>N</sub> e a forte anomalia negativa de Eu sugerem origem por fusão parcial da crosta continental e evolução por fracionamento de feldspatos a baixas pressões. Altos teores de Rb, Y, Nb e Zr, bem como a distribuição das amostras em diagramas Rb vs. (Y+Nb) e Zr vs. Nb<sub>N</sub>/Zr<sub>N</sub> sugerem um rifte continental como ambiente tectônico. Estas rochas têm idades platôs <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar entre 104,0±0,7 a 105,2±0,8 Ma. Sugere-se que uma anomalia térmica (relacionada a hotspot?) atingiu temperatura suficiente para fundir a crosta continental e produzir esse magmatismo durante o Albiano.

**Palavras-chave:** Rochas Piroclásticas; Ignimbritos, Cretáceo; Bacia de Pernambuco; Província Magmática do Cabo

**Engenho Saco Ignimbrite, State of Pernambuco –**  
Record of cretaceous explosive volcanism of the Cabo Magmatic Province

A voluminous Cretaceous basic to acidic magmatism, including volcanic and subvolcanic rocks, is well known in the Pernambuco Basin (NE Brazil). Among the acidic rocks, there are also relatively extensive ignimbrite flows. Widespread pyroclastic flows are represented by breccias, tuffs and lapillistones, containing pumices, *fiamme*, highly compacted eutaxitic glassy shards, millimeter-size crystal (biotite, plagioclase, quartz, opaque, zircon) and lithic fragments (basement gneisses, rhyolites and andesites). Oxide and trace element composition indicate small SiO<sub>2</sub> variation (71.5 to 74.0 wt. %), low CaO (<1 wt.%) and MgO (0.4 to 0.8 wt. %) and total alkalis of 8 wt %. They have high concentrations of Nb (326-469 ppm), Y (206-651 ppm) and Zr (707-953 ppm), and low Ba (10-183 ppm) and Sr (13-119 ppm). Discrimination diagrams reveal that they are alkaline rhyolitic rocks. Chondrite normalized REE show high fractionated patterns with La<sub>N</sub> of 167 to 860, Yb<sub>N</sub> of 11 to 51, and La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> of 4.8 to 36.7, with strongly negative Eu anomaly (Eu/Eu\* = 0.1). Relatively elevated Yb<sub>N</sub> and negative Eu anomaly suggest an origin from melting of continental crust and evolution through feldspar fractionation at low pressure. High Rb, Y, Nb, and Zr, and the distribution of samples in Rb vs (Y+Nb) and Zr vs (Nb<sub>N</sub>/Zr<sub>N</sub>) plots indicate a continental rift as their tectonic setting. These rocks have <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar plateau ages in the range 104.0±0.7 to 105.2±1.8 Ma. It is suggested that a thermal anomaly, probably hotspot related, reached temperature high enough to melt the continental crust and generate this silicic magmatism during the Albian.

**Keywords:** Pyroclastic Rocks; Ignimbrites; Cretaceous; Pernambuco Basin; Cabo Magmatic Province

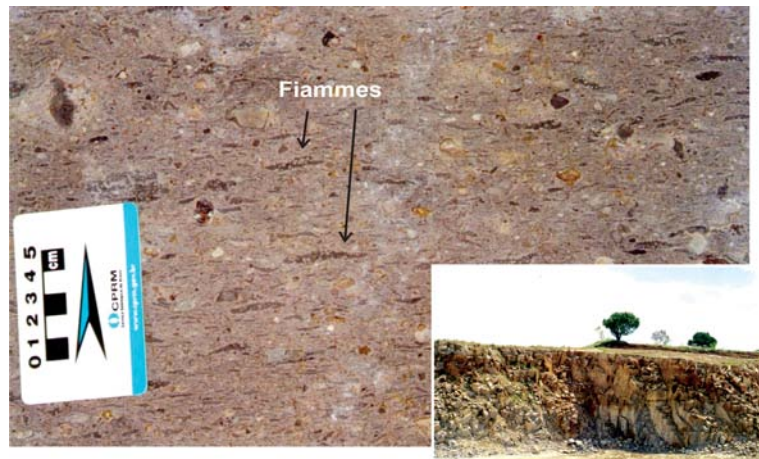
## INTRODUÇÃO

A Bacia de Pernambuco foi palco de um intenso magmatismo há cerca de  $102 \pm 1$  Ma (Nascimento *et al.*, 2003a), sendo conhecido como Província Magmática do Cabo (Sial, 1976). Esse magmatismo compreende principalmente traquitos e riolitos, contendo ainda rochas de fluxo piroclástico (ignimbritos), basaltos e álcali-feldspato granito (o Granito do Cabo). Esses litotipos ocorrem distribuídos em praticamente toda a bacia sob a forma de diques, derrames, soleiras, *plugs*, lacólitos ou corpos semicirculares.

Na porção central desta bacia destaca-se um expressivo vulcanismo ácido de natureza explosiva, caracterizado por um depósito formado de púmices e fragmentos líticos dispostos em uma matriz vulcanogênica (Fig. 1). Rochas de natureza piroclástica foram descritas primeiramente na Bacia de Pernambuco por Rocha (1990), apesar de Borba (1975) apresentar em seu mapa geológico ocorrências de aglomerados vulcânicos, todavia sem fazer nenhuma outra menção a respeito dessas litologias. Rocha (1990) descreveu a presença de aglomerados ou brechas vulcânicas na região do Engenho Saco. Para este autor trata-se de rochas de cor creme e matriz fanerítica fina, contendo fragmentos de litotipos ígneos (granitos e dioritos), sedimentares (calcários) e metamórficos (xistos e gnaisses), além de quartzo e K-feldspato.

Rochas piroclásticas do tipo ignimbrito têm sido encontradas no Brasil em sucessões vulcânicas de idades e ambientes geológicos diversos. Aqueles melhor estudados apresentam idades que vão do Paleoproterozóico (1,8 Ga), no Cráton Amazônico, exemplificados pela Suíte Vulcano-Plutônica Teles-Pires (Pinho, 2002) ao Neoproterozóico (550-573 Ma), nos platôs da Ramada e do Taquarém, Escudo Sul-Riograndense (Sommer *et al.*, 2003). Contudo, depósitos mais jovens, do Fanerozóico, são muito pouco conhecidos. Sabe-se apenas da ocorrência de ignimbritos associados às rochas ácidas da Formação Serra Geral (135-130 Ma) na região de Sananduva/RS (Siviero *et al.*, 2005).

Desta forma, o depósito ora apresentado (Ignimbritos do Engenho Saco, 105 Ma) parece ser o mais jovem encontrado em bacias sedimentares do Brasil. Assim, torna-se importante seu conhecimento (geológico, geoquímico, petrogenético, geocronológico e didático-científico). O mesmo ocorre ainda em uma região riquíssima em unidades vulcano-plutônicas (a Província



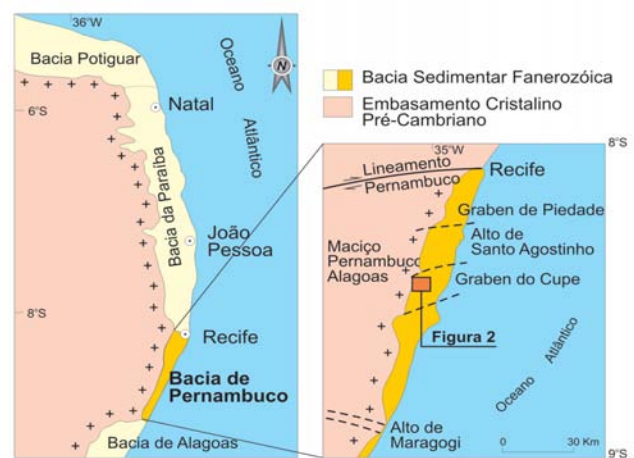
**Figura 1** - Aspecto de campo do ignimbrito fortemente soldado com fragmentos juvenis (*fiamme*) gerando uma superfície plana. Em baixo à direita, visão parcial da pedreira do Engenho Saco.

**Figure 1** - Field aspect of the strongly welded ignimbrite showing juvenile fragments (*fiamme*) with planar surfaces. At the bottom right, the inset shows a partial geological overview of the Engenho Saco quarry.

Magmática do Cabo) no litoral sul de Pernambuco, região esta apta a se tornar um geoparque nacional devido a sua ampla geodiversidade.

