

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E DIAGENÉTICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO IBOREPI, PORÇÃO SUL DA BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Larissa Farias Queiroz¹, Zenilda Vieira Batista², Mário Ferreira de Lima Filho³

¹Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, ² Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, ³Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E DIAGENÉTICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO IBOREPI, PORÇÃO SUL DA BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Abstract

The Lavras da Mangabeira Basin is part of a group of small Mesozoic interior basins, located in the Northeast region of Brazil. In it, the Iborepi Formation, basal unit, consists of thick to medium sandstones, conglomeratic sandstones and, sporadically, siltites, with associated origin to the alluvial fan and fluvial interlaced systems. The sandstones of the Iborepi Formation are still little known, especially in what refers to the petrology / petrography and diagenetic processes that acted on these rocks. This work has the main objective of petrographically characterizing the sandstones of the Iborepi Formation (southern portion of the basin), examining its compositional and diagenetic aspects. With this, it is desired to identify the diagenetic processes that may be influencing the porosity of these rocks, as well as to analyze their potential as analogues for the study of reservoirs. Thin films were analyzed in the petrographic and scanning electron microscopes; X-ray diffraction analyzes were also performed. These studies revealed that the sandstones studied present a mineralogical composition rich in monocrystalline quartz, with some polycrystalline, and poor in feldspars and lytic fragments; The grains are angular to sub-rounded and poorly selected. According to the proportions of quartz, feldspars and lytic fragments, they are classified as quartzite. The accessory minerals are muscovite, opaque, zircon, rutile and tourmaline; The identified clay minerals were smectite, kaolinite, illite and chlorite. Primary intergranular porosity predominates, followed by secondary porosity, resulting from the turnover and dissolution of grains, in addition to the contraction of expansive clay. The cement is predominantly ferruginous (iron oxide / hydroxide), followed by silica (secondary quartz growth), kaolinite and chlorite. The Iborepi sandstones present normal and closed packing, with punctual and straight contacts. The identified diagenetic processes were clay infiltration, compaction (mechanical and chemical), quartz and feldspar overgrowth, grain dissolution, alteration and mineral substitution. The mechanical infiltration of clays is the result of spontaneous episodic fluvial floods and telodiagenetic processes that reach only the uppermost parts of the outcrops. The grains were few reached by the compaction, being the concave-convex contacts rare. Porosity was produced and modified during distinct diagenetic phases, as the petrographic evidence shows that primary porosity was reduced during eodiagenesis by clay infiltration and during telodiagenesis by iron oxide / hydroxide cementation. The mechanical and chemical compaction of the eodiagenesis and mesodiagenesis, besides the secondary growth of quartz in the mesodiagenesis, contributed for the reduction of the porosity. These rocks are potential indicators for the reservoir condition.

1. Introdução

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira faz parte de um conjunto de pequenas bacias interiores mesozoicas, cuja origem está relacionada à fragmentação do Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul. Esta bacia está localizada na microrregião da porção Sul do Estado do Ceará, Nordeste brasileiro (Figura 1), com uma área aproximada de 60,27 Km². Nesta bacia, a Formação Iborepi, objeto de estudo, encontra-se na base da coluna estratigráfica.

A Formação Iborepi é constituída por arenitos grossos a médios, arenitos conglomeráticos e, esporadicamente, siltitos. Estes depósitos têm uma origem associada aos sistemas deposicionais de leques aluviais e fluvial entrelaçado.

Embora a Bacia de Lavras da Mangabeira já tenha sido alvo de estudos, do ponto de vista hidrogeológico (a fim de identificar águas subterrâneas), os arenitos da Formação Iborepi ainda são pouco conhecidos, principalmente no que se refere à petrografia e processos diagenéticos que atuaram sobre essas rochas. Assim, esse trabalho vai contribuir para o preenchimento de parte dessa lacuna do conhecimento relacionado aos aspectos petrográficos e diagenéticos da unidade aqui analisada.

