

Arquitetura deposicional e heterogeneidades de reservatório fluvial análogo de hidrocarbonetos da formação Uberaba da Bacia Bauru

Palavras-Chave: Reservatório análogo, Ambiente fluvial, Elementos Arquitetônicos.

Autores/as:

Reginaldo Molka Júnior [Instituto de Geociências - UNICAMP]

Prof. Dr. Alessandro Batezelli (orientador/a) [Instituto de Geociências - UNICAMP]

INTRODUÇÃO

Os modelos análogos de reservatórios de hidrocarbonetos envolvendo a descrição de afloramentos, tem sido usado nas últimas décadas como uma ferramenta importante para o entendimento dos reservatórios de hidrocarbonetos (MIALL, 2013). Os dados de afloramentos permitem identificar variações nas propriedades petrofísicas que, ao serem integradas a perfis de poços e dados sísmicos, permitem um melhor entendimento quanto às mudanças no padrão de porosidade e permeabilidade dos reservatórios. Tais modelos permitem melhorar a previsão, otimizando a estratégia de perfuração de poços, aumentando as possibilidades de êxito em novas descobertas e na melhora na recuperação de petróleo em campos em desenvolvimento (MIALL, 2013). Paralelo à descrição de fácies, amostras de rochas para estudos petrofísicos em laboratórios permitem identificar variações de porosidade e permeabilidade, possibilitando entender a distribuição entre camadas reservatórios e não reservatórios. Diversos trabalhos utilizaram dos métodos de Miall (1985) para a análise de fácies e elementos arquitetônicos, propondo sistemas deposicionais que possibilitam a caracterização de reservatórios análogos de petróleo em ambiente fluvial (GHAZI & MOUNTNEY, 2009; LABOURDETTE & JONES, 2007; PRANTER et al., 2014)

Apesar dos muitos trabalhos sobre modelos de reservatórios análogos em depósitos fluviais, a exploração baseada neles ainda carece de mais trabalhos que integrem petrofísica básica e fácies, a fim de entender a distribuição 3D de heterogeneidades. O avanço nas análises em microescala auxilia muito nesse entendimento, melhorando a exploração e recuperação de óleo e gás.

Deste modo, o presente trabalho propõe um modelo ambiental e de distribuição da porosidade e permeabilidade para os depósitos fluviais da Formação Uberaba (Cretáceo Superior da Bacia Bauru), por meio da análise de fácies, elementos arquitetônicos, petrografia e medidas de porosidade e permeabilidade feitas em amostras de rochas.

ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS:

O estudo foi realizado em afloramentos da Formação Uberaba, localizados na cidade homônima, na porção Oeste do Estado de Minas Gerais (figura 1).

Baseando-se na descrição de fácies e identificação de elementos arquitetônicos, o trabalho apresenta informações como painéis fotomicroscópicos, seções colunares, descrições petrográficas e dados de porosidade e permeabilidade baseados em medições diretas das lâminas delgadas e em permeâmetro, respectivamente.

A aquisição dos dados se deu na forma de descrição detalhada dos afloramentos, buscando identificar as diferentes fácies e elementos arquitetônicos, bem como caracterizar e hierarquizar as superfícies limítrofes seguindo os princípios apresentados por Miall (1985). A delimitação das superfícies foi feita com base nos painéis fotográficos no software Corel Draw ®.

A descrição de fácies resultou em seções verticais que guiaram a coletadas de 56 amostras para a confecção de lâminas delgadas e cálculos petrográficos. Foram confeccionadas 37 lâminas petrográficas. As descrições mineralógicas foram realizadas em um microscópio petrográfico Leica ® DM750P, no Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências da Unicamp. Definiu-se a porcentagem dos grãos do arcabouço, grau de arredondamento e seleção, esfericidade, matriz, cimentação, maturidade textural e mineralógica, e por fim, estimativa de porosidade.

As lâminas foram fotografadas de forma a documentar toda sua área. Posteriormente, foi feito um mosaico para cada lâmina descrita, combinando 50 fotografias a cada amostra, processada utilizando o software Corel Draw ®. Utilizando o programa JmicroVison ®, foram calculadas as porosidades médias de camada amostra, cujos valores foram obtidos utilizando a ferramenta manual denominada *Background*, que se baseia nas cores associados aos pixels.