## LOCALIZAÇÃO

Os ignimbritos do Engenho Saco situa-se a, aproximadamente, 60 km a sul da cidade de Recife (PE) e cerca de 5 km a sul da cidade de Ipojuca (Fig. 2), com o centro da área tendo coordenadas geográficas  $8^{\circ}26'30''$  S e  $35^{\circ}03'45''$  W. O acesso pode ser feito partindo-se de Recife através da BR-101 até a cidade do Cabo de Santo



**Figura 2** - Mapa de localização da Bacia de Pernambuco (Modificado de Lima Filho, 1998).

**Figure 2** - Geographic location of the Pernambuco Basin (modified Lima Filho, 1998).

Agostinho; a partir daí, toma-se a rodovia estadual PE-60. Após 5 km da saída da cidade de Ipojuca, no sentido norte-sul, nas proximidades do Engenho Tapera, se utiliza as estradas carroçáveis e caminhos que levam ao Engenho Saco.

## DESCRIÇÃO DO SÍTIO

### Geologia

A Bacia de Pernambuco representa uma estreita faixa de rochas sedimentares e magmáticas no Nordeste do Brasil, aflorante no litoral a sul de Recife (PE). Ela possui uma forma alongada na direção NNE, com extensão aproximada de 80 km e largura máxima de 12 km em sua porção emersa. Esta bacia limita-se a norte com a região metropolitana de Recife e a sul com a cidade de São José da Coroa Grande, divisa com o Estado de Alagoas. O limite geológico a norte é dado pelo Lineamento Pernambuco, a sul pelo Alto de Maragogi e a oeste pelo Maciço Pernambuco-Alagoas. Geologicamente, na porção emersa, ocorre uma unidade siliciclástica de idade Aptiana-Albiana, a Formação Cabo, representativa do estágio rifte de evolução da referida bacia. A Formação Cabo é constituída por três fácies representativas de um sistema de leques aluviais (Lima Filho, 1998; Cruz *et al.*, 2003) identificadas como: a) fácies proximal, dada por conglomerados com seixos de gnaisses e granitos do embasamento; b) fácies mediana, marcada por arenitos conglomeráticos a médios arcoseanos; e c) fácies distal, formada por arenitos arcoseanos finos, intercalados com camadas argilosas, além de folhelhos pretos anóxicos. Essas rochas são superpostas por litotipos da fase drifte, caracterizadas por calcários e margas da Formação Estiva, com idade variando entre Albiano e Cenomaniano/Turoniano, identificando um ambiente transgressivo. Após o Turoniano ocorreu um segundo ciclo de sedimentação, marcado por uma fase regressiva, caracterizada pelos litotipos da Formação Algodoads, que são representados por um sistema fluvial entrelaçado a meandrante (Cruz *et al.*, 2003), caracterizado por conglomerados com fragmentos e blocos de rochas vulcânicas, arenitos médios a finos e argilitos.

O arcabouço estrutural da Bacia de Pernambuco foi definido principalmente no Eo-Cretáceo superior (Aptiano-Albiano), antes e durante o alojamento das rochas magmáticas (Lima Filho, 1998; Jardim de Sá *et al.*, 2003). Em escala regional, as principais estruturas são os *grabens* assimétricos do Cupe e de Piedade, separados pelo Alto de Santo Agostinho (Lima Filho, 1998). Essas estruturas envolvem os pacotes mais es-

cessos da Formação Cabo, bem como o maior volume de rochas magmáticas.

Há cerca de 102 milhões de anos, enquanto se dava a sedimentação de parte das rochas da Formação Cabo, ocorria nas áreas adjacentes um importante vulcanismo ácido-básico intrusivo (diques e *plugs* riolíticos), extrusivo (riolitos, basaltos, traquitos) e mesmo explosivo (ignimbritos), além do plutonismo ácido que deu origem ao Granito do Cabo (monzonitos e álcali-feldspato granitos), formando a denominada Província Magmática do Cabo.

Na Bacia de Pernambuco tem-se, até o momento, o único exemplo conhecido de vulcanismo explosivo cretáceo do Brasil, sendo caracterizado como depósitos piroclásticos de fluxo (ignimbritos). A figura 3 ilustra o mapa geológico em detalhe da área de exposição deste depósito. O mesmo está em contato por falhas normais, de direção NE-SW, com o embasamento pré-cambriano, bem como são sobrepostos por litotipos da Formação Algodoads. O principal local de ocorrência desses ignimbritos é na região conhecida como Pedreira do Engenho Saco, onde os mesmos afloram por uma área de aproximadamente 3.500 m<sup>2</sup> (Fig. 4a) e mostra uma espessura de até 25 m, com um volume superficial mínimo estimado de aproximadamente 87.500 m<sup>3</sup> de material vulcânico.

Os depósitos piroclásticos do Engenho Saco são caracterizados como ignimbritos, sendo pobremente selecionados e maciços, constituídos por fragmentos juvenis (púmices e *fiammes*), cristaloclastos (quartzo e K-feldspato) e litoclastos (gnaisses, granitos, riolitos e traqui-andesitos) e encontrados em matriz fina de cor cinza a creme, de fração cinza grossa a lápili e, subordinadamente, blocos e bombas.

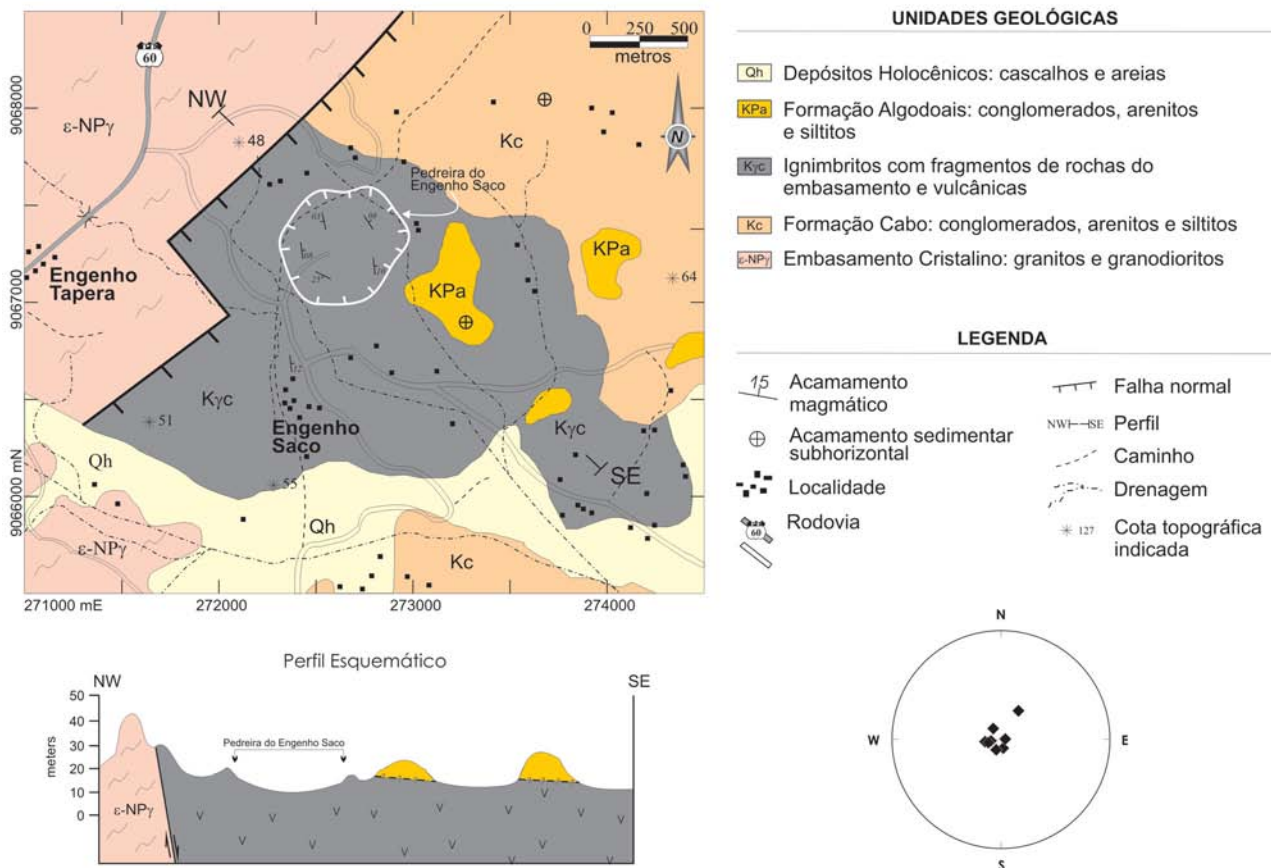
Observam-se variações nos conteúdos de vitroclastos (púmices e *fiammes*), cristaloclastos e litoclastos. A matriz da rocha é tufácea de composição vítrea, envolvendo grande quantidades de púmices e *fiammes* (Figs. 4b, c) de diferentes tamanhos e formatos, bem como cristaloclastos e litoclastos. Esta quantidade de *fiammes* está associada ao forte grau de soldagem que a rocha foi submetida, na qual origina na mesma uma pronunciada textura eutaxítica, dando uma aspecto lenticular aos ignimbritos. As formas dos púmices e *fiammes* indicam que a compactação sofrida pelos ignimbritos ocorreu a altas temperaturas (Smith & Cole, 1997; Kurchavov & Shatagin, 1999). Gibson & Tazieff (1967) propõem que, no fluxo piroclástico, abundantes partículas vítreas fundidas são lançadas e, após a deposição, são achatadas e formam os *fiammes*, já para McBirney (1968), a origem dos *fiammes* é proveniente da fusão



