



**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia  
Centro-Ocidental através da Interpretação de Perfis Geofísicos**  
Determination of Porosity and Permeability of the Central-Western Urucuia  
Aquifer System through the Interpretation of Geophysical Logs

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

*Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, Rua Barão de Jeremoabo s/n, 40170-290, Ondina, Salvador, BA, Brasil*

*E-mails: rafael\_iss@hotmail.com; ndbarbosa@ufba.br*

Recebido em: 31/07/2018 Aprovado em: 13/05/2020

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_3\\_323\\_333](http://doi.org/10.11137/2020_3_323_333)

## Resumo

Nos estudos hidrogeológicos, a porosidade e permeabilidade caracterizam as rochas em relação ao armazenamento e a transmissão de fluidos nos aquíferos. Neste trabalho, os parâmetros petrofísicos foram obtidos através das informações contidas em cinco perfis geofísicos de poços com a integração dos dados do tempo de trânsito das ondas acústicas e da contagem em unidades API (*American Petroleum Institute*) dos raios gama. Nesse contexto, a área de estudo compreende uma associação de duas unidades hidroestratigráficas inter-relacionadas (Formações Posse e Serra das Araras) com características hidráulicas específicas, individualizadas por propriedades petrofísicas e sedimentológicas contrastantes ao longo de sua área de abrangência, segundo uma orientação de ENE (área fonte) para WSW (área deposicional). Nesse *trend*, a variação das propriedades petrofísicas sugere que os principais resultados obtidos indicam: (i) um aumento nos valores médios de argilosidade (VSH) para a Formação Posse e, conseqüentemente, uma diminuição na porosidade total ( $\phi$ ) devido ao processo de infiltração mecânica das argilas que funcionam como uma pseudomatriz dos arenitos eólicos, caracterizado por um aumento da VSH com a profundidade. Já os parâmetros porosidade efetiva ( $\phi_e$ ) e permeabilidade ( $k$ ) apresentam uma tendência de aumento em razão de um maior grau de seleção das partículas do arcabouço; (ii) para a Formação Serra das Araras é verificado uma diminuição no VSH ao longo de sua extensão, devido a uma maior variação litológica, e em profundidade, como uma consequência de uma infiltração mecânica das argilas intersticiais para a unidade subjacente. Na porção centro-oriental da bacia hidrogeológica ocorre uma diminuição significativa nos valores médios de  $\phi$ ,  $\phi_e$  e  $k$  devido a uma maior frequência e espessura de níveis silicificados e fraturados que compõe o Sistema Aquífero Urucuia (SAU). De modo geral, os parâmetros petrofísicos se relacionam a dois importantes reservatórios do SAU – Aquífero Posse e Aquífero Serra das Araras – permoporosos, contíguos e segmentados por níveis/horizontes silicificados e fraturados que representam aquitardes e, provavelmente, conferem uma conexão hidráulica (*i.e.*, drenança) entre as unidades litoestratigráficas.

**Palavras-chave:** *Parâmetros petrofísicos; Perfis geofísicos de poços; Grupo Urucuia*

## Abstract

Porosity and permeability are properties which characterize rocks with respect to the storage and transmission of fluids in aquifers. In the present work, petrophysical parameters were obtained through the information contained in five geophysical well logs with integration of the acoustic wave transit time and the score data in gamma-ray API units. In this context, the study area comprises an association of two interrelated hydrostratigraphic units (Posse and Serra das Araras Formations) with specific hydraulic characteristics, individualized by contrasting petrophysical and sedimentological properties along their area of occurrence and according to ENE (source area) to WSW (depositional area) orientation. In this trend, the variation of petrophysical properties suggests the main results indicate: (i) an increase in the medium values of shaliness (VSH) for the Posse Formation and, consequently, a decrease in the total porosity ( $\phi$ ) due to the mechanical infiltration process of clays that function as a pseudomatrix of the aeolian sandstones, characterized



by an increase of the VSH with the depth. However, the effective porosity ( $\phi_e$ ) and permeability ( $k$ ) parameters show a tendency to increase due to a higher particles sorting in the framework; (ii) for Serra das Araras Formation, there is a decrease in VSH, both spatial, due to a greater lithological variation, and in depth, as a consequence of a mechanical infiltration of interstitial clays to the underlying unit. In the central-eastern portion of the hydrogeological basin there is a significant decrease in the medium values of  $\phi$ ,  $\phi_e$  and  $k$  due to a higher frequency and thickness of silicified and fractured rocky levels that make up the Urucuia Aquifer System (UAS). Generally, the petrophysical parameters are related to two important reservoirs of the UAS (Posse and Serra das Araras Aquifers), permoporous, contiguous and segmented by silicified and fractured rocky levels/horizons representing aquitards and probably provide a hydraulic connection (*i.e.*, leakage) between the lithostratigraphic units.

**Keywords:** *Petrophysical parameters; Geophysical well logs; Urucuia Group*

## 1 Introdução

A porosidade e permeabilidade são parâmetros marcadores da evolução dos processos sedimentares e influenciam diretamente na capacidade de armazenamento e transmissão de fluidos em aquíferos. São propriedades de grande interesse na geologia, determinadas a partir da integração de informações dos perfis geofísicos de poços abertos, dados sedimentológicos ou através da interpretação petrofísica.

A determinação dos parâmetros petrofísicos (*e.g.*, porosidade e permeabilidade) ocorre normalmente por métodos indiretos (*e.g.*, perfis geofísicos) e convencionais. Os primeiros possuem vantagens por não serem invasivos à formação, de rápida determinação e podem fornecer resultados satisfatórios em pequenas escalas, no que se refere a heterogeneidade das unidades geológicas. Já os últimos apresentam bons resultados em amostras homogêneas.

A área de estudo integra o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) que compõe uma associação de aquíferos relacionados a unidade litoestratigráfica do Grupo Urucuia (Gaspar & Campos, 2007). Esse sistema é composto predominantemente por arenitos, em geral dispostos na forma de um amplo tabuleiro de relevo relativamente plano limitado por escarpas abruptas, configuração que favorece a infiltração e a percolação das águas subterrâneas. No entanto, apesar de reconhecido como um excelente sistema aquífero, tanto em reservas hídricas quanto em produtividade dos poços, os dados relativos aos parâmetros petrofísicos (*i.e.*, porosidade efetiva) são superestimados ou obtidos na literatura em valores de arenitos eólicos específicos (*e.g.*, Gaspar & Campos, 2007).

