

Classificação de rochas ígneas em perfis elétricos

Igneous rocks identification on well-log data

Wagner Souza-Lima | Gustavo de Carvalho Pinho | Patrícia Martins Silva |
Paulo Lopes Brandão Paraizo

Palavras-chave: rochas ígneas | magmatismo | Sub-bacia do Cabo |
classificação | perfis elétricos

Keywords: igneous rocks | magmatism | Cabo Sub-basin |
classification | electric logs

resumo

Apresenta-se uma tentativa de discriminar e caracterizar rochas ígneas em dados de perfis de poços, a partir do estudo da seqüência vulcânica atravessada pelo poço 9-JG-1-PE, perfurado na Sub-bacia do Cabo (Bacia de Sergipe-Alagoas), Nordeste do Brasil. Dados de perfis dos doze intervalos ígneos atravessados foram analisados em diagramas RHOBxPHIN e DTxRGxResistividade. Gráficos semelhantes foram construídos com dados obtidos do poço 1-CPE-1-PE, perfurado na mesma bacia, e com dados de rochas ígneas de outras bacias brasileiras. No primeiro diagrama (RHOBxPHIN), doze campos litológicos foram

discriminados, e suas características foram verificadas contra dados obtidos pela análise petrográfica. Duas tendências mostraram-se evidentes: a associação de rochas ígneas básicas (olivina-basalto, andesito, púmice basáltico e andesito basáltico) distribuídas ao longo da linha da dolomita, e a associação de rochas ácidas (traquiandesito/quartzo-latito, traquiandesito, traquito, olivina-traquiandesito e púmice ácido) coincidente com a linha da calcita. No diagrama DTxRGxResistividade, a associação básica ocorre na região de baixo RG, enquanto a associação ácida se distribui na região de alto RG. Foi realizada análise discriminante com os dados de perfil do poço JG-1, e os resultados checados, para validação, com as curvas do poço CPE-1. No primeiro poço, os índices de acerto variaram entre 82% e 100%. No segundo, houve perfeita identificação litológica, exceto nos casos de litotipos não existentes no poço JG-1. Uma das principais aplicações dessa técnica é a correlação estratigráfica das sucessões vulcânicas de bacias sedimentares, principalmente na ausência de bons marcadores bioestratigráficos.

introdução

A Sub-bacia do Cabo, situada na região Nordeste do Brasil (fig. 1a), representa o compartimento mais setentrional da Bacia de Sergipe-Alagoas. Embora seja uma das bacias costeiras brasileiras menos conhecidas, mapeamentos sistemáticos realizados em superfície e a perfuração de dois poços profundos e alguns poços rasos permitiram adquirir um conhecimento básico sobre sua estratigrafia (fig. 1b). Uma de suas particularidades geológicas é a presença de um expressivo conjunto de rochas ígneas (Formação Ipojuca), com idades que variam entre o Aptiano e o Turoniano (Legrand e Figueiredo Filho, 1979), que compõem a Província Magmática do Cabo. Esta unidade estratigráfica ocorre intercalada a uma seqüência siliciclástica denominada de Formação Cabo, depositada predominantemente por fluxos gravitacionais subaquosos, do Aptiano até, pelo menos, ao final do Albiano. Sua constituição principal são arenitos e conglomerados matriz-suportados, imaturos, com intercalações pouco expressivas de folhelhos. Nesse contexto composicional, o sucesso obtido na datação desta seção sedimentar através da utilização de microfósseis é muito baixo.