local de púmices pelo diminuição da temperatura de fusão, em função da água absorvida do substrato onde se depositou o material do fluxo piroclástico. Algumas estimativas de assimetria dos *fiammes* obtidos na região da pedreira sugerem um sentido de fluxo/transporte de material piroclástico com topo para 60°Az (NE). Na área de melhor e maior exposição, os ignimbritos também se mostram englobando fragmentos de rochas do embasamento (litoclastos de gnaisses e granitos) milimétricos a centimétricos, além de vulcânicas do tipo riolito (Fig. 4d). Estes são discóides, irregulares ou curvos, cuja orientação define uma superfície sinuosa subhorizontal (vide projeções de pólos de planos na figura 3).

É frequente encontrarmos zonas enriquecidas em fragmentos líticos, dando aparência de brecha. Nesses locais, a rocha é caracterizada pelo enriquecimento de litoclastos e empobrecimentos de material fino (Figs. 4e, f). Os litoclastos são formados por rochas do embasamento cristalino, principalmente paragneisse,

ortogneisse e granito de dimensões milimétricas a decimétricas, bem como litoclastos de vulcânicas finas (traquiandesito e riolito). Estes são envolvidos por uma matriz tufácea, composta por cristaloclastos, principalmente quartzo e K-feldspato, além de púmices e vidro vulcânico. A falta de feições de acamadamento e as demais características apresentadas estão relacionadas a incapacidade do fluxo em sustentar clastos maiores, associada com a alta fluidização do fluxo. Segundo Wright & Walker (1977) este tipo de depósito é produzido pela queda de blocos sincrônicos a fluxos piroclásticos com a fração lítica interpretada como parte do próprio fluxo. As brechas co-ignimbríticas são rochas de fácies proximal, indicativas da proximidade do local de emissão do fluxo piroclástico (Wright & Walker, 1977). Todavia, não foi observada nenhuma variação lateral que ajudasse a definir com precisão a localização da boca de emissão do(s) fluxo(s) piroclástico(s), sendo complexa as relações entre as brechas co-ignimbríticas e os ignimbritos.



**Figura 3** - Mapa geológico e perfil esquemático da região de ocorrência dos ignimbritos (Nascimento, 2003). Na porção central do mapa ocorre a Pedreira do Engenho do Saco (ver figura 3a). A projeção estereográfica, usando o hemisfério inferior, mostra os pólos dos planos de acamadamento nos ignimbritos, definido pela orientação dos *fiammes*.

**Figure 3** - Geological map and schematic cross section of the ignimbrites (Nascimento, 2003). The Engenho Saco quarry (figure 3a) is plotted in the central portion of the map. Stereographic projection, using the lower hemisphere, shows the poles of bedding (defined by the orientation of *fiamme*) in ignimbrites.



**Figura 4** - Aspectos de campos das rochas ignimbríticas. (a) Visão geral da Pedreira do Engenho Saco com espessura média aflorante de 30 m de altura. (b, c) Ignimbritos fortemente soldados, com púmices (b) e vidro vulcânico (c) definindo superfícies planares. (d) Fragmento decimétrico de riolito de textura fina em ignimbritos da fração bomba. (e, f) Fragmentos milimétricos a decimétricos de rochas do embasamento pré-cambriano (gnaisses e granitos) e vulcânicas (riolitos e traquiandesitos).

**Figure 4** - Field aspects of the ignimbrites. (a) Overview of the Engenho Saco quarry with an average height of 30m. (b, c) Strongly welded ignimbrites, with pumices (b) and volcanic glass fragments (c) defining planar surfaces. (d) Decimeter size fragment of rhyolite bomb in ignimbrites. (e, f) Millimeter to decimeter size fragments of Precambrian basement (gneisses and granites) and volcanic (rhyolites and trachyandesites) rocks.

### Petrografia

Em seções delgadas observa-se que os ignimbritos possuem matriz fina, de composição riolítica, englobando cristaloclastos de biotita, plagioclásio, quartzo, opacos, zircão e microclina. Também são onipresentes fragmen-

tos líticos, tanto de rochas do embasamento pré-cambriano (gnaisses e granitos), como vulcânicos (riolito, traquito-andesito). Estas rochas revelam a típica textura eutaxítica de ignimbritos descritos na literatura (Fisher & Schmincke, 1984), definida por forte orientação de fragmentos placóides, tabulares ou disformes de vi-