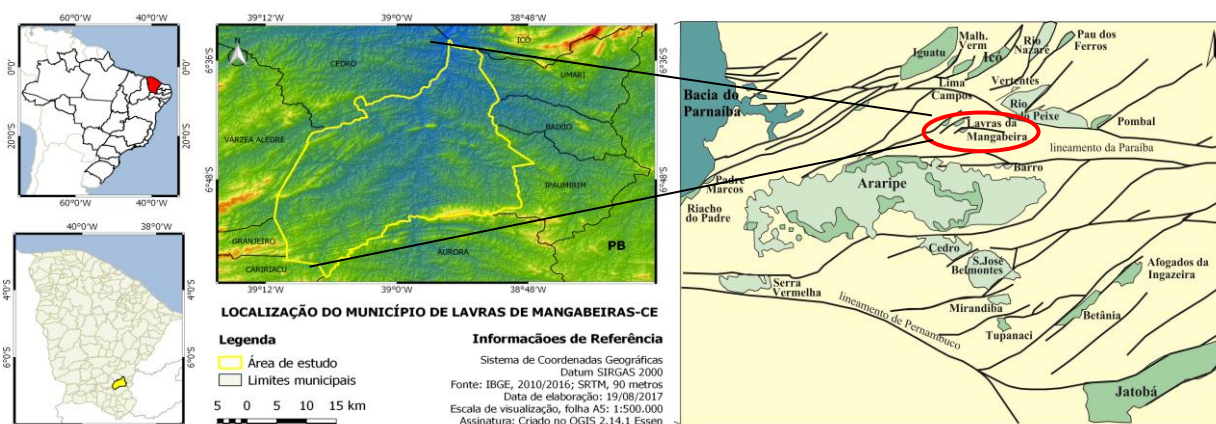


Figura 1: Localização do município Lavras da Mangabeira, onde encontra-se a bacia sedimentar de mesmo nome, e mapa de localização das bacias sedimentares mesozoicas da Região Nordeste do Brasil, contexto onde está inserida a Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira. Fonte: CPRM (2007, modificado) e Batista (2015).

Com relação ao estudo de caracterização petrográfica e diagenética das rochas, é importante ressaltar que se faz necessário o reconhecimento e a compreensão dos mesmos, visto que ambos são fundamentais na análise de qualidade de reservatórios de hidrocarbonetos. Estudos petrográficos em arenitos possibilita identificar componentes deposicionais e diagenéticos. A diagênese, por sua vez, influencia diretamente a distribuição da porosidade e permeabilidade nas rochas, devido a sua capacidade de causar intensas modificações nessas propriedades. Segundo Daudt (2009), a diagênese é um condicionante importante que impacta de forma marcante a qualidade de muitos reservatórios.

Schrank (2013), analisando os processos e padrões diagenéticos dos arenitos Cretáceos de Bacias da Margem Equatorial brasileira, concluiu que os processos diagenéticos reduziram fortemente a porosidade destas rochas. Já Martine (2010), estudando os padrões diagenéticos e porosidade dos depósitos siliciclásticos-carbonáticos dos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo, observou que a diagênese foi responsável por uma intensa modificação e redistribuição da porosidade e permeabilidade destas rochas.

Sabe-se que as características permo-porosas da rocha são de suma importância para a definição da qualidade do reservatório, visando à diminuição dos riscos de exploração e a otimização na recuperação de hidrocarbonetos (e/ou fluidos).

Para inferir as propriedades permo-porosas de rochas reservatórios de subsuperfície, são realizados estudos de rochas de superfície, para comparação. Esta técnica é conhecida como estudo de análogo de reservatório, a qual é bastante aplicada para compreensão do comportamento de reservatórios de hidrocarbonetos. A técnica é importante para estimar reservas interessantes a partir da correlação das propriedades das rochas e dos fluidos de reservatórios diferentes (com um conhecido e outro não) de regiões relativamente próximas. Essas estimativas são relevantes para diminuir os riscos de exploração. Para o estudo de análogos de reservatórios é fundamental o conhecimento da petrografia, diagênese e petrofísica.

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar petrograficamente os arenitos da Formação Iborepi (porção sul da bacia), examinando seus aspectos composicionais e diagenéticos. Com isso, almeja-se identificar os processos diagenéticos que podem estar influenciando a porosidade dessas rochas, bem como analisar o potencial das mesmas como análogos para estudo de reservatórios.

2. Materiais e Métodos

O material usado nessa pesquisa é proveniente de amostras de afloramentos, coletas na parte sul da Formação Iborepi. Foram coletadas 15 amostras, das quais, nove foram selecionadas para confecção de lâminas petrográficas e análise no microscópio petrográfico. Também analisou-se três amostras no microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado ao EDS e três na difração de Raios-X, visando caracterizar melhor os constituintes diagenéticos (hábitos, cimento, feições das argilas infiltradas e morfologia dos cristais, e reconhecer os argilominerais) e, com isso, conseguir uma microanálise química semiquantitativa e qualitativa dos minerais presentes, auxiliando para a melhor caracterização diagenética dos arenitos estudados.