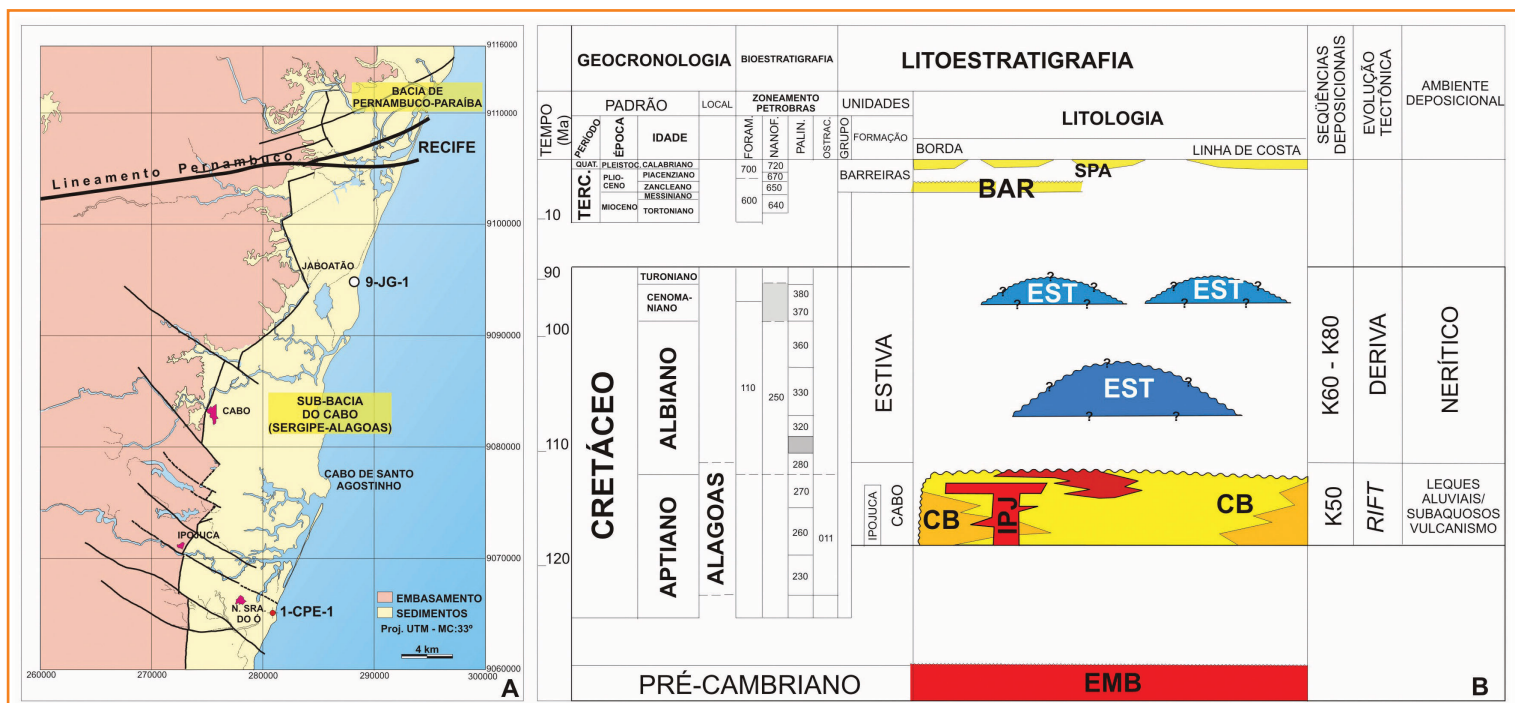
A intercalação da seção clástica com as rochas vulcânicas da Formação Ipojuca representa, principalmente pelo estudo de suas características petrográficas, uma clássica associação vulcano-sedimentar. Além da possibilidade de se obter a cronologia dos eventos deposicionais pela datação absoluta das rochas ígneas associadas, apresenta-se, neste estudo, um método que permite a classificação indireta de rochas com base nas características obtidas em perfis elétricos, possibilitando, por meio da discriminação de eventos ígneos, sua correlação lateral em subsuperfície.

métodos

A proposta de classificação de rochas ígneas baseada em características de perfis elétricos utilizou como base os estudos petrográficos efetuados por Souza-Lima e Pinho (1997) para o poço JG-1, perfurado próximo à cidade do Recife. Este poço atingiu uma profundidade total de 1 096 m, atravessando 12 níveis vulcânicos da Formação Ipojuca, intercalados aos arenitos e conglomerados da Formação Cabo. A suíte vulcânica atravessada é constituída por uma diversificada associa-

Figura 1
A) Mapa de localização da Sub-bacia do Cabo e de dois poços estudados; B) Carta estratigráfica simplificada para a porção terrestre da bacia do Cabo (modificada de Feijó, 1995).