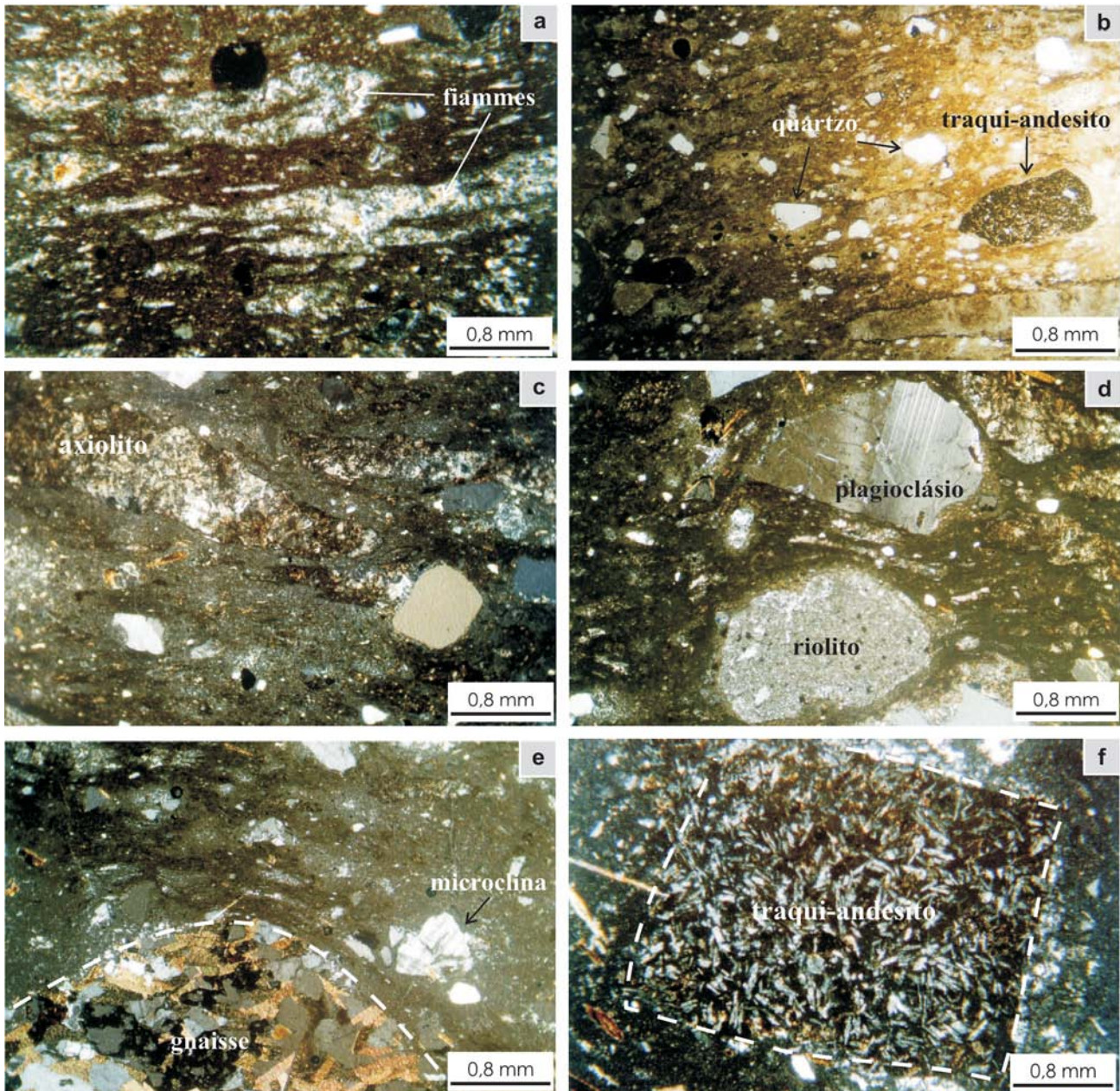


dro vulcânico e/ou púmice, compactados e formando uma superfície planar ou sinuosa, definindo a orientação de fluxo magmático (Figs. 5a, b).

Nos **púmices** e **fiammes**, o elevado grau de soldagem dessas rochas dificulta a distinção de sua mineralogia juvenil, todavia ainda é possível encontrar preservados pequenos cristais de quartzo, plagioclásio e biotita; sen-

do comum a presença de textura esferulítica e axiolitos (Fig. 5c), devido a processos de devitrificação em alta temperatura. A descrição desses minerais assemelha-se aqueles encontrados na matriz, porém diferenciando, às vezes, na dimensão.

Os cristaloclastos de **quartzo** são subédricos a anédricos, alguns prismáticos, comumente com extinção



**Figura 5** - Feições microscópicas dos ignimbritos. (a, b) Superfície planar (textura eutaxítica) definida pelos *fiammes* e cristaloclastos (quartzo e opacos). (c) Axiolito (vesículas, parcialmente achatadas, preenchidas por minerais secundários – quartzo e carbonatos) como produto de devitrificação em alta temperatura. (d) Fragmentos de plagioclásio e riolito fino. (e) Fragmento de rocha do embasamento pré-cambriano (gnaisse). (f) Fragmento de traqui-andesito com textura pilotaxítica.

**Figure 5** - Microscopic aspects of the ignimbrites. (a, b) Eutaxitic texture defined by orientation of rhyolitic *fiamme* and crystalclasts of quartz and opaque. (c) Axiolites (vesicles, partially filled by secondary minerals quartz and carbonate) formed during high temperature devitrification. (d) Plagioclase and rhyolite fragments. (e) Fragment of Precambrian basement gnaiss. (f) Trachyandesite fragment with pilotaxitic texture.

ondulante e tamanho até 2 mm. Podem ter bordas coróidas ou estarem orientados no sentido de fluxo. O **plagioclásio** ocorre como cristais subédricos a anédricos, geminados na lei da albita, exibindo forma alongada e dimensões menores que 1 mm (Fig. 5d). A **biotita** ocorre como cristais lamelares, de cor vermelha a marrom, subédricos a anédricos, com tamanhos entre 0,5 e 3,0 mm, e contatos interdigitados e retos com a matriz vulcânica. Os minerais **opacos** são subédricos, por vezes de forma quadrática, seguindo a clivagem da biotita, e distribuída aleatoriamente na matriz. Possuem tamanho menor que 0,7 mm e estão inclusos em quartzo e feldspatos. Por fim, o **zircão** ocorre em cristais euédricos, menores que 0,2 mm, como inclusões em quartzo, feldspatos, biotita e na matriz riolítica. São encontrados ainda cristais de **microclina** subédricos a anédricos, de tamanho inferior a 2 mm, com geminação segundo a lei albita-periclínio, associada a restos de geminação Carlsbad, devendo representar xenocristais aprisionados pelo vulcanismo explosivo.

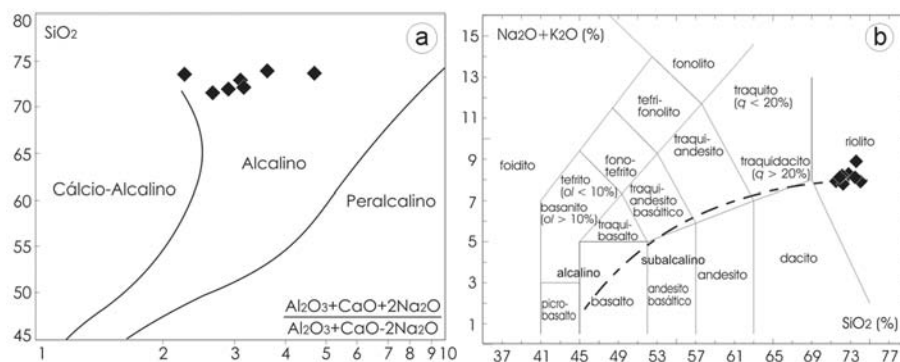
Os litoclastos mostram formas variadas (arredondadas, angulosas, retangulares), via de regra preservando a mineralogia interna e textura original. Os fragmentos de **gnaisse** (Fig. 5e) e **granito** apresentam textura média a grossa, com quartzo, feldspatos, biotita, anfibólio e opacos. Os fragmentos de **traquiandesitos** mostram textura fina e micrólitos de plagioclásio e grânulos de clinopiroxênio dispersos numa matriz fina, onde ainda se distingue a textura pilotaxítica, ou finas ripas de feldspato alcalino (Fig. 5f). Os fragmentos de **riolitos** também possuem textura muito fina, vítrea ou esferulítica e pequenos cristais de feldspatos e quartzo (Fig. 5d).

De acordo com Clemens & Wall (1984) um fluxo piroclástico com mais de 40% de cristais é definido com ignimbrito rico em cristais. A presença de 30-40% de cristaloclastos nos ignimbritos do Engenho Saco caracteriza-os como enriquecidos em cristais. Este tipo de depósito já foi descrito em outras ocorrências brasileiras, de idades mais antigas; é o caso dos depósitos a norte do Estado do Mato Grosso (Pinho, 2002) e do Escudo Sul-rio-grandense (Sommer *et al.*, 2003). Segundo Cas & Wright (1987), a presença elevada de cristaloclastos nesses tipos de depósitos está associada a erupções de sistemas altamente cristalizados ou ao fracionamento físico no decorrer da movimentação do fluxo. Neste último caso, o processo envolve a retirada da fração fina nas porções altamente fluidizadas do fluxo ou mesmo na coluna de erupção, possibilitando assim a acumulação da fração densa, formado por cristais e fragmentos líticos (Cas & Wright, 1987).

### Litogeoquímica

O estudo litogeoquímico foi realizado apenas para os ignimbritos e representa os primeiros dados geoquímicos obtidos na ocorrência pesquisada (Nascimento, 2003; Nascimento *et al.*, 2003b). Os ignimbritos consistem de proporções variadas de vidroclastos, cristaloclastos e litoclastos. Para selecionar amostras representativas do magma parental foram coletadas para análise apenas os clastos de púmices.

As rochas mostram uma pequena variação de SiO<sub>2</sub> (71,5 a 74,0%), com variados teores em CaO (0,03-0,98%) e MgO (0,37-0,80%). O total de álcalis (TAS=Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) é da ordem de 8%, com



**Figura 6** - Diagramas geoquímicos para os ignimbritos. **(a)** Diagrama de Wright (1969), definindo a natureza alcalina dos ignimbritos. **(b)** Total de álcalis vs. sílica (TAS, Le Maitre, 1989) com o limite entre séries subalcalina e alcalina segundo Myashiro (1978).