Para caracterização petrográfica foram quantificados 300 grãos em cada lâmina; na quantificação dos constituintes primários, diagenéticos e porosidade. Os aspectos texturais analisados foram granulometria, arredondamento e seleção dos grãos. O índice de empacotamento foi determinado segundo Kahn (1956); também foi definida maturidade textural e mineralógica.

3. Resultados e Discussão

A Formação Iborepi é composta predominantemente por arenitos médios a grossos, com ocorrências esporádicas de siltitos; os grãos dessas rochas são angulosos a subarredondados, mal selecionados (Figura 2A). Estes arenitos são formados predominantemente quartzo (cerca de 65%), com poucos feldspatos (média de 2%) e fragmentos líticos (cerca de 1%); também apresenta minerais acessórios, porém, em pequena quantidade.

O quartzo é monocristalino (Qm) e policristalino (Qp), predominando o primeiro. Uma análise visual sugere o predomínio de quartzo de origem metamórfica, seguida da ígnea; estes grãos apresentam extinção ondulante e imediata. Os feldspatos identificados foram a microclina e ortoclásio (Figura 2B), frequentemente alterados por processos diagenéticos. Os fragmentos líticos encontrados foram de *chert*, gnaiss e xisto, com predomínio dos dois últimos.

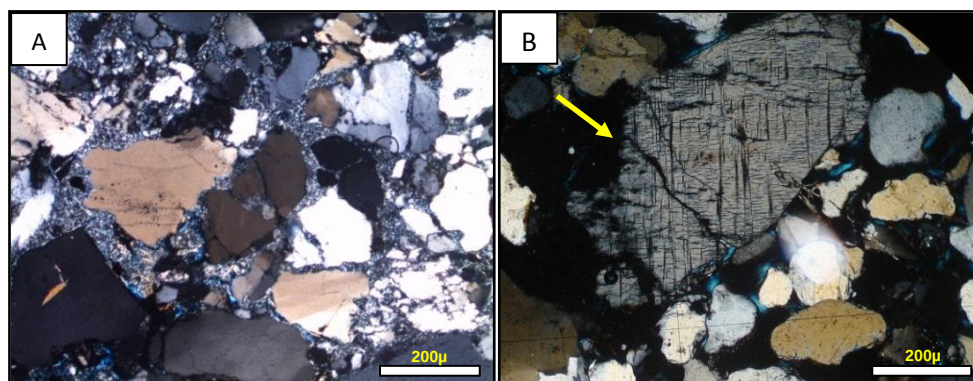


Figura 2: A) Grãos de quartzo monocristalino angulosos e mal selecionados (nicóis cruzados). B) Feldspato microclina (seta) (nicóis cruzados).

Os minerais acessórios reconhecidos foram muscovita, opacos, zircão, turmalina e rutilo (Figura 3A). A matriz desses arenitos é arenosa e argilosa e o cimento é predominantemente ferruginoso

(óxido/hidróxido de ferro, Figura 3B), seguido do cimento de sílica (crescimento secundário de quartzo), caulinita e clorita.

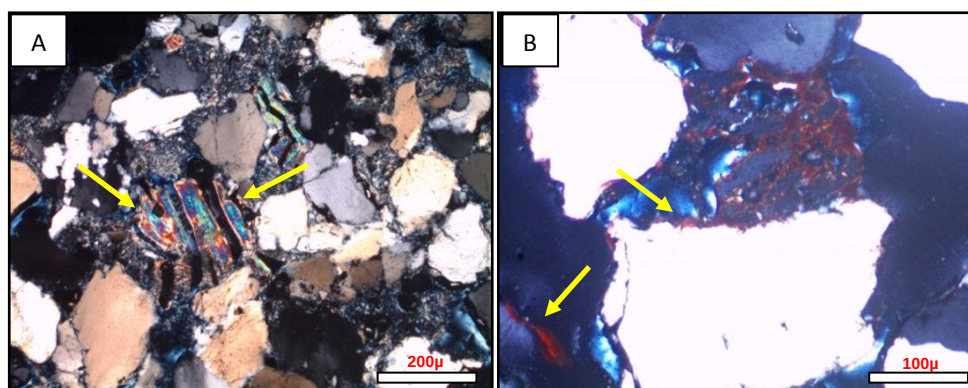


Figura 3: A) Muscovitas (setas) (nicóis cruzados). B) Grãos de quartzo recobertos por cimento de óxido/hidróxido de ferro (setas) (nicóis cruzados).