Para obter os valores de permeabilidade utilizou-se o permeâmetro (Figura 2) (*TinyPerm II* produzido por *New England Research*). O equipamento se baseia na teoria dos meios porosos de Darcy (1856), que diz que o fluxo de um fluido em meio poroso é correspondente da diferença de pressão por unidade de medida. Foram marcados pontos nas rochas nas direções verticais e horizontais de modo a chegar em um valor representativo da amostra (figura 2A e 2B).

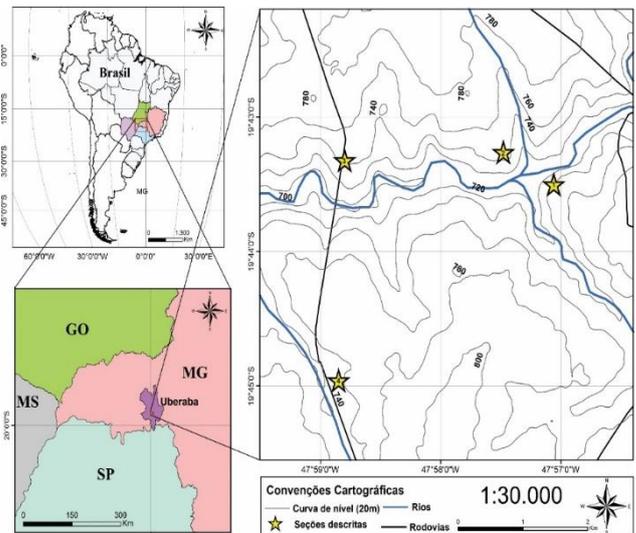


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

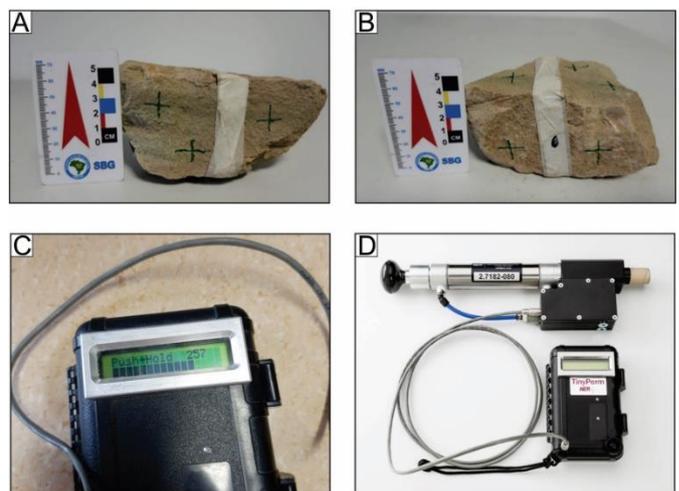


Figura 2: A – Pontos para medida de permeabilidade (horizontal); B – Pontos para medidas verticais; C – Aparelho em utilização e D – Aparelho TinyPerm II. Retirado de < <http://www.ner.com/site/systems/item/27-tinyperm.html>>

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas 8 fácies, classificadas de acordo com o código de fácies proposto por Miall (1978). A tabela 1, baseada em Miall (1978) apresenta as características gerais das fácies, tipos de estruturas e processos deposicionais.

Código	Granulometria	Estruturas sedimentares e características	Processo principal
Cetm	Conglomerado sustentado por matriz	Estratificação cruzada tabular cimentada sustentado por matriz arenosa-argilosa	Correntes de fluxo de canal
Cga	Conglomerado	Granodrecrescente ascendente para arenito com matriz lamítica	Deposições de barras de canais
Am	Arenito fino a médio	Maciço contendo seixos despertos pode apresentar laminções	Parte superior de depósitos com Granodrecrescencia ascendente
Aet	Arenito médio	Estratificação cruzada tabular	Migrações de dunas 2D dentro do canal
Aea	Arenito médio a grosso	Estratificação cruzada Acanalada	Sobreposição de barras ou mudanças na orientação de deposição
Aga	Arenito fino a médio	Granodrecrescente ascendente	Ciclos de deposição de canais entrelaçados
Fmc	Lamito - areia fina	Lamito maciço apresentando clastos de basalto na matriz, pode apresentar estruturas em blocos e marcas de raiz	Depósitos de alta energia (fluxo de lama) com alterações pedogênicas indicando possível paleossolo
Pbh	Arenito fino - silte	Paleossolos com estruturas em blocos comum a presença de halos de redução, estruturas em blocos	Períodos de seca com exposição subáerea com instalação de vegetação

Tabela 1: Códigos de fácies definidos para os afloramentos visitados da Formação Uberaba.