**Figure 6** - Geochemical diagrams for ignimbrites. **(a)** Wright's (1969) diagram defining their alkaline nature of the ignimbrites. **(b)** Total alkali-silica diagram after Le Maitre (1989) with the limit of the subalkaline and alkaline series according to Myashiro (1978).



razões  $A/NK = 1,12-1,27$  e  $A/CNK = 1,01-1,27$  e coríndon normativo menor do que 2,9, classificando-as como peraluminosas. Diagramas discriminantes utilizando elementos maiores mostram a afinidade alcalina, conforme exemplificado no gráfico  $SiO_2$  vs. índice de Wright (1969) (Fig. 6a). No diagrama  $SiO_2$  vs. total de álcalis (Fig. 6b), as amostras posicionam-se na porção mais diferenciada de séries alcalinas e mostram composição riolítica.

Análises de elementos terras raras, com padrões normalizados ao condrito C1 de Evensen *et al.* (1978), são apresentadas na figura 7a. Eles mostram-se subparalelos entre si, indicando que as amostras analisadas são cogenéticas. Os padrões de ETR são enriquecidos em TRL (terras raras leves) com  $La_N = 167-860$ ,  $Yb_N = 11-51$  e razão  $La_N/Yb_N = 4,8-36,7$ . Com relação a anomalia de Eu, nota-se uma forte anomalia negativa ( $Eu/Eu^* = 0,08-0,09$ ), indicativa do fracionamento de feldspatos.

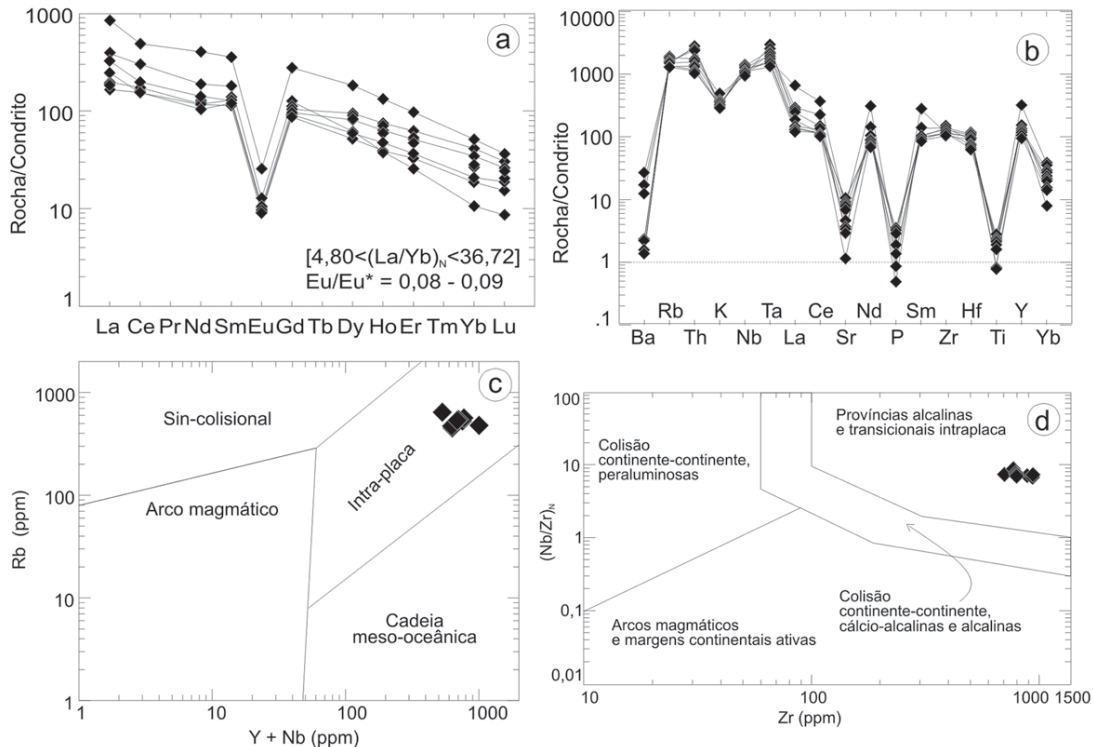
Também é observada uma uniformidade nos padrões em diagramas de multielementos (Fig. 7b). Desconsiderando as anomalias, nota-se uma pequena inclinação negativa entre Rb e Yb, com empobrecimento nos ter-

mos mais compatíveis. Isto pode sugerir que não ocorreram mudanças significativas durante a evolução magmática. Os espectros possuem anomalias negativas de K, Sr, P e Ti, e positivas de Nb, Nd, Sm, Zr e Y. Estes padrões podem ser explicados pelo fracionamento de fases acessórias do tipo feldspatos (K, Sr), apatita (Sr, P) e óxidos (Ti), seja durante a cristalização do magma, seja durante a fusão da fonte que originou o magma em discussão.

A natureza intraplaca, continental, destas rochas é corroborada por diagramas do tipo Rb vs. Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984) e Zr vs.  $Nb_N/Zr_N$  (Thiéblemont & Téggyey, 1994), como vistos nas figuras 7c, d, respectivamente. O ambiente tectônico seria o de rifteamento continental, tal como ocorre atualmente no leste africano.

### Geocronologia $^{40}Ar-^{39}Ar$

As primeiras idades absolutas obtidas para as rochas da Província Magmática do Cabo foram reportadas por Vandoros *et al.* (1966), com valores variando entre 99 e



**Figura 7** - Diagramas geoquímicos de elementos traços para os ignimbritos. (a) Diagrama de ETR (Evensen *et al.*, 1978). (b) Diagrama de multielementos (Thompson, 1982). (c) Diagrama de ambiente tectônico Rb vs. Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984). (d) Diagrama Zr vs.  $Nb_N/Zr_N$  de ambiente tectônico (Thiéblemont & Téggyey, 1994).

**Figure 7** - Trace elements diagrams of trace elements for ignimbrites. (a) REE diagram (Evensen *et al.*, 1978). (b) Multi-elements diagram (Thompson, 1982). (c) Rb vs. Y+Nb tectonic diagram (Pearce *et al.*, 1984). (d) Zr vs.  $Nb_N/Zr_N$  tectonic diagram (Thiéblemont & Téggyey, 1994).



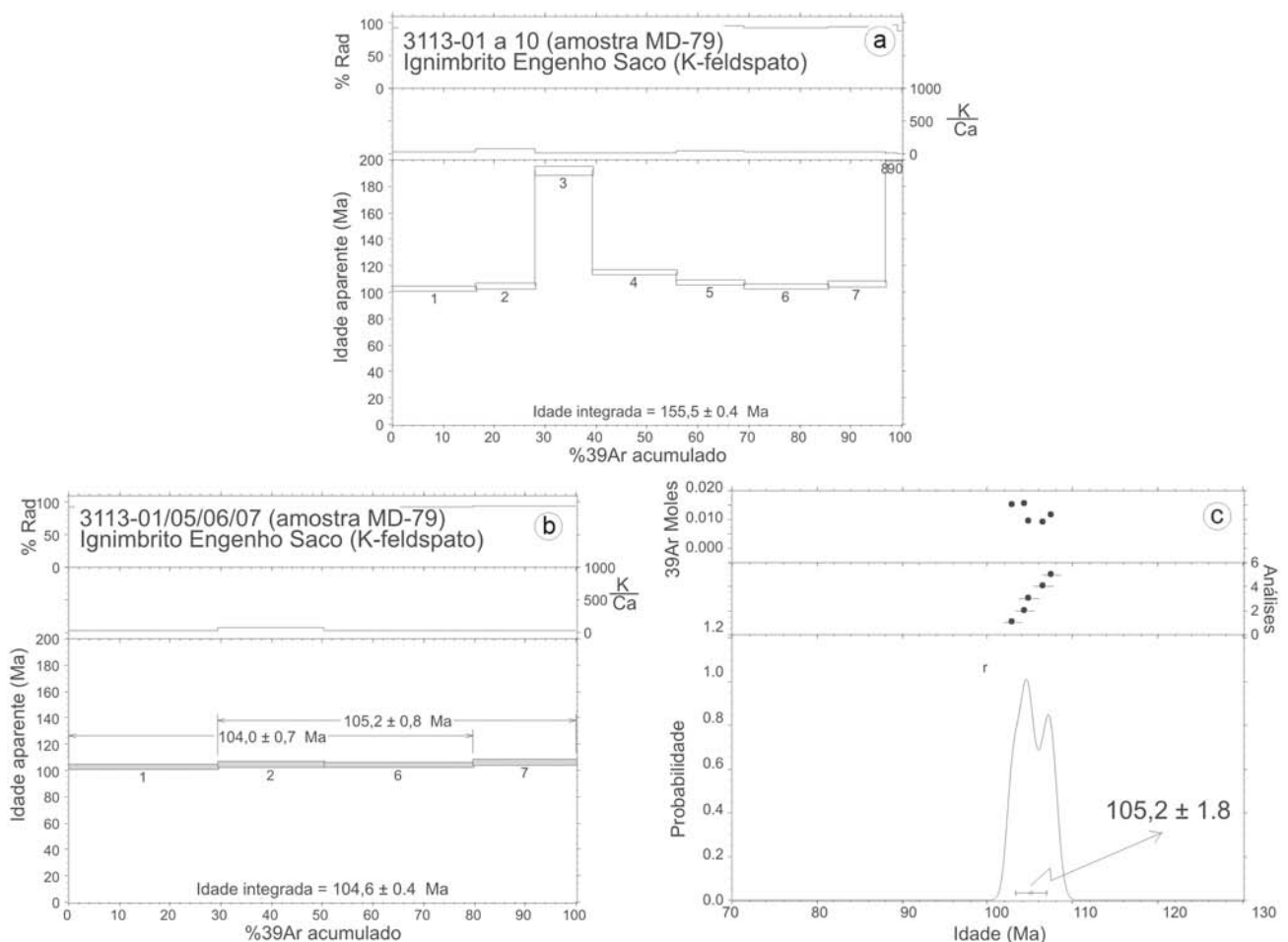
85 Ma pelos métodos K-Ar e Rb-Sr, contudo não foram datadas as rochas piroclásticas. Em reavaliação, desses mesmos dados, Vandoros & Valarelli (1976) estabeleceram um novo intervalo de idade entre 114 e 90 Ma. As primeiras idades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , em rocha total, foram reportadas por Lima Filho (2001) e Lima Filho & Szatmari (2002) sugerindo um intervalo entre 111 e 100 Ma, para basaltos, traquitos, riolitos e ignimbritos. Esses últimos possuindo idade de  $110,7 \pm 1,3$  Ma. Todavia, esse valor é anômalo e não deve ser considerado, pois a análise foi realizada em rocha total, essa se tratando de uma mistura de diferentes componentes com diferentes idades.