Essas rochas são maduras texturalmente e mineralógicamente, com porcentagem de matriz deposicional inferior a <5% (segundo critério de Folk, 1974) e relação quartzo/feldspato alta (de acordo com os preceitos de PETTIJOHN, 1975). Sendo assim, os arenitos da Formação Iborepi são classificados como quartzarenitos, de acordo como Folk (1968), com uma constituição predominantemente quartzosa (Figura 4).

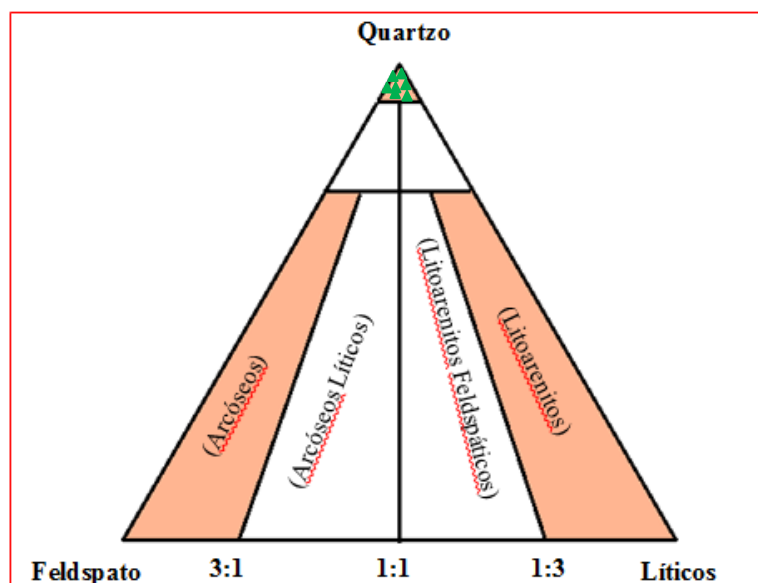


Figura 4: Classificação composicional dos arenitos da Formação Iborepi, segundo o diagrama de Folk (1968).

Os argilominerais identificados são esmectita, illita, caulinita, interestratificado de illita/esmectita e traços de clorita, com predominância da esmectita e illita (Figura 5A e B). O estudo de difração de Raios-X (DRX) revelou maior frequência dos minerais de quartzo, goethita, traços de carbonato e anfibólio, além dos argilominerais dos tipos esmectita e illita, (Figura 5C). Análise de DRX realizada *in natura* confirmou a presença de esmectita (montmorilonita) e pequenos traços de caulinita. A esmectita foi estabelecida pela reflexão 16,08 Å (maior pico) e 2,25 Å (menor pico), e traço de caulinita pela reflexão 7,4 Å (maior pico) e 2,56 Å (menor pico). Também surgiu a illita, com reflexão 10,04 Å, que permaneceu mesmo após o tratamento aquecido. No entanto, após esse tratamento, esmectita surgiu como traço, cuja reflexão foi 2,25 Å.

A porosidade desses arenitos é predominantemente primária intergranular (média de 14%, Figura 5D); no entanto, ocorre porosidade secundária intragranular dos tipos fratura, dissolução de grãos e contração de argila; o empacotamento é normal e fechado, predominando contatos pontuais e retos.

Os arenitos da Formação Iborepi foram submetidos aos estágios da eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese, cujos processos diagenéticos identificados foram infiltração de argila, cimentação por óxido/hidróxido de ferro, compactação (mecânica e química), sobrecrecimento de quartzo e feldspato, cimentação por clorita, dissolução de grãos, alteração e substituição de minerais.

O processo que atuou durante a eodiagênese foi o de infiltração mecânica de argila; essas argilas são representadas pela esmectita, ilita e interestratificado de ilita/esmectita, as quais ocorrem na forma de agregado e cutículas recobrindo grãos (Figura 6A). Segundo De Ros (1985), a infiltração mecânica de argila é comum em sistema deposicional aluvial desenvolvido em ambientes de climas áridos e semiáridos, onde o nível freático profundo, muito abaixo do leito dos canais, permite a infiltração episódica de águas de enxurradas com grande quantidade de argila em suspensão que decanta na superfície dos grãos, onde aderem.