Figure 1
A) Location map for the Cabo Sub-Basin and two studied wells; B) Simplified stratigraphic chart for the continental portion of the Cabo Sub-Basin (modified from Feijó, 1995).



ção de rochas de características alcalinas, tais como traquitos, andesitos, riolitos, basaltos, granitos e rochas vulcanoclásticas e piroclásticas, em níveis com espessura que variam entre 3 m e 90 m. Como o poço não foi testemunhado, os estudos tiveram como base a análise de amostras de calha. Tendo em vista as restrições inerentes ao uso de amostras de calha, elas foram separadas com base na abundância decrescente dos litotipos encontrados em cada intervalo.

Os dados de perfis para os intervalos que atravessaram rochas ígneas foram plotados em diagramas clássicos RHOBxPHIN (densidade x porosidade nêutron) e DTxRGxILD (sônico x raios gama x resistividade profunda) com o intuito de verificar padrões de distribuição consistentes com as características petrográficas obtidas para cada intervalo.

Dados de perfis elétricos obtidos de um outro poço profundo, perfurado na mesma sub-bacia (CPE-1), foram plotados nos mesmos diagramas. Apesar da grande diversidade de rochas ígneas amostradas, alguns tipos relativamente comuns não estão representados, sendo o conjunto incrementado com dados de rochas ígneas provenientes de outras bacias sedimentares do Brasil.

Por fim, os perfis do poço JG -1 foram submetidos à análise discriminante, e os resultados foram checados, para validação da técnica, com as curvas do poço CPE-1. Para análise discriminante foi utilizado o programa SAS (versão 6.11). As curvas utilizadas foram GR (raios gama), PHIN (porosidade nêutron), DT (sônico) e ILD (resistividade profunda).

resultados

A análise dos diagramas permitiu a individualização de doze campos, diretamente relacionados à caracterização petrográfica realizada (Souza-Lima e Pinho, 1997). No diagrama RHOBxPHIN, dois *trends* ficaram evidentes (fig. 2): a associação de rochas básicas (olivina-basalto, andesito, púmice basáltico e basalto andesítico) está distribuída ao longo da linha da dolomita, e a distribuição da associação de rochas ácidas (traquiandesito/quartzo-latito, traquiandesito, traquito, olivina-traquiandesito e púmice ácido) coincide com a linha da calcita. Nota-se que ocorre sobreposição de alguns campos representativos de rochas genética-