Assim, com a finalidade de definir de forma mais precisa a idade dos ignimbritos, foram individualizados inúmeros grãos de feldspatos e desses separados dez para datação  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  pelo método de fusão total. Os cristais definiram diferentes platôs com intervalo de idades entre  $> 200$  e 102 Ma (Fig. 8a), revelando a presença de fragmentos do embasamento nos componentes detríticos. A idade integrada desses dez cristais é de

$155,5 \pm 0,4$  Ma, superior àquela obtida por Lima Filho & Szatmari (2002). Quatro desses grãos foram individualizados em outro diagrama platô revelando uma população mais homogênea, com similar razão K/Ca, definindo idades platôs entre  $104,0 \pm 0,7$  e  $105,2 \pm 0,8$  Ma e uma idade integrada de  $104,6 \pm 0,4$  Ma (Fig. 8b). A idade obtida no diagrama foi de  $105,2 \pm 1,8$  Ma (Fig. 8c). Assim, os ignimbritos do Engenho Saco teriam uma idade média de 105 Ma, essa sendo cerca de 3 Ma mais antiga que a média obtida para as demais rochas da Província Magmática do Cabo, de  $102 \pm 1$  Ma (Nascimento, 2003; Nascimento *et al.*, 2003a).

### SINOPSE SOBRE A ORIGEM, EVOLUÇÃO GEOLÓGICA E IMPORTÂNCIA DO SÍTIO

A região de ocorrência dos ignimbritos (próxima a Ipojuca) hoje tão tranqüila, foi há cerca de 105 milhões de anos palco de erupções vulcânicas explosivas enquanto que nas proximidades (região do Cabo de Santo



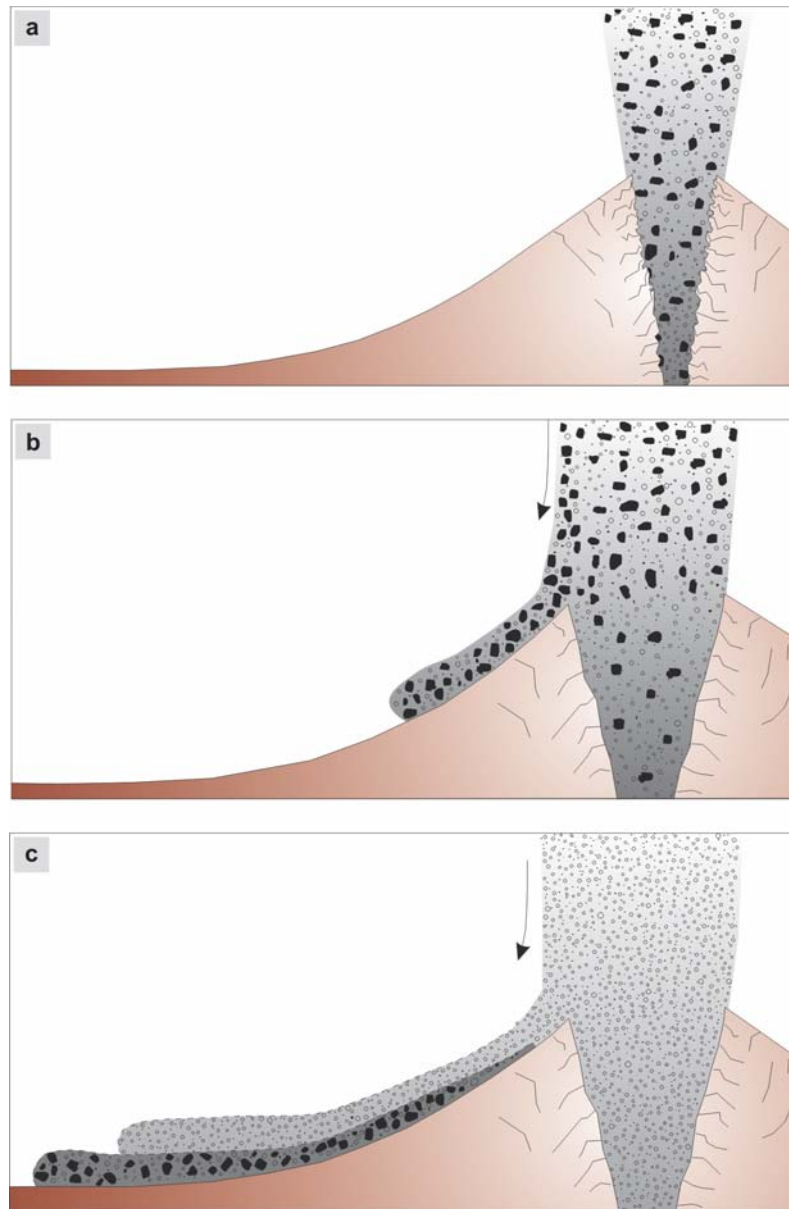
**Figura 8** - Idades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  (desvios de  $2\sigma$ ) obtidas em feldspatos nos ignimbritos.

**Figura 8** -  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages ( $2\sigma$  deviation) for feldspars.

Agostinho) 3 milhões de anos depois (portanto, a 102 milhões de anos – Nascimento, 2003) erupções efusivas ocorriam, sendo atualmente reconhecidas por meio dos derrames de traquitos e basaltos.

As erupções vulcânicas constituem um dos fenômenos geológico mais importante na evolução do plane-

ta. Estes podem ser divididos em dois grandes grupos: erupções efusivas onde o magma ascende e se derrama na superfície da terra de um modo tranquilo, formando derrames de lavas e domos, e erupções explosivas (Fig. 9) que expelem gases ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , etc) e piroclastos (do grego *pyro*: fogo, *klastos*: pedaços; que quer dizer um



**Figura 9** - Desenho esquemático mostrando os processos de geração de brechas líticas e ignimbritos. Modificado de Arnosio (2002). **(a)** Durante a evolução do ciclo magmático será produzida uma erupção altamente explosiva. Esta provocará a erosão do conduto e da boca de emissão, gerando elevada proporção de fragmentos líticos. **(b)** A erosão do conduto e a elevada quantidade de líticos conduz o colapso da coluna eruptiva e formação do fluxo piroclástico enriquecidos em líticos (brechas líticas). **(c)** A erupção continua emitindo material de grãos mais finos, formando ignimbritos que se depositam sobre as brechas líticas.