A integração entre as informações dos perfis de raios gama (GR) e sônico (DT) é bem conhecida na geofísica de poço (Stieber, 1970; Raymer *et al.*, 1980; Jorgensen, 1989; Schlumberger, 1989; Nery, 1995). Entretanto, existem poucas relações quantitativas entre porosidade e permeabilidade (Winsauer *et al.*, 1952; Bear, 1972; Jorgensen, 1989). Dessa forma, o presente trabalho objetiva a determinação dos parâmetros petrofísicos (*i.e.*, porosidade total, porosidade efetiva e permeabilidade intrínseca) das unidades litoestratigráficas no SAU Centro-Occidental através da análise, interpretação e correlação de perfis geofísicos de poços. Os resultados alcançados

devem subsidiar cálculos de reservas hídricas subterrâneas e contribuir para o desenvolvimento de políticas de gestão e uso das águas, visto que o SAU corresponde ao principal manancial subterrâneo que destina, através do escoamento de base, vazões significativas aos rios afluentes da margem esquerda do rio São Francisco.

## 2 Contexto Geológico e Hidrogeológico

O Grupo Urucuia é uma unidade litoestratigráfica que compreende a sedimentação neocretácea da Bacia Sanfranciscana (Sgarbi, 1989). Em geral, possui maior distribuição em área, potencialidade hidrogeológica e espessura nas porções centro-setentrionais onde ocorre de forma contínua (Figura 1). Já nas porções meridionais apresenta um baixo potencial hidrogeológico e dispõe-se em afloramentos descontínuos e segmentados (Campos & Dardenne, 1999). O substrato regional dessa unidade, em grande parte, é composto pela sequência metapelito-carbonática do Grupo Bambuí, localmente pelo embasamento granito-gnáissico, na porção setentrional pelos sedimentos paleozoicos da Bacia do Parnaíba, além de outras unidades fanerozoicas da bacia Sanfranciscana (Sgarbi, 1989; Campos & Dardenne, 1997) (Figura 1).

É subdividido em duas unidades litoestratigráficas: a inferior, Formação Posse, e a superior, Formação Serra das Araras (Campos & Dardenne, 1997, 1999). A superfície que as limita é erosiva e marca uma drástica mudança climática, flutuação do nível de base e mudanças no padrão de sedimentação (Spigolon & Alvarenga, 2002). Essas variações resultam em diferenças espaciais nas propriedades dos sedimentos (*i.e.*, granulometria e grau de seleção), na história diagenética e, portanto, nos parâmetros petrofísicos.

A Formação Posse é constituída por arenitos muito finos a médios e bem selecionados. Apresenta estratificações cruzadas de grande porte, geralmente truncadas por estratificações horizontais e de baixo ângulo, típicas de lençóis arenosos e campo de dunas em um ambiente desértico (Campos & Dardenne, 1994, 1997, 1999; Spigolon & Alvarenga, 2002; Barbosa, 2016). Já a Formação Serra das Araras é composta por ciclos de sedimentação superpostos de conglomerados, arenitos e argilitos, depositados em sequências fluviais entrelaçadas. Durante a sedimentação dessa unidade, um processo de

**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos**

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

infiltração mecânica das argilas ocorre nos sedimentos eólicos subjacentes (*i.e.*, Formação Posse), e resulta na redução das condições permoporosas (Campos & Dardenne, 1999). Nessa unidade, ocorrem horizontes tabulares (de até 8 m de espessura) extensos e descontínuos de arenitos silificados e fraturados que são verificados em várias posições estratigráficas (Campos & Dardenne, 1999; Barbosa *et al.*, 2017).

A área-fonte dos sedimentos do Grupo Urucuia é, provavelmente, a porção nordeste da Serra do Espinhaço Setentrional, o que é corroborado por dados estatísticos de paleocorrentes das estratificações cruzadas de grande porte, com orientação preferencial N240°- 250° (Campos & Dardenne, 1999; Barbosa, 2016). Nesse contexto, as principais modificações verificadas nas propriedades petrológicas, petrofísicas e hidrodinâmicas dos sedimentos

ocorrem segundo o *trend* de ENE (área-fonte) para WSW (área-deposicional) (Barbosa *et al.*, 2017).

A bacia hidrogeológica é assimétrica devido à presença, no extremo ocidental, de um eixo divisor do fluxo subterrâneo de direção aproximada norte-sul. Essa feição proporciona uma rápida depleção da superfície potenciométrica e recarga das nascentes situadas nas quebras de relevo que as limitam (Gaspar, 2006; Gaspar & Campos, 2007; Barbosa *et al.*, 2014). Os diferentes tipos de aquíferos existentes apresentam porosidades intergranulares (*i.e.*, unidades litoestratigráficas) e por fratura (*i.e.*, silicificação nos arenitos). Esse último, devido à baixa capacidade de armazenamento, atua provavelmente como aquitarde e segmenta as diferentes unidades aquíferas (Barbosa *et al.*, 2014; Barbosa *et al.*, 2017).