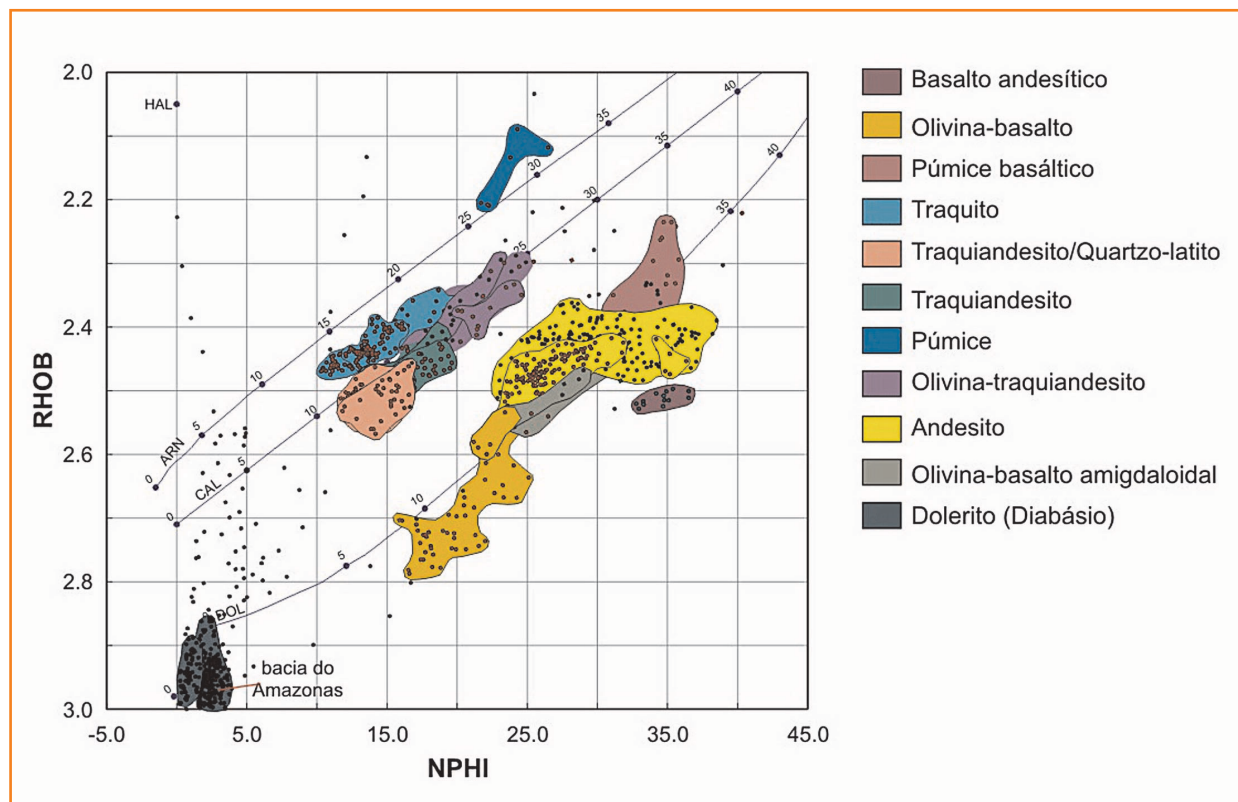


Figura 2

Diagrama RHOBxPHIN para rochas ígneas da Sub-bacia do Cabo (poço JG-1) e Bacia do Amazonas (onde indicado).

Figure 2

RHOBxPHIN crossplot for igneous rocks from the Cabo Sub-basin (JG-1 well) and Amazonas Basin (where indicated).

mente relacionadas, p. ex., quartzo-latito com traquiandesito e andesito com olivina-basalto. Um *trend* de depleção de sílica segue também a linha da calcita, com valores maiores correspondendo a rochas com baixo teor de sílica (olivina-traquiandesito).

O decréscimo esperado da densidade devido à vesicularidade torna-se claro no campo dos olivina-basaltos (rochas não-vesiculares *versus* rochas amigdaloidais). Rochas altamente porosas estão distribuídas na porção superior direita do diagrama (p. ex., púmices).

No diagrama DTxRGxILD, os campos de distribuição dos litotipos são evidentes, ocorrendo uma clara diferenciação entre as associações ácidas e básicas (fig. 3). A associação de rochas básicas ocorre na região de baixos valores de raios gama (região esquerda do diagrama), ao passo que a associação de rochas ácidas está distribuída na região de altos valores de raios gama (região direita do diagrama), o que reflete, principalmente, a composição por feldspatos potássicos.

Entre as rochas ácidas, os riolitos apresentam valores de RG maiores do que os traquitos e

traquiandesitos, porém faixa de resistividades similares (geralmente entre 2 e 2000 ohm.m/m²). A sobreposição dos campos litológicos é também comum entre rochas geneticamente relacionadas. O efeito da porosidade das rochas amigdaloidais e dos púmices é bem definido por um *trend* em direção à porção inferior do diagrama.

Dados de perfis elétricos de rochas ígneas provenientes do poço CPE-1 e de outras bacias brasileiras foram plotados nos mesmos diagramas (figs. 3 e 4), fornecendo dados adicionais para análise. Essa análise foi limitada pela ausência de dados de densidade (RHOB) e porosidade nêutron (PHIN) para a maioria dos poços disponíveis.

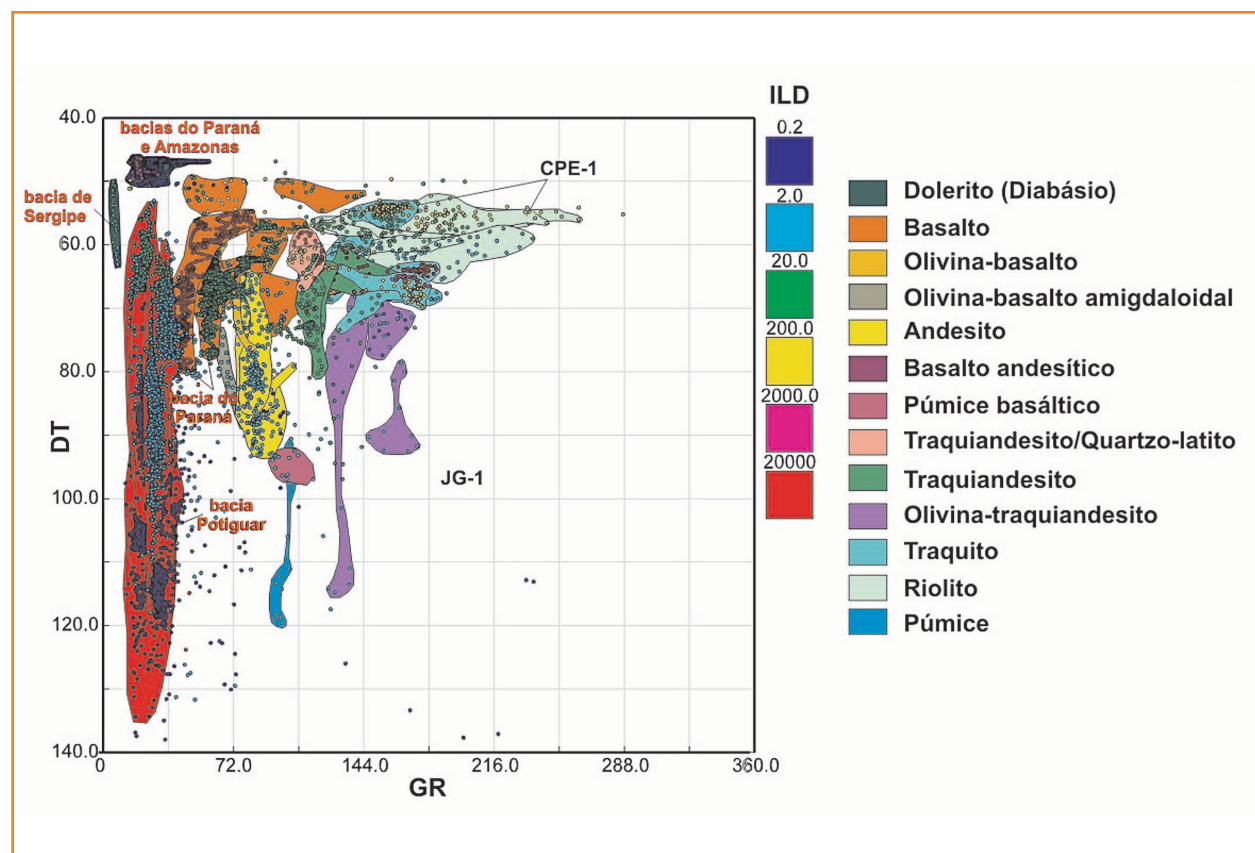
A distribuição dos dados do poço CPE-1 foi confrontada com a análise petrográfica realizada para este mesmo poço (Pinho, 1994), mostrando coerência na classificação. Nota-se, ainda, que os doleritos (diabásios) estão distribuídos na porção esquerda mais superior do diagrama DTxRGxILD (fig. 3). Seguindo-se essa distribuição, observa-se que algumas rochas ígneas identificadas como basaltos na Bacia do Paraná seriam, na realidade, doleritos.