**Figure 9** - Schematic sketch showing the generation processes of lithic breccias and ignimbrites (modified after Arnosio 2002). **(a)** During a volcanic cycle a highly explosive eruption is produced. This leads to the erosion of the conduit and of the central vent, generating a high proportion of lithic fragments. **(b)** The erosion of the conduit and the high amount of lithic fragments results in collapsing of the eruptive column and the formation of lithic fragments enriched pyroclastic flow (lithic breccias). **(c)** The eruption continues to produce grains of smaller sizes, forming ignimbrites, which are in turn deposited over the previous formed lithic breccias.



fragmento de rocha ou mineral injetado durante a erupção de um vulcão) de tamanhos variados (0,001 m a <10 m de diâmetro) da cratera de um vulcão. A extrema velocidade de saída dos piroclastos e gases (100-600 m/s) origina o que é conhecido como coluna eruptiva que pode alcançar até 55 km de altura.

O material piroclástico fino, conhecido como cinza, é espalhado a uma distância de cem a milhares de quilômetros do vulcão devido a influência dos ventos. Por outro lado, os fragmentos maiores não ficam suspensos por muito tempo, começando a cair por efeito da gravidade (colapso de coluna), próximos as partículas de tamanho das cinzas. O material piroclástico que se desmorona da coluna eruptiva, gera fluxos piroclásticos de elevada concentração de partículas, que se deslocam lateralmente e se movem ao nível do solo ao longo dos flancos dos vulcões. A velocidade de descida do material piroclástico é de dezenas a centenas de km/h e a temperatura pode atingir 600-700°C. Ao parar o fluxo, o material piroclástico assenta formando o depósito piroclástico.

Os fluxos piroclásticos possuem um efeito devastador nos locais por onde passam. Por exemplo, em 79 AC as cidades de Herculano e Pompéia, na Itália, foram recobertas por uma avalanche de fluxo piroclástico, proveniente do Vesúvio, provocando muitas mortes. O material depositado chegou à espessura de 6 metros e recobriu as duas cidades, que só foram redescobertas em 1738 e 1748, respectivamente.

Entre os depósitos vulcânicos mais importantes, por distribuição areal e em volume que ocupa, estão os ignimbritos (do latim *ignis*: fogo + *imber*: chuva), os quais são formados por púmice, cinza vulcânica e proporções variadas de fragmentos de rochas de origem diversa (ígnea, metamórfica ou sedimentar). Nos Andes Central, por exemplo, os ignimbritos cobrem mais de 500.000 km<sup>2</sup> e em geral somam mais de 50.000 km<sup>3</sup>. Devida a elevada temperatura da erupção do material piroclástico, os ignimbritos sofrem um processo de soldamento e compactação, afetando principalmente a forma dos púmices, dando origem a material de forma lenticular, com cor negra, conhecido por *fiamme* (plural de palavra italiana, que significa chamas).

Infelizmente a ação antrópica (com grandes áreas de plantação de cana-de-açúcar) aliada ao forte intemperismo na região em lide não permite a identificação, por exemplo, da cratera que possibilitou a saída e conseqüente deslocamento do fluxo piroclástico que deu origem aos ignimbritos hoje aflorantes.

A localização da ocorrência dos ignimbritos, a natureza alcalina, bem como sua datação praticamente

contemporânea as rochas vulcano-plutônica da Província Magmática do Cabo (102 a 105 Ma, Albiano - Nascimento, 2003), sugerem a ligação desse magmatismo com o rifteamento relacionado ao processo de ruptura do Supercontinente Gondwana gerando o Oceano Atlântico. Essas idades corroboram a tendência de idade mais jovem para o *trend* norte do evento de rifteamento da Margem Brasileira Leste (Conceição *et al.*, 1988; Chang *et al.*, 1990). Este rifteamento, tendo como conseqüência a separação dos continentes sul-americano e africano, teria iniciado ao redor de 120 Ma atrás no extremo sul do Brasil. A ruptura e a separação do Gondwana nesta época (Cretáceo Inferior) foram acompanhadas por um expressivo evento vulcânico, o qual recobriu com derrames de lavas a porção centro-sul da América do Sul (Wildner *et al.* 2006). Assim, a separação final dos continentes anteriormente citados também teria se dado por manifestações vulcânicas, no caso pela Província Magmática do Cabo.

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO

### Vulnerabilidade do Sítio a Atividades de Mineração e Degradação Ambiental

Infelizmente a região de ocorrência das rochas ignimbríticas do Engenho Saco não está protegida por nenhum diploma legal de tipo de unidade de conservação e por nenhum órgão de proteção. Além disso, boa parte da exposição desses litotipos encontra-se na Pedreira do Engenho Saco.

A empresa titular das concessões de lavra é a CBE – Companhia Brasileira de Equipamento, que é a empresa do Grupo João Santos encarregada do suprimento de matéria prima para as fábricas de cimento. No DNPM cada mina/concessão corresponde a um processo, neste caso é o de número 840.170/1980, Portaria de lavra 1545/1984 no Diário Oficial da União de 26/11/1984. A substância explorada é caracterizada como argila e aglomerado vulcânico, explorada em uma área de 625 hectares. O material é utilizado como pozzolana natural, na fabricação de cimento. O mesmo é moído e posteriormente adicionado ao clínquer (componente básico do cimento, considerado a principal matéria-prima), o que representa uma grande economia de energia.

No momento, a extração encontra-se paralisada, porém se a mineração retornar a atividade, a freqüente extração desse material, muito em breve, fará desaparecer o único exemplo conhecido de rochas piroclásticas de idade cretácea em bacias sedimentares no Brasil.

## Sugestões dos Autores

Considerando, por um lado, que a preservação dos sítios geológicos faz parte de um programa internacional do qual o Brasil participa, e conseqüentemente que há um interesse nacional neste programa e, por outro lado, que os recursos minerais são bens da União que os cede em concessão às empresas privadas, entendo que exista meio legal de obter a concordância da empresa para a individualização de uma pequena área para preservação dessas rochas.

O ideal seria delimitar, com o apoio do DNPM, uma área de 100 a 150 m<sup>2</sup>, em uma região que não inviabilize o prosseguimento das atividades de lavra. Essa área seria útil não somente para proteção desse patrimônio geológico, mas também serviria como exemplo didático em aulas de campo (interesse científico).