As fácies estão agrupadas em camadas e lentes que se organizam em vários elementos arquitetônicos. Os elementos arquitetônicos identificados foram: Macroforma de acréscimo lateral (LA) e à jusante (DA), canais (CH), finos de overbank (OF), formas de leito arenosas (SB). A seção 2 (figura 3) foi o afloramento selecionado para a confecção do modelo de variação de porosidade e permeabilidade, mediante a construção da seção colunar (figura 4) com base nas associações de fácies e identificação dos elementos arquitetônicos. Posteriormente, utilizou-se deste para a realização das interpretações nos demais pontos visitados.

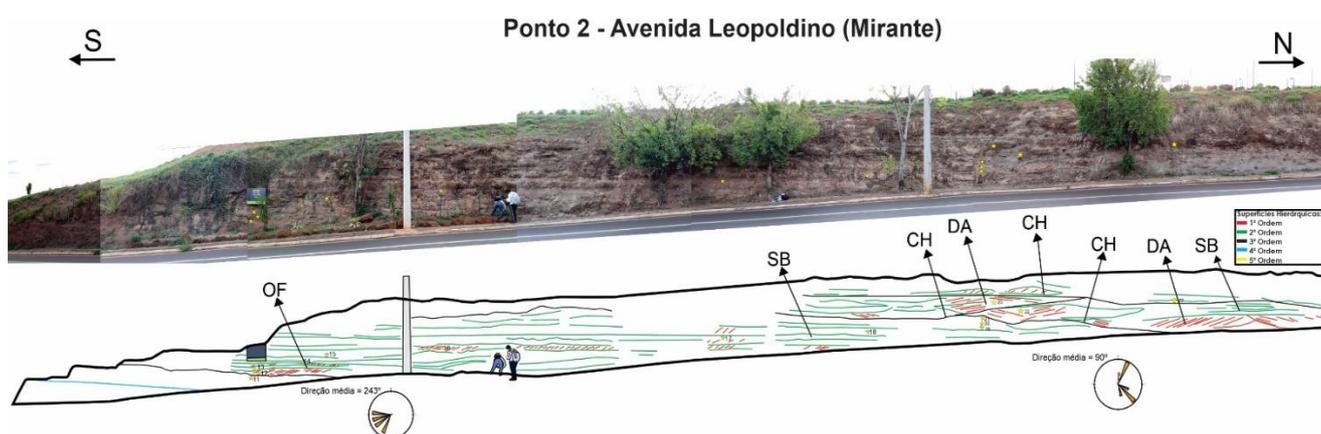


Figura 3: Painel (ponto 2) fotomosaico interpretado segundo as hierarquias deposicionais de Miall (1985).

Através das análises petrográficas, as amostras foram classificadas segundo o diagrama de Folk (1968) predominando litoarenitos e sublitoarenitos em menor frequência, além da presença de paleossolos. Utilizou-se a descrição micromorfológica segundo Bullock et al. (1985), Castro et. Al. (2003) e Stoops (2021), abordando aspectos como estruturas e poros, fábrica, textura, trama, feições pedológicas, rugosidade e esqueleto dos paleossolos. Utilizou-se a descrição micromorfológica segundo Bullock et al. (1985), Castro et. Al. (2003) e Stoops

(2021), abordando aspectos como estruturas e poros, fábrica, textura, trama, feições pedológicas, rugosidade e esqueleto dos paleossolos.

Os arenitos possuem granulometria variando de areia fina a grossa, havendo amostras classificadas como arenito conglomerático, predomina uma má seleção dos grãos, com grau de arredondamento subanguloso a anguloso e baixa esfericidade. Apresentam empacotamento do tipo frouxo segundo Kahn (1956). A maturidade textural e mineral ambas são baixas, devido a presença de grãos como de piroxênio, fragmentos de rochas vulcânicas e minerais pesados (figura 5a). Sobre a textura, ocorre inversões texturais devido ao processo de infiltração mecânica de argilas (figura 5b) assim como atestam Goldberg (1995) e Batezelli (2003).

A evolução diagenética das rochas apresentaram forte correlação com as condições e o ambiente deposicional proposto para a formação por outros autores (e.g., FERREIRA Jr. 1996; BATEZELLI, 2003). Destaca-se, a infiltração mecânica de argila, cimentação precoce por hematita na forma de finas películas nas bordas dos grãos (figura 5c), cimentação por calcita na forma de franja indicando condições subáreas (figura 5d) e autigênese de cálcita espática (figura 5e), esta ocorre principalmente nas fácies Aet, Aea, Aga e Cetm, em elementos arquitetônicos CH.