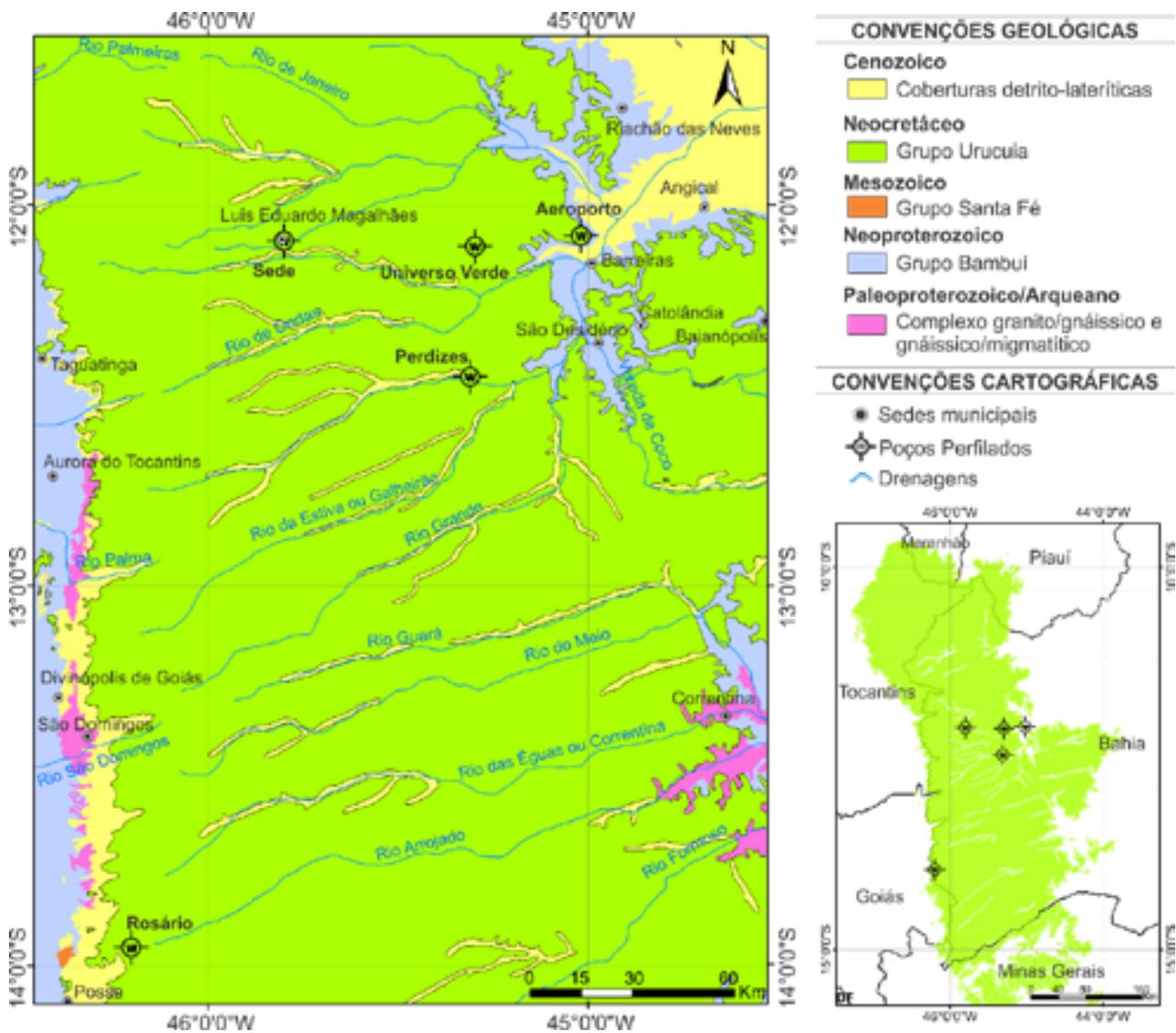


Figura 1 Mapa geológico do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental com a localização dos poços perfilados.

**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos**

*Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa*

### 3 Métodos

Cinco perfis geofísicos de poços foram obtidos através do banco de dados da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) (*i.e.*, Barreiras–Aeroporto, Barreiras–Universo Verde, Luís Eduardo Magalhães–Sede, Correntina–Rosário) e da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (SRH–BA) (*i.e.*, São Desidério–Perdizes) (Nascimento, 2002).

A operação de perfilagem e o processamento dos dados foram executados pela HYDROLOG Serviços de Perfilagem e as curvas produzidas pelo *software* HYDROLOG™. Os dados de profundidade (em metros), raios gama (GR, em unidades API) e sônico (DT,  $\mu\text{sec}/\text{ft}$ ) são apresentados através de arquivos digitais em formato LAS (*Log ASCII Standard*) e normalizados em padrão API (*American Petroleum Institute*).

A análise qualitativa dos perfis geofísicos possibilitou a determinação de eletrofácies que auxiliam na definição dos contatos, na interpretação litológica e na correlação entre os poços. Na análise quantitativa, as informações de tempo de trânsito das ondas sonoras (DT) e a contagem em unidades API dos raios gama (GR) são registros dos poços

que possibilitam a obtenção dos valores de porosidade total ( $\phi$ ), porosidade efetiva ( $\phi_e$ ) e permeabilidade intrínseca ( $k$ ), os quais consideram o parâmetro argilosidade e os efeitos da matriz.

Os valores das propriedades petrofísicas foram estabelecidos em intervalos de cinco metros de profundidade. Em cada intervalo, foi aplicado a sequência metodológica com: (i) a determinação da argilosidade (VSH) obtida pelo cálculo do índice de argilosidade (IGR) através da análise da curva GR e da aplicação da equação de Stieber (1970); (ii) cálculo da ( $\phi$ ) por intermédio da equação de Raymer *et al.*, (1980) que se baseia nos dados de tempo de trânsito de ondas acústicas (DT), e apresenta resultados satisfatórios para rochas friáveis, compactadas e que independe do fluido intersticial (Schlumberger, 1989; Cannon, 2016); (iii) a ( $\phi_e$ ), determinada através da relação empírica entre a ( $\phi$ ) e VSH (Schlumberger, 1989); e (iv) a ( $k$ ) obtida pela equação de Winsauer *et al.*, (1952) que depende da ( $\phi_e$ ) e do fator de cimentação ( $m$ ). Ao parâmetro ( $m$ ) são atribuídos valores de 1,8 e 2,0 para as Formações Posse e Serra das Araras, respectivamente (Assaad *et al.*, 2004; Nascimento & Lima, 2013) (Tabela 1).

Parâmetro	Equação	Autores
Argilosidade (VSH)	Índice de argilosidade: $\text{IGR} = \frac{\text{GR}_{\text{log}} - \text{GR}_{\text{min}}}{\text{GR}_{\text{máx}} - \text{GR}_{\text{min}}}$ $\text{VSH} = \frac{\text{IGR}}{A - (A - 1) \cdot \text{IGR}}$ $A = 2, \text{ para rochas neocretáceas}$	Stieber (1970)
Porosidade total ( $\phi$ )	$\phi = C \cdot \left( \frac{\Delta t_{\text{log}} - \Delta t_{\text{ma}}}{\Delta t_{\text{log}}} \right); C \cong 0,625$	Raymer <i>et al.</i> , (1980)
Porosidade efetiva ( $\phi_e$ )	$\phi_e = \phi \cdot (1 - \text{VSH})$	Schlumberger (1989)
Permeabilidade intrínseca ( $k$ )	$k = 1,828 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{\phi_e^{m+2}}{(1 - \phi_e)^2} \right)^{1,10}$ $m = 1,8 \text{ e } 2,0; \text{ para as Formações Posse e Serra das Araras, respectivamente.}$	Winsauer <i>et al.</i> , (1952)

Tabela 1 Equações características para determinação dos parâmetros argilosidade (VSH), porosidade total ( $\phi$ ), porosidade efetiva ( $\phi_e$ ) e permeabilidade intrínseca ( $k$ ).

### 4 Resultados e Discussões

A análise qualitativa dos perfis geofísicos possibilita a identificação das principais unidades litoestratigráficas, a saber: (i) substrato regional metapelito-carbonático do Grupo Bambuí; (ii) arenitos eólicos da Formação Posse e; (iii) arenitos fluviais da Formação Serra das Araras (Barbosa *et al.*, 2017). Por conseguinte, foram estabelecidos

os parâmetros petrofísicos (*i.e.*, VSH,  $\phi$ ,  $\phi_e$  e  $k$ ) para as diferentes unidades litoestratigráficas do Grupo Urucuia. Em síntese, esses parâmetros possuem uma estreita relação com os diferentes processos deposicionais ocorrentes durante a sedimentação das unidades litoestratigráficas.