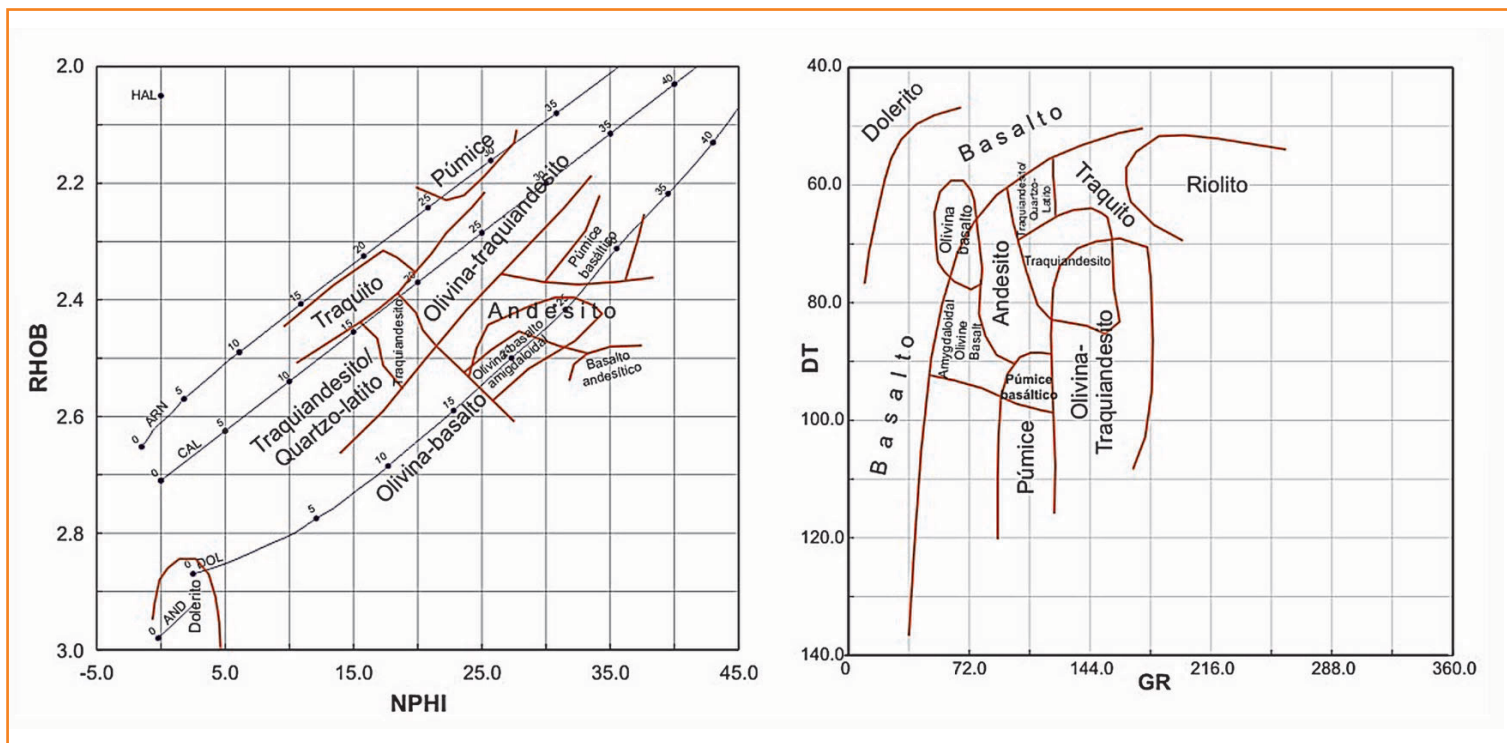
Figura 3

Diagrama DTxRGxILD abrangendo rochas ígneas das bacias do Paraná, Amazonas, Potiguar e Sergipe, conforme indicado. Os demais campos correspondem às rochas da Sub-bacia do Cabo (poços JG-1 e CPE-1). Os valores de resistividade estão representados pelos pequenos pontos coloridos.