Em termos petrofísicos, os paleossolos apresentaram melhores valores de microporosidade (3-30%), presentes na forma de megaporos (ortocavidades) (figura 5f) e nas fissuras (planares) que se interdigitam gerando o padrão de “rachaduras”, há ainda porções com concentração de porosidade intergranular. Dados de permeabilidade dos paleossolos apresentam grande variação, desde moderada a muito boa (34-898 mD) segundo Tiab e Donaldson (2012). Enquanto as camadas de arenitos apresentaram baixos valores de porosidade (0,16-6,68%), devido à presença de cimentação carbonática nas seções laminadas. A permeabilidade de forma geral alterna entre boa a muito boa, havendo amostras classificada como moderada (12-1316 mD).

CONCLUSÃO

Através das fácies e elementos arquitetônicos identificados, foi possível constatar semelhanças com as características previamente descritas na literatura (e.g., BATEZELLI, 2003; BATEZELLI, et al. 2005), bem como

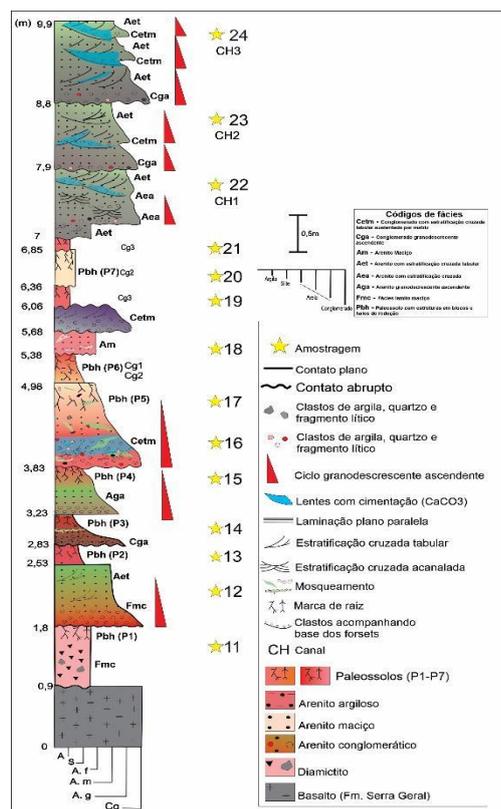


Figura 4: Seção colunar do afloramento 2

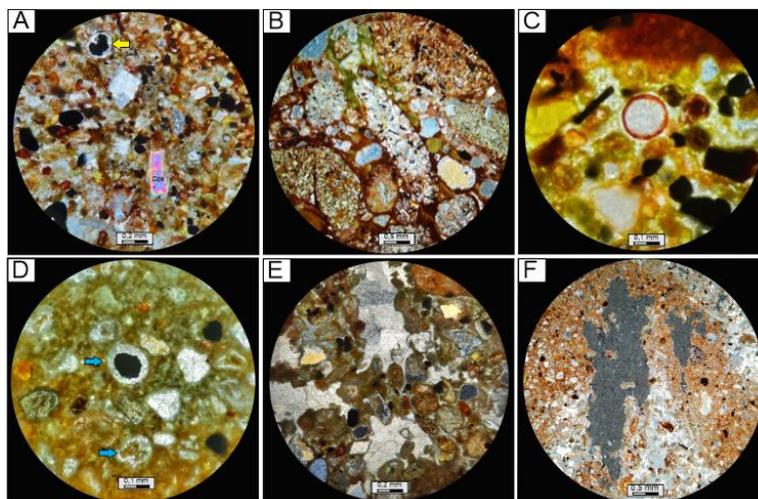


Figura 5: (A) Maturidade textural baixa, destaque para presença de cpx. (B) Infiltração de Argila Mecânica em arenito conglomerático. (C) Película de hematita. (D) Cimentação carbonática em franja. (E) Cálcita espática na forma poiquilotópica e (F) Megaporo do tipo

detalhar alguns aspectos sobre o ambiente deposicional. Conclui-se que os depósitos fluviais entrelaçados (figura 6), apresenta canais com sinuosidade atestados pela presença de elementos LA. Além disso, a exposição subárea em momentos de menos pluviosidade é atestada pela presença de paleossolos. A integração dos dados permitiu gerar curvas de porosidades e permeabilidades para as camadas descritas, utilizando como modelo o segundo afloramento.