As variações observadas nos valores do parâmetro VSH (Tabela 2) estão relacionadas à profundidade (Figura 2) e à posição geográfica dos poços analisados (Figura 3). Em

**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos**

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

geral, as propriedades sedimentológicas variam segundo o *trend* de orientação das paleocorrentes (ENE-WSW). Em relação aos arenitos eólicos da Formação Posse, um aumento da argilosidade (VSH) com a profundidade é observado. Isso se deve a presença de material argiloso que atua como uma pseudomatriz, relacionado a um processo de infiltração mecânica (Campos & Dardenne, 1999).

Já a análise da Formação Serra das Araras demonstra que os maiores valores de VSH ocorrem em profundidades rasas, até 50 metros, relacionadas ao topo da sucessão de fácies fluviais (Barbosa, 2016). Em geral, os valores mais elevados ocorrem na porção oriental (ENE) e diminuem gradualmente em direção às porções ocidentais (WSW), conforme representado na Figura 3.

As argilas intersticiais interferem diretamente nos resultados obtidos da porosidade e permeabilidade (Graton & Fraser, 1935; Krumbein & Monk, 1943). Na Tabela 2 e Figura 4 estão representados os valores percentuais da porosidade total e efetiva e a variação desses parâmetros com a profundidade, respectivamente. Nelas, a Formação Posse apresenta porosidade total que varia de 18,39% a 41,45%. Já a Formação Serra das Araras possui maiores variações, com valores entre 3,84% e 47,92%. De modo geral, os valores obtidos são condizentes com os contextos deposicionais e diagenéticos das rochas associados a ambientes eólicos e fluviais entrelaçados, respectivamente. Dessa forma, a porosidade total das rochas da Formação Posse possui uma menor variação percentual devido a

características como relativa uniformidade litológica, elevado grau de seleção e das condições de maturidade textural e mineralógica dos sedimentos eólicos. Para a Formação Serra das Araras, a porosidade total possui maiores variações devido a diversidade de processos sedimentares e diagenéticos atuantes nos ambientes fluviais entrelaçados tendo como consequência a ocorrência de uma maior variabilidade litológica e das condições permoporosas (e.g., conglomerados, níveis argilosos/siltosos, arenitos moderadamente selecionados e horizontes de arenitos silicificados e fraturados) (Barbosa, 2016).

A porosidade efetiva para as Formações Posse e Serra das Araras varia de 9,61% a 36,93% e entre 2,20% até 44,13%, respectivamente (Tabela 2). A relação gráfica, na Figura 4, expõe as variações desse parâmetro em relação a profundidade. Igualmente, apesar de apresentar valores elevados nos parâmetros petrofísicos supracitados, a presença de argilas intersticiais como uma pseudomatriz relacionada a processos de infiltração mecânica e a cimentação por óxidos/hidróxidos de ferro nas rochas da Formação Posse, conduz a obliterações parciais dos espaços porosos e uma menor variação percentual entre os valores máximos e mínimos. As maiores variações são observadas nas rochas da Formação Serra das Araras e se devem a presença de horizontes de rochas bastante cimentados e níveis argilosos (Figura 4) (i.e., porosidades totais e efetivas da ordem de 3,84% e 2,20%, respectivamente) e rochas permoporosas (i.e., de 47,92% e 42,59%, respectivamente).

Poços	Formação Serra das Araras								
	VSH <sub>máx</sub> (%)	VSH <sub>min</sub> (%)	VSH <sub>média</sub> (%)	Φ <sub>máx</sub> (%)	Φ <sub>min</sub> (%)	Φ <sub>média</sub> (%)	Φ <sub>e(máx)</sub> (%)	Φ <sub>e(min)</sub> (%)	Φ <sub>e(média)</sub> (%)
A	89,48	2,86	<b>28,85</b>	45,71	30,73	<b>42,98</b>	40,00	4,57	<b>30,29</b>
B	31,06	2,71	<b>9,90</b>	47,92	28,57	<b>35,23</b>	38,18	26,06	<b>31,57</b>
C	62,48	0,00	<b>10,44</b>	45,98	31,71	<b>39,11</b>	41,08	16,02	<b>34,77</b>
D	81,81	7,14	<b>19,13</b>	47,92	3,84	<b>33,18</b>	42,59	2,20	<b>26,61</b>
E	76,48	1,69	<b>13,10</b>	45,85	27,37	<b>42,19</b>	44,13	10,78	<b>36,57</b>
Poços	Formação Posse								
	VSH <sub>máx</sub> (%)	VSH <sub>min</sub> (%)	VSH <sub>média</sub> (%)	Φ <sub>máx</sub> (%)	Φ <sub>min</sub> (%)	Φ <sub>média</sub> (%)	Φ <sub>e(máx)</sub> (%)	Φ <sub>e(min)</sub> (%)	Φ <sub>e(média)</sub> (%)
A	75,99	2,32	<b>27,62</b>	40,63	34,32	<b>37,96</b>	36,93	9,61	<b>27,13</b>
B	54,84	9,08	<b>29,46</b>	41,45	32,18	<b>35,87</b>	34,92	15,32	<b>25,38</b>
C	55,57	3,69	<b>23,62</b>	37,18	26,09	<b>32,28</b>	31,68	14,09	<b>24,58</b>
D	24,32	0,00	<b>7,55</b>	39,88	18,39	<b>32,38</b>	34,93	17,98	<b>29,57</b>
E	28,56	2,84	<b>10,37</b>	37,18	30,73	<b>33,89</b>	34,81	25,60	<b>30,36</b>

Onde: A: Barreiras – Aeroporto; B: São Desidério – Perdizes; C: Barreiras – Universo Verde; D: Luís Eduardo Magalhães – Sede; E: Correntina – Rosário.

Tabela 2 Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros petrofísicos das unidades litoestratigráficas do Grupo Urucuia.

Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental através da Interpretação de Perfis Geofísicos

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

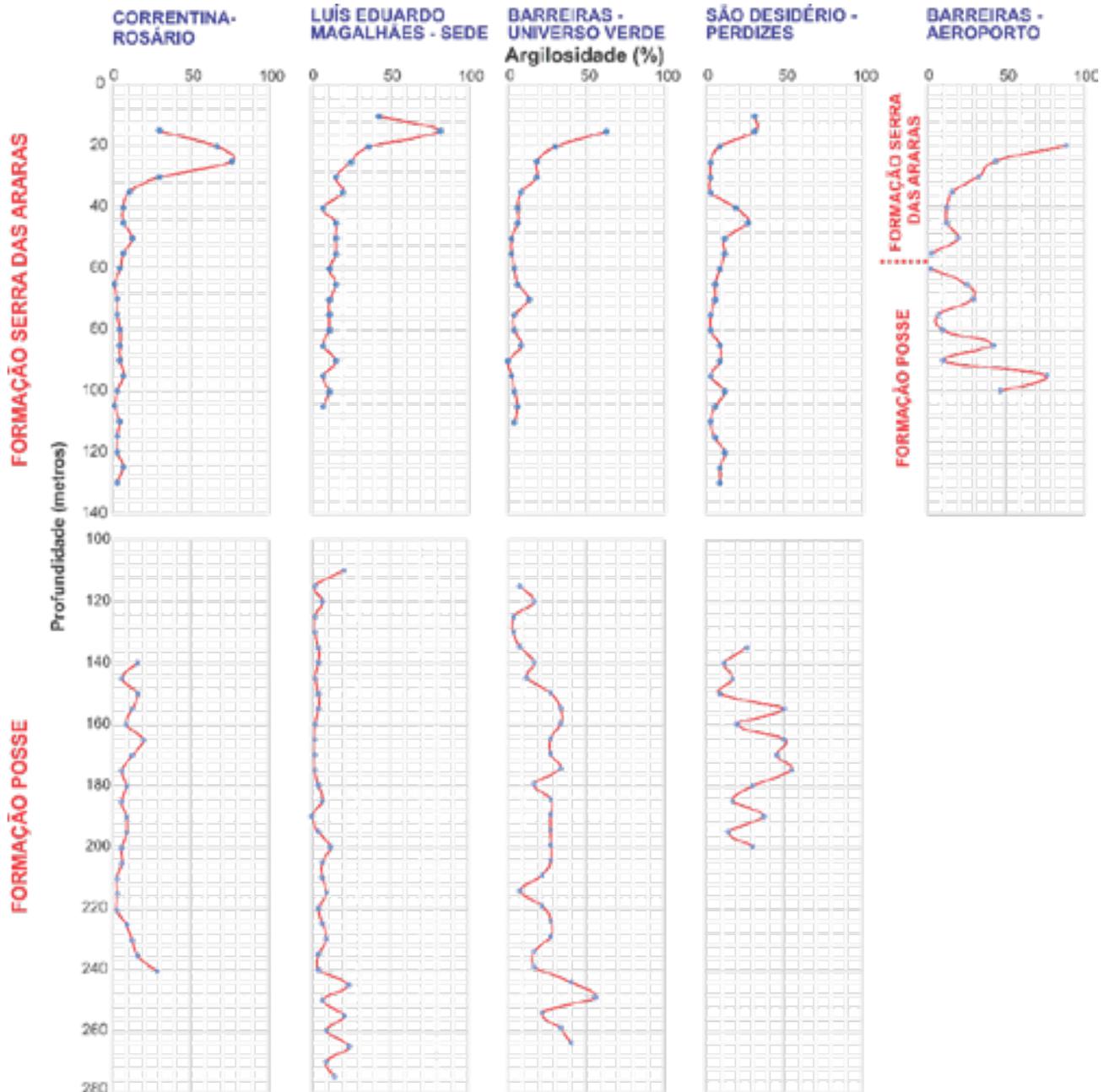


Figura 2 Relação da argilosidade e a profundidade nos poços que atravessam as rochas das Formações Serra das Araras e Posse.

Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

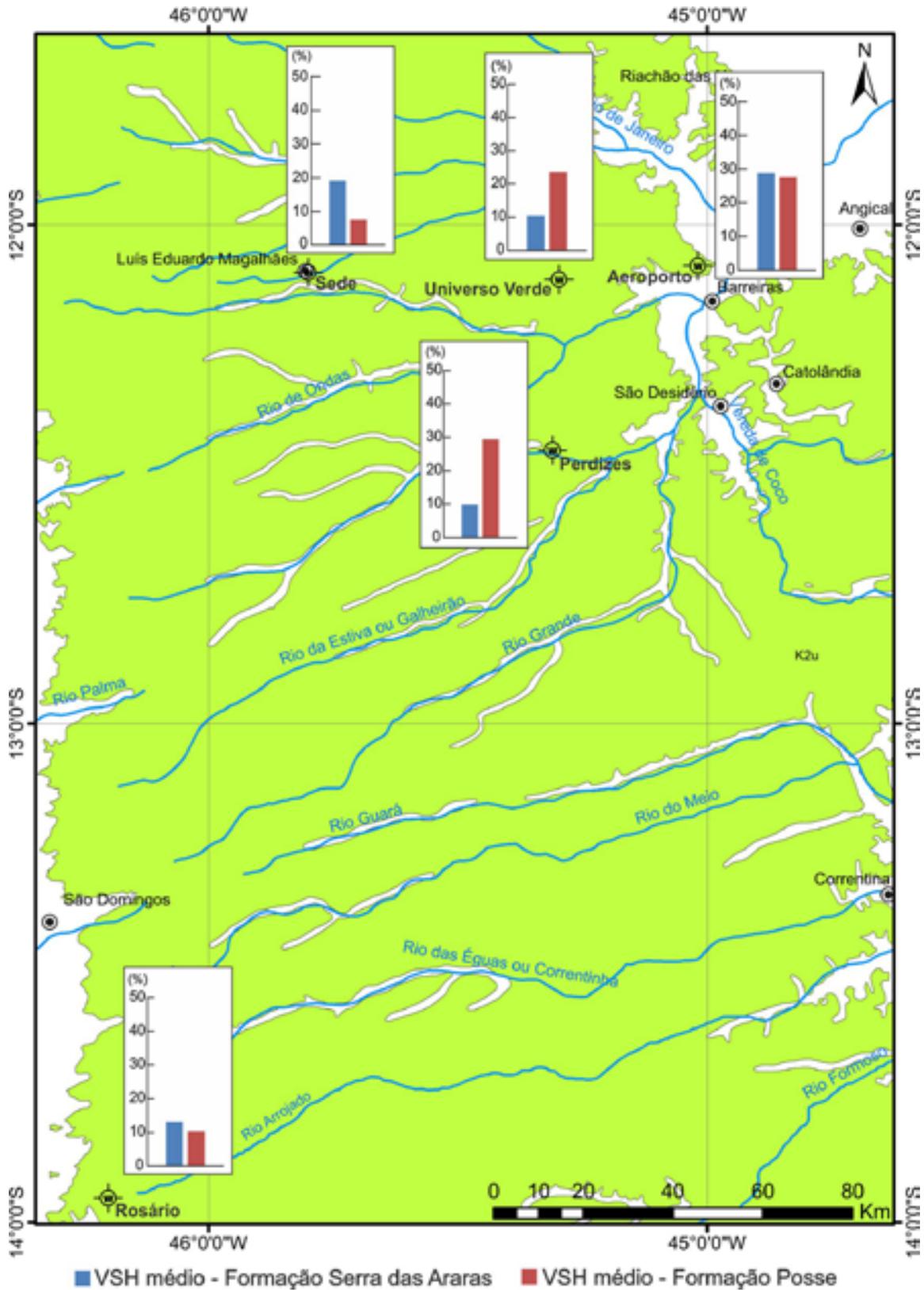


Figura 3 Mapa de distribuição espacial da argilosidade (VSH) dos poços.

Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental através da Interpretação de Perfis Geofísicos

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

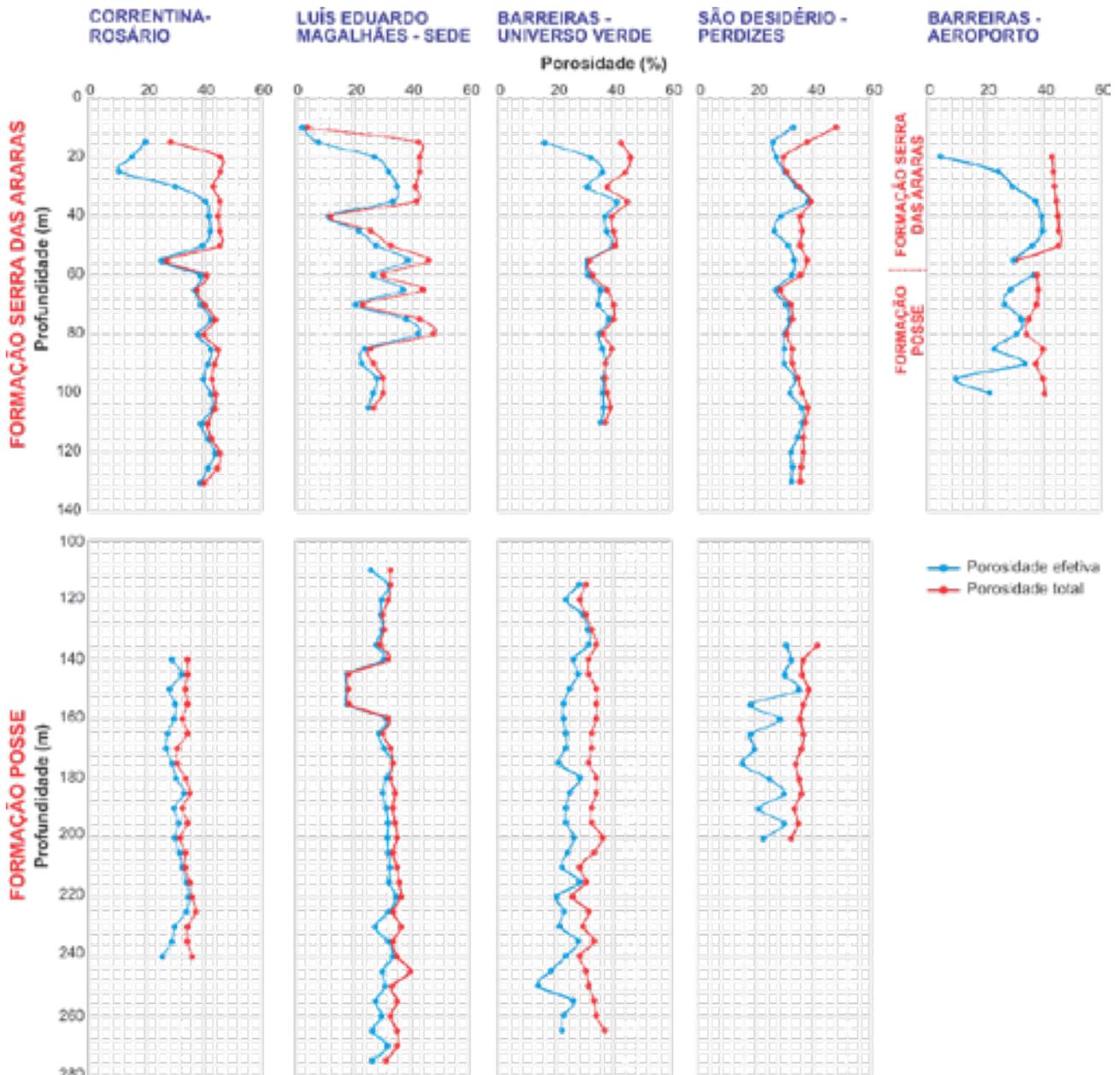


Figura 4 Relação entre a porosidade total e efetiva e a profundidade nos poços que atravessam as rochas das Formações Serra das Araras e Posse.

A permeabilidade intrínseca ( $k$ ) é obtida através dos parâmetros porosidade efetiva e de um fator de cimentação determinado empiricamente. Os valores máximos, mínimos e médios, em  $m^2$  e em *millidarcy*, para as unidades litoestratigráficas estudadas, estão relacionados na Tabela 3. A Formação Posse apresenta valores de  $k$  entre  $7,73 \cdot 10^{-12} m^2$  (7834,49 *millidarcies*), para as unidades rochosas permeáveis e,  $1,26 \cdot 10^{-13} m^2$  (12,79 *millidarcies*), para as semipermeáveis, segundo a classificação de reservatórios de Bear (1972). Em geral, essa unidade apresenta pequenas

variações nos valores da permeabilidade média ao longo da área de abrangência do Grupo Urucuia (Tabela 3 e Figura 5), reflexo do excelente grau de seleção (*i.e.*, areias muito finas e médias), da uniformidade litológica, da elevada condição de maturidade textural e mineralógica dos sedimentos eólicos. Para a Formação Serra das Araras são verificadas maiores variações de permeabilidade, desde valores de  $1,78 \cdot 10^{-11} m^2$  (17.993,50 *millidarcies*) até valores de  $9,59 \cdot 10^{-18} m^2$  (0,01 *millidarcies*). Em geral, a maior variação verificada nessa unidade está relacionada a ação de

**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos**

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

um conjunto de processos sedimentares durante a deposição e diagênese dos sedimentos (e.g., fluxo de detritos, tração, suspensão e silicificação) que resultaram em um depósito moderadamente selecionado.

No modelo apresentado na Figura 5 verifica-se que as maiores espessuras dos níveis silicificados estão associadas à porção central da bacia hidrogeológica (e.g., poço Luís Eduardo Magalhães – Sede), situação onde

provavelmente o Grupo Urucuia apresenta uma maior espessura. Já os poços situados no extremo leste da área de estudo (e.g., Barreiras – Aeroporto) possuem uma maior variação litológica e, conseqüentemente, nos parâmetros petrofísicos, enquanto que àqueles situados mais à oeste (e.g, Luís Eduardo Magalhães – Sede e Correntina – Rosário) possuem uma maior uniformidade nos parâmetros petrofísicos.