Figure 3

DTxGRxResistivity Z-Plot of igneous rocks from Paraná, Amazonas, Potiguar and Sergipe basins where indicated. Other fields are from Cabo Sub-basin (JG-1 and CPE-1 wells). Resistivity values (ILD) are represented by the small coloured dots.





Os basaltos ocorrem, preferencialmente, na porção esquerda do diagrama DTxRGxILD, imediatamente abaixo dos doleritos, exibindo valores de sônico (DT) bastante variáveis. É possível que os valores mais altos estejam relacionados à vesicularidade, porém isso não foi investigado.

No poço CPE-1 (Sub-bacia do Cabo) predominam basaltos e riolitos. Há uma clara tendência dos riolitos sobreporem-se aos campos de traquitos, porém suas distribuições gerais estão localizadas na região de altos valores de raios gama (RG).

Com base nas análises efetuadas nos diagramas, procurou-se delimitar campos teóricos de classificação litológica (fig. 4). Como ocorre superposição de alguns desses campos, a utilização dos dois diagramas reduzirá possíveis erros na classificação. Alguns campos não estão contemplados nos dois diagramas devido à ausência de dados (principalmente RHOB e PHIN) em alguns dos poços analisados.

análise discriminante

Foi utilizada análise discriminante sobre os dados de perfis do poço JG-1 a fim de se verificar

a coerência da classificação proposta. Esta técnica é comumente aplicada para o reconhecimento de fácies em rochas sedimentares. No caso da presente análise, a distinção de fácies teve como base a descrição petrográfica previamente efetuada, agrupando os litotipos em oito classes: 1) olivina-basalto e olivina-basalto amigdaloidal, 2) olivina-traquiandesito, 3) traquito, 4) traquiandesito, 5) púmice ácido, 6) púmice básico, 7) andesito e 8) basalto andesítico.

A análise discriminante é uma técnica que permite definir grupos num conjunto de dados segundo um conceito de proximidade. No caso em questão, trata-se de analisar os valores numéricos dos diferentes perfis para cada tipo litológico e definir uma função matemática que calcule a distância de cada ponto em relação à posição do tipo litológico. O percentual de acertos para a análise discriminante foi superior a 70%, independente das curvas utilizadas, porém os melhores índices foram obtidos com a utilização das curvas RG, RHOB, PHIN e DT.

Para validação dos resultados, a função matemática definida no poço JG-1 foi aplicada no poço CPE-1. Este poço atravessou a mesma sucessão ígnea que o poço JG-1, embora alguns litotipos encontrados tenham sido diferentes. Mesmo

Figura 4

Campos de classificação de rochas ígneas nos diagramas RHOBxPHIN e DTxRGxILD. Os limites são essencialmente teóricos, tendo em vista que alguns deles podem se sobrepôr.

Figure 4

Igneous rocks fields on RHOBxPHIN and DTxGR crossplots. Boundaries between fields are rather theoretical (some may indeed overlap).

assim o índice de acerto foi alto, apesar de alguns intervalos terem sido identificados como rochas estreitamente correlatas, no caso dos litotipos inexistentes no poço JG - 1 (p. ex., riolitos).

conclusões

Embora não seja usual a identificação de rochas ígneas durante a perfuração de poços, a metodologia aqui apresentada permite, através da utilização de parâmetros obtidos em perfis elétricos, a sua identificação, independente da preparação de lâminas delgadas e descrição petrográfica. Uma das principais aplicações desta técnica seria a facilidade de caracterização de eventos ígneos passíveis de serem utilizados na correlação de sucessões vulcânicas em bacias sedimentares, principalmente na ausência de dados bioestratigráficos. A seqüência vulcânica existente na Sub-bacia do Cabo, em Pernambuco, representa um exemplo adequado à aplicação desta metodologia. A conjugação das correlações entre poços e seções sísmicas utilizando esta metodologia permitirá um incremento sensível na interpretação regional de bacias sedimentares.

agradecimentos

À Daisy Barbosa Alves pelo convite em submeter esse manuscrito para publicação, como resultado do primeiro Simpósio sobre Magmatismo em bacias sedimentares, promovido pela Petrobras.

referências bibliográficas

FEIJÓ, F. J. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-162, jan./mar. 1994.

LEGRAND, J. M.; FIGUEIREDO FILHO, O. A. Reavaliação dos dados isotópicos da província magmática do Cabo, com base nos estudos petrográficos do granito do Cabo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9., 1979, Natal. **Resumo das comunicações...** Natal : Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Nordeste, 1979, p. 111-117.

PINHO, G. de C. **Descrições de lâminas delgadas de amostras de calha do poço 2-CPE-1-PE**. PETROBRAS. DENEST. DIREX. SELAG, 1994. Relatório interno.

SOUZA-LIMA, W. S.; PINHO, G. de C. Petrographic characterisation of the syn-rift volcanics from the Cabo Province, Northeastern Brazil, and its relationships to the surrounding sediments. In: ANNUAL MEETING OF INTERNATIONAL GEOLOGICAL CORRELATION PROGRAM, 2., 1997. Cameroon. **Expanded abstracts...** Yaoundé, Cameroon : UNESCO, 1997. IGCP, Project 381, South Atlantic Mesozoic Correlations.

abstract

An attempt to discriminate and characterise igneous rocks on well-log data is made in a well drilled on the Cabo Sub-basin (JG-1 well, Sergipe-Alagoas Basin), situated on the northeastern coast of Brazil. Log data from the twelve drilled igneous intervals were analysed on RHOBxPHIN and DTxGRxResistivity cross plots. Similar diagrams were constructed for igneous data from the 1-CPE-1-PE well, drilled on the same basin, and with igneous data from other Brazilian basins. At the RHOBxPHIN cross plot, twelve lithologic fields were discriminated, and their characteristics verified against petrographic data. Two trends are perceptible: the basic rocks set (olivine-basalt, andesite, basaltic pumice and basaltic andesite) distributed along the dolomite line, and the acid rocks set (trachyandesite/quartz-latite, trachyandesite, trachyte, olivine-trachyandesite and acid pumice) coincident with the calcite line. At the DTxGRxResistivity cross plot, the basic set occurs around low-GR field, and the acid set is distributed around high-GR field. The JG-1 well's log data were submitted to discriminant analysis, and the results were checked against the CPE-1 well's curves, for validation. For the first well, the hits ranged from 82 and 100%. For the second well, a perfect lithologic identification was obtained, except for those cases where the lithotypes does not exist in the JG-1 well. One of the main applications for this technique is the stratigraphic correlation for the volcanic successions from sedimentary basins, mainly in the absence of good biostratigraphic markers.

autor principal



Wagner Souza-Lima

Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas

Ativo de Exploração

Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica

e-mail: wagnersl@petrobras.com.br

Wagner Souza-Lima, graduado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia em 1987, ingressou na Petrobras em 1990. Atuou no acompanhamento geológico entre 1990 e 1995, ingressando na Gerência de Interpretação Exploratória, onde atua até hoje. Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, com bolsa parcial no *Geologisches - Palaontologisches Institut da Universität Heidelberg*, Alemanha, concluído em 2001. Especialização em Interpretação de rochas carbonáticas no convênio Petrobras – Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP em 2004.