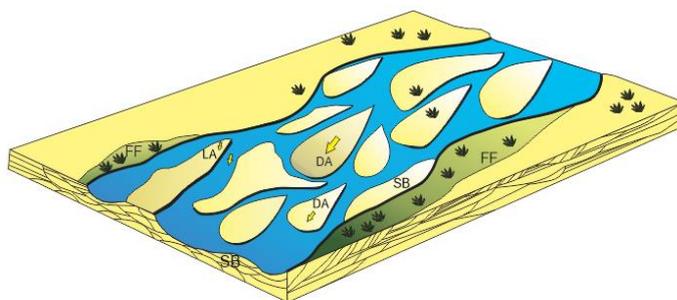


Figura 6: Modelo deposicional proposto para a Formação Uberaba.

Por meio das análises petrográficas, nota-se que a Formação Uberaba possui baixa maturidade textural e mineralógica. Infiltração de argila mecânica e exposição subárea gerando cimentação carbonática contribuíram de forma negativa havendo um preenchimento parcial das porosidade dos arenitos nos elementos DA, CH e SB. A atividade pedogênica aparenta agir de forma a reduzir a presença de cimentação, no entanto, é rico em argila e acaba dificultando a conectividade dos poros, dessa forma, apresenta bons valores de microporosidade e baixos valores de permeabilidade em escala macro. Dessa forma, os elementos CH, DA e SB que concentram as fácies Aet, Aea e Aga são as melhores rochas reservatórias, com os paleossolos sendo reservatórios moderados a bons.

REFERÊNCIAS

- Batezelli, A. **Análise da sedimentação cretácea no triângulo mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. Rio Claro, SP. (Tese de Doutorado). - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 251p, 2003.
- Batezelli A., Gomes N.S., Perinotto J.A. de J. **Petrografia e Evolução Diagenética dos Arenitos da Porção Norte e Nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior)**. Rev. Bras. de Geoc., 35(3):311-322, 2005.
- Batezelli, A. **Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro**. Brazilian Journal of Geology, v. 40, n. 2, p. 265-285, 2010.
- Bullock, P. et. al. **Handbook for soil thin section description**. Albrington: WRP, 152p, 1985.
- Castro, S. S. et. al. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. In: CURI, et. al. ed. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBSCS, v. 3, p.107-16, 2003.
- Darcy, H. **Les fontaines publiques de la Ville de Dijon**, Victor Dalmont, Paris 647pp, 1856.
- Ferreira, J. P. D. **Modelo Depositional e Evolução Diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na Região do Triângulo Mineiro**. (Dissertação de Mestrado). - Federal de Ouro Preto. 175p, 1996.
- Folk, R.L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin: Hemphill's, 185p, 1968.
- Ghazi, S., Mountney, N.P. **Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: the Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan**. Sedimentary Geology 221 (1–4), 99–126p, 2009.
- Goldberg, K. **Reconstituição Paleoambiental do Cretáceo Continental Brasileiro na região do Triângulo Mineiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo – Rio Grande do Sul (RS). 181p, 1995.
- Kahn, J. S. **The analysis and distribution of the properties of packing in sand-size sediments: on the measurement of packing sandstones**. The journal of Geology, v. 64, n.o 4, p.385 – 394, 1956
- Labourdet, R., Jones, R.R. **Characterization of fluvial architectural elements using a three-dimensional outcrop data set: Escanilla braided system, SouthCentral Pyrenees, Spain**. Geosphere 3, 422e434p, 2007.
- Miall, A. D. **Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary**. In: MIALL, A. D. (Editor), Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., v. 5, p. 597 – 604, 1978
- Miall, A. D. **Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits**. Earth Science Reviews, v. 22, n.o 4. P. 261-300. 1985.
- Miall, A.D. **Fluvial Depositional Systems**: Berlin, Springer-Verlag, 316 p, 2013.
- Pranter, M.J., Hewlett, A.C., Cole, R.D., Wang, H., Gilman, J. **Fluvial architecture and connectivity of the Williams Fork Formation: use of outcrop analogues for stratigraphic characterization and reservoir modelling**. Geol. Soc. Lond. 387, 57–83, 2014.
- Stoops, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. John Wiley & Sons, 2021.
- Tiab, D.; Donaldson, E.C. **Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties**. 3rd ed. Elsevier, 2012.