Poços	Unid.	Formação Serra das Araras			Formação Posse		
		$k_{max}$	$k_{min}$	$k_{médio}$	$k_{max}$	$k_{min}$	$k_{médio}$
Barreiras – Aeroporto	m <sup>2</sup>	9,85.10 <sup>-12</sup>	2,54.10 <sup>-16</sup>	<b>4,56.10<sup>-12</sup></b>	7,73.10 <sup>-12</sup>	1,26.10 <sup>-14</sup>	<b>2,69.10<sup>-12</sup></b>
	md	9976,08	0,26	<b>4620,57</b>	7834,49	12,79	<b>2724,18</b>
São Desidério – Perdizes	m <sup>2</sup>	7,52.10 <sup>-12</sup>	9,45.10 <sup>-13</sup>	<b>2,92.10<sup>-12</sup></b>	5,71.10 <sup>-12</sup>	1,02.10 <sup>-13</sup>	<b>1,76.10<sup>-12</sup></b>
	md	7616,76	957,48	<b>2958,36</b>	5783,56	103,46	<b>1785,92</b>
Barreiras – Universo Verde	m <sup>2</sup>	1,15.10 <sup>-11</sup>	8,40.10 <sup>-14</sup>	<b>5,31.10<sup>-12</sup></b>	3,42.10 <sup>-12</sup>	6,98.10 <sup>-14</sup>	<b>1,16.10<sup>-12</sup></b>
	md	11680,33	85,09	<b>5381,69</b>	3463,29	70,68	<b>1177,91</b>
Luís Eduardo Magalhães – Sede	m <sup>2</sup>	1,43.10 <sup>-11</sup>	9,59.10 <sup>-18</sup>	<b>2,88.10<sup>-12</sup></b>	5,72.10 <sup>-12</sup>	2,14.10 <sup>-13</sup>	<b>2,81.10<sup>-12</sup></b>
	md	14494,99	0,01	<b>2914,44</b>	5791,87	216,81	<b>2848,66</b>
Correntina – Rosário	m <sup>2</sup>	1,78.10 <sup>-11</sup>	1,29.10 <sup>-14</sup>	<b>9,25.10<sup>-12</sup></b>	5,61.10 <sup>-12</sup>	1,16.10 <sup>-12</sup>	<b>2,94.10<sup>-12</sup></b>
	md	17993,50	13,03	<b>9375,40</b>	5688,14	1176,69	<b>2977,46</b>

Tabela 3 Valores máximos, mínimos e médios das permeabilidades, em m<sup>2</sup> e millidarcy (md), para os poços estudados e unidades litoestratigráficas do Grupo Urucuia

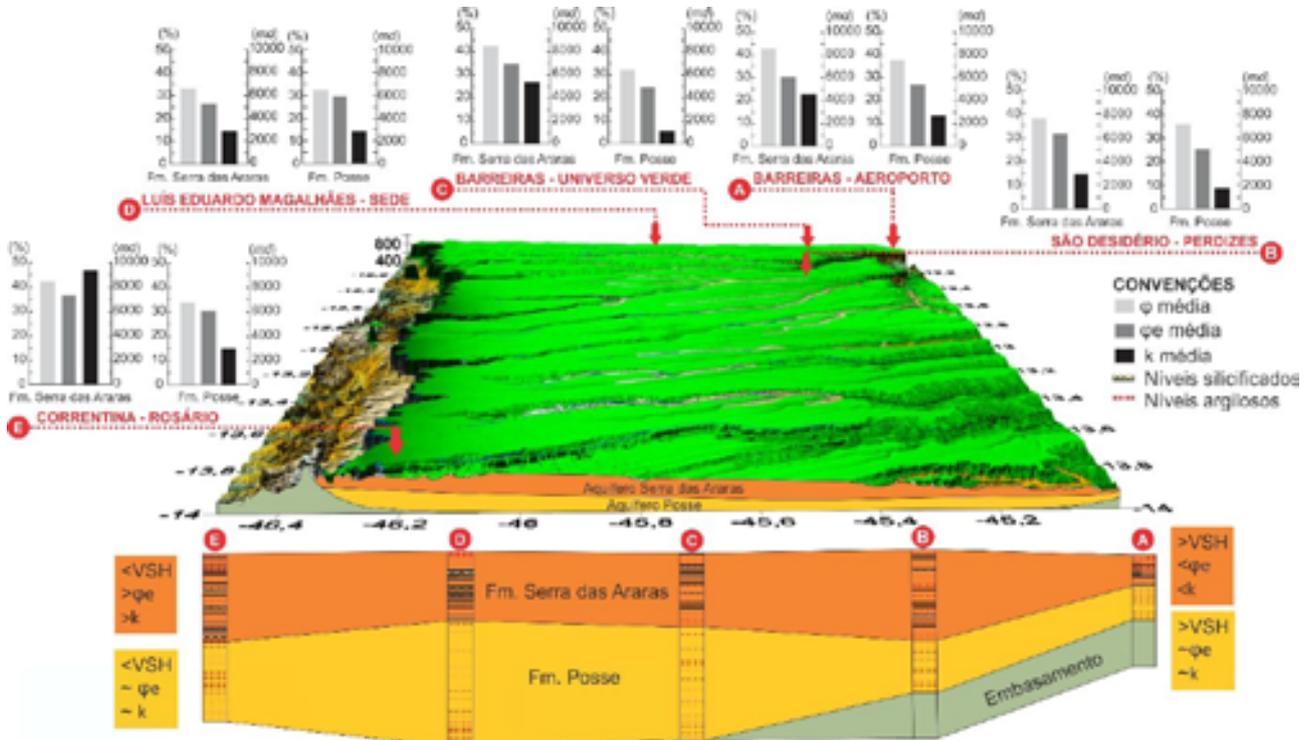


Figura 5 Seção hidroestratigráfica regional com as variações médias espaciais dos parâmetros petrofísicos (porosidade total e efetiva e permeabilidade) das unidades litoestratigráficas do Grupo Urucuia.

## 5 Conclusões

O Grupo Urucuia corresponde a uma associação de unidades hidroestratigráficas inter-relacionadas e individualizadas por propriedades petrofísicas contrastantes. Em geral, dados de paleocorrentes indicam que as variações litológicas e as modificações no padrão de sedimentação ocorrem de ENE para WSW.

Desse modo, em conformidade com essa orientação (*i.e.*, ENE para WSW) ocorrem as seguintes modificações nos parâmetros petrofísicos: (i) aumento nos valores de  $VSH_{\text{médio}}$  e, conseqüentemente, uma diminuição na porosidade total ( $\phi$ ) nas porções ocidentais devido a um processo de infiltração mecânica das argilas, que funcionam como uma pseudomatriz dos arenitos eólicos da Formação Posse, fato observado pelo aumento da VSH com a profundidade dos poços analisados; (ii) para a Formação Serra das Araras ocorre uma tendência de diminuição no VSH, segundo essa orientação, devido a uma maior variação no regime e carga de fluxos sedimentares. Em profundidade apresentam uma diminuição no VSH devido à perda dos sedimentos finos por infiltração mecânica para a Formação Posse subjacente. Já quanto a porosidade total ( $\phi$ ), na porção central da bacia hidrogeológica ocorre uma diminuição significativa nos valores médios desse parâmetro devido uma maior frequência de níveis silicificados e fraturados que representam aquitardes e segmentam o sistema aquífero.

A porosidade efetiva ( $\phi_e$ ) e a permeabilidade ( $k$ ) são os principais parâmetros petrofísicos relacionados a capacidade de fluidez da água através do meio poroso. Quanto a esses parâmetros a Formação Posse possui uma tendência de aumento nas porções ocidentais devido a um maior grau de seleção das partículas do arcabouço associado a uma redução do parâmetro argilosidade. Já para a Formação Serra das Araras têm-se uma propensão a diminuição em direção à porção central e oriental da bacia hidrogeológica devido a uma maior ocorrência de níveis silicificados e da presença de uma maior variabilidade de litotipos, respectivamente. De modo geral, os parâmetros petrofísicos obtidos se relacionam a dois importantes reservatórios que compõem o Sistema Aquífero Urucuia – Aquífero Posse e Aquífero Serra das Araras – permoporosos, contíguos e segmentados por níveis/horizontes silicificados que funcionam como aquitardes e, provavelmente, conferem uma conexão hidráulica, na forma de uma drenança vertical, entre as unidades litoestratigráficas.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à CERB e à HYDROLOG Serviços de Perfilagem pela disponibilização e autorização de uso dos perfis geofísicos de poços; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo

auxílio financeiro; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES através da manutenção do portal de periódicos – Código de Financiamento 001.

## 7 Referências

- Assaad, F.A.; Lamoreaux, P.E. & Hughes, T.H. 2004. *Field Methods for Geologist and Hydrogeologist*. 1ª. ed. New York, Springer, 404p.
- Barbosa, N.S. 2016. *Hidrogeologia do Sistema Aquífero Urucuia, Bahia*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado, 170p.
- Barbosa, N.S.; Leal, L.R.B.; Mello, J.C.; Peixinho, M.A.L.; Santos, C.B.; Santos, R.L.S. & Barbosa, N.S. 2017. Modelo Hidrogeológico Conceitual do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental, Brasil. *Águas Subterrâneas*, 31:1-19. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i1.28524>.
- Barbosa, N.S.; Leal, L.R.B.; Santos, R.L.S. & Mello, J.C. 2014. Caracterização Hidro-Litoestratigráfica do Sistema Aquífero Urucuia com base em Perfis Geofísicos de Poços. In: SUPLEMENTO - XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2014, Resumos expandidos, Belo Horizonte. p.18.
- Bear, J. 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Materials*. New York, Elsevier, 784p.
- Campos, J.E.G. & Dardenne, M.A.A. 1994. Carta estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. In: 38º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1994, Balneário Camboriú-SC, p.50-51.
- Campos, J.E.G. & Dardenne, M.A.A. 1997. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(3): 269-282.
- Campos, J.E.G. & Dardenne, M.A.A. 1999. Distribuição, estratigrafia e sistemas deposicionais do grupo Urucuia-Cretáceo Superior da bacia Sanfranciscana. *Geociências*, 18(2): 481-499.
- Cannon, S. 2016. *Petrophysics: a Practical Guide*. 1. ed. Iowa: Wiley Blackwell, v.1, 201p.
- Gaspar, M.T.P. 2006. *Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 204p.
- Gaspar, M.T.P. & Campos, J.E.G. 2007. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4): 216-226.
- Graton, L.C. & Fraser, H.J. 1935. Systematic Packing of Spheres: With Particular Relation to Porosity and Permeability. *The Journal of Geology*, 43: 785-909.
- Jorgensen, D.G. 1989. Using Geophysical Logs to estimate porosity, water resistivity and intrinsic permeability. *United State Geological Survey Water-Supply Paper 2321*, 30p.
- Krumbein, W.C. & Monk, G.D. 1943. Permeability as a function of the size parameters of sedimentary particles. *American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, p. 153-163.

**Determinação da Porosidade e Permeabilidade do Sistema Aquífero Urucuia Centro-Occidental  
através da Interpretação de Perfis Geofísicos**

Rafael Lima dos Santos Santos & Natanael da Silva Barbosa

- Nascimento, K.R.F. 2002. *Aspectos Hidrogeoquímicos e Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais da Sub-bacia do Rio das Fêmeas*. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Salvador-BA, 21p.
- Nascimento, K.R.F. & Lima, O.A.L. 2013. Cálculo de parâmetros hidráulicos do Aquífero Urucuia utilizando dados geoeletricos. *In: 13<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY*, 2013. Resumo expandido, Rio de Janeiro, p.6.
- Nery, G.G. 1995. Perspectivas da perfilagem geofísica de poços na Hidrogeologia. *In: ÁGUAS SUBTERRÂNEAS-SUPLEMENTO - IX ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS*, 1995. São Paulo, 8p.
- Raymer, L.L.; Hunt, E.R. & Gardner, J.S. 1980. An improved sonic transit time-to-porosity transform: Transactions of the Society of Professional Well Log Analysts. *21<sup>st</sup> Annual Logging Symposium*. 12p.
- Schlumberger. 1989. *Log Interpretation Principles/Applications*. Houston, Schlumberger Educational Services, 203p.
- Sgarbi, G.N.C. 1989. *Geologia da Formação Areado. Cretáceo Inferior a Médio da Bacia Sanfranciscana, Oeste do Estado de Minas Gerais*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 324p.
- Spigolon, A.L.D. & Alvarenga, C.J.S. 2002. Fácies e Elementos Arquiteturais resultantes de Mudanças Climáticas em um Ambiente Desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 579-586.
- Stieber, S.J. 1970. Pulsed neutron capture log evaluation in the louisiana gulf coast. *SPE Annual Meeting*, Houston, Texas. <https://doi.org/10.2118/2961-MS>.
- Winsauer, W.O.; Sherarin, H.M.; Masson, P.H. & Williams, M. 1952. Resistivity of brine-saturated sands in relation to pore geometries. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 36:253-277. doi: 10.1306/3d9343f4-16b1-11d7-8645000102c1865d.