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo – PRH-22/ANP pelo suporte financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG/UFRN) pelo apoio logístico. Agradecimentos também são feitos aos revisores pelas excelentes sugestões para o melhoramento do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnosio, J.M. 2002. *Volcanismo, geoquímica y petrología del Volcan Chimpa (24° LS-66° LO), Provincia de Salta, Republica Argentina*. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Salta/Argentina, Tesis Doctoral, 139p.
- Borba, G.S. 1975. *Rochas vulcânicas da faixa costeira sul de Pernambuco. "Aspectos petrográficos e geoquímicos"*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 134p.
- Cas, R.A.F.; Wright, J.V. 1987. *Volcanic succession, modern and ancient: a geological approach to processes, products and successions*. London, Allen & Unwin, 528 pp.
- Chang, H.K.; Kowsmann, R.O.; Figueiredo, A.M.F. 1990. Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do Leste brasileiro. In: Raja Gabaglia, G.P. and Milani, E.J. (eds.), *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. PETROBRAS, Rio de Janeiro: 269-289.
- Clemens, J.D.; Wall, V.J. 1984. Origin and evolution of a peraluminous silicic ignimbrite suite: the Violette Town Volcanics. *Contribution of Mineralogy and Petrology.*, **88**: 354-371.
- Conceição, J.C.J.; Zalan, P.V.; Wolff S. 1988. Mecanismo, evolução e cronologia do Rift Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **2** (2-4), 255-265.
- Cruz, L.R.; Lima Filho, M.F.; Neumann, V.H.M.L.; Jardim de Sá, E.F.; Alves da Silva, F.C.; Frutuoso Jr., L.J.; Nascimento, M.A.L.; Guedes, I.M.G.; Antunes, A.F.; Almeida, C.B.; Melo, K.J.V. 2003. As unidades siliciclásticas da Sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica. In: Cong. Bras. P & D em Petróleo e Gás, 2, Rio de Janeiro, Resumos, 50-50 e CD-Rom, 6p.
- Evensen, N.H.; Hamilton, P.J.; O'Nions, R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorite. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **42**: 1199-1212.
- Fisher, R.V.; Schmincke, H.U. 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 pp.
- Gibson, I.L.; Tazieff, H. 1967. Additional Theory of origin of fiamme in ignimbrites. *Nature*, **215**: 1473-1474.
- Jardim de Sá, E.F.; Silva, F.C.A.; Lima Filho, M.F.; Antunes, A.F.; Cruz, L.R.; Almeida, C.B.; Nascimento, M.A.L.; Guedes, I.M.G.; Frutuoso Jr., L.J.; Souza, Z.S.; Neumann, V.H.M.L., 2003. As relações de borda da seqüência rifte na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: II Congresso de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 47-47.
- Kurchavov, A.M.; Shatagin, K.N. 1999. Genesis of fiamme-shaped segregations in ignimbrites of the Korgantas Massif, Central Kazakhstan: geological, petrographic and isotopic - geochemical evidence. *Petrology*, **7**: 304-321.
- Le Maitre, R.W. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 193p.
- Lima Filho, M.F.; Szatmari, P. 2002. Ar-Ar geochronology of volcanic rocks of the Cabo Magmatic Province (CMP) – Pernambuco Basin. In: SBG/Núcleo Norte, Simp. sobre Vulcan. e Amb. Assoc., 2, Belém, *Resumo*, 59-59.
- Lima Filho, M.F. 1998. *Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 139p.
- Lima Filho, M.F. 2001. A bacia costeira de Pernambuco. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Nac. Est. Tect., 8, Recife, *Roteiro de Excursão*, 6p.
- McBirney, A.R. 1968. Second additional theory of origin of fiamme in ignimbrites. *Nature*. **217**: 938-938.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rocks series. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **66**: 91-104.
- Nascimento, M.A.L. 2003. Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da Província Magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil). Tese de Doutorado, Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 235p.
- Nascimento, M.A.L.; Vasconcelos, P.M.; Souza, Z.S.; Jardim de Sá, E.F.; Carmo, I.O.; Thiede, D. 2003a. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of the Cabo Magmatic Province, Pernam-



- bucu Basin, NE Brazil. In: Actas IV Symp. South America Isotope Geol., Brasil, Cd-rom.
- Nascimento, M.A.L.; Souza, Z.S.; Arnosio, J.M. 2003b. Vulcanismo ácido explosivo na Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: SBG-Núcleo NE, 20, Simp. Geol. do NE, Fortaleza/CE, 67-67.
- Pearce, J.A.; Harris, N.B.W.; Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**: 956-983.
- Pinho, M.A.S. 2002. Proposta de nova terminologia estratigráfica para rochas vulcano-plutônicas paleoproteróicas do norte do Estado de Mato Grosso, porção ocidental sul do Cratón Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(1): 153-156.
- Rocha, D.E.G.A. 1990. Programa levantamento geológico básico do Brasil: carta geológica, carta metalogenética/previsional. Escala 1/100.000 (folha SC.25-V-A-II - vitória). Estado de Pernambuco. Brasília DNPM/CPRM. 112p. il., 2 mapas.
- Sial, A.N. 1976. The magmatic province of Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco: a Brazilian record of the ascension plume activity in the past. In: Latin-Americ. Geol. Cong., 3, Acapulco, 105-105.
- Sivieiro, R.S.; Ramage, L.; Meneget, R.; Mizusaki, A.M.P. 2005. Caracterização dos ignimbritos da Formação Serra Geral na região de Sananduva, Terra Indígena de Ligeiro, RS. In: Simp. de Vulc. e Amb. Assoc., 3, Rio de Janeiro, em CD-Rom.
- Smith, T.R.; Cole, J.W. 1997. Somers Ignimbrite Formation: cretaceous high-grade ignimbrites from South Island, New Zealand. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, **75**: 39-57.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D.; Pierosan, R. 2003. Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no Vulcanismo Ácido Neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense. *Pesquisas em Geociências*, **30**(1): 3-26.
- Thiéblemont, D.; Tégyey, M. 1994. Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calcio-alcalins. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **319**: 87-94.
- Thompson, R.N. 1982. Magmatism of the British tertiary volcanic province. *Scott. J. Geol.*, **18**: 49-107.
- Vandoros, P.; Valarelli, J.V. 1976. Geologia da região do Cabo de Santo Agostinho, PE. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Cong. Bras. Geol., 29, Ouro Preto, *Res. Comun.*, 19-19.
- Vandoros, P.; Cordani, U.; Matzko, J.J. 1966. Idades absolutas das rochas ígneas da região do Cabo. In: SBG/Núcleo Sudeste, Cong. Bras. Geol., 20, Vitória, *Anais*, **1**: 64-66.
- Wildner, W.; Orlandi Filho, V.; Giffoni, I.E. 2006. Itaimbezinho e Fortaleza, RS e SC - *Magníficos canyons esculpidos nas escarpas Aparados da Serra do planalto vulcânico da Bacia do Paraná*. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.) Sítios geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na Internet em 01/07/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio050/sitio050.pdf>
- Wright, J.B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Magaz.*, **106**: 370-384.
- Wright, J.V.; Walker, G.P.L. 1977. The ignimbrite source problem: significance of a co-ignimbrite lag-fall deposit. *Geology*, **5**: 729-732.1.

<sup>1</sup> Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1678, CEP 59078-970, Natal, RN, Brasil, e-mail: marcos@geologia.ufrn.br

<sup>2</sup> Departamento de Geologia e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1502, CEP 59078-970, Natal/RN, Brasil, zorano@geologia.ufrn.br

<sup>3</sup> Instituto Geonorte, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, marnosio@unsa.edu.ar

<sup>4</sup> Department of Earth Sciences, The University of Queensland, Brisbane Qld 4072, Australia, paulo@earth.uq.edu.au

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP <<http://www.unb.br/ig/sigep>>, em 25/9/2008.



#### **MARCOS ANTONIO LEITE DO NASCIMENTO**

Possui graduação em Geologia (1998) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado (2000) e Doutorado (2003) pela Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, desenvolvendo pesquisas na área de Petrologia Ígnea. Foi geólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2007-2009) atuando como Chefe do Projeto Folha Currais Novos (1:100.000), coordenador do Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte e membro da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) pela CPRM. Atualmente Professor I do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Petrologia Ígnea, Geologia de Campo, Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo.



#### **ZORANO SÉRGIO DE SOUZA**

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1984), mestrado em Etudes Supérieures en Sciences – Université de Rennes I Geosciences (1991), doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1994) e pós-doutorados pela Universidade Blaise Pascal (Clermont-Ferrand, França, 1997-1998) e Universidade de Queensland (Brisbane, Austrália, 2005-2006). Atualmente é professor associado I, fazendo parte do Departamento de Geologia e do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência em Geologia de Campo, Tectônica do Pré-Cambriano e Petrologia de Rocha Ígneas.



#### **JOSÉ MARCELO ARNOSIO**

Possui graduação em Geologia pela Universidad Nacional de Cordoba, Argentina (1986), doutorado em Ciencias Geologicas pela Universidad Nacional de Salta, Argentina (2002). Atualmente é professor de Petrologia I (Ígnea e metamórfica) e Geoquímica, fazendo parte do Departamento de Pós-Graduação da Universidad Nacional de Salta. Tem experiência em Vulcanologia com ênfase em Rochas Piroclásticas e lavas relacionadas a estratovulcões e caldeiras. Ministra anualmente curso na pós-graduação “Volcanismo de Campo en los Andes Centrales del Sur y Petrografia de rocas volcanicas lavicas y piroclasticas”. As áreas de pesquisa atuais incluem estratigrafia vulcânica de estratovulcões e caldeiras dos Andes Centrais e processos de mistura de magmas en rochas vulcânicas.



#### **PAULO MARCOS DE PAULA VASCONCELOS**

Possui graduação em Geologia pela University of Kansas (1983), graduação em Engenharia Química e do Petróleo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1980), graduação em Direito pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1979), mestrado em Geology pela University of Texas at Austin (1987), doutorado pela University of California (1992) e pós-doutorado pela University of California (1993). Atualmente é Associate Professor da University of Queensland e Professor Visitante da China University of Geoscience of Wuhan. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia atuando principalmente em datação de intemperismo pela metodologia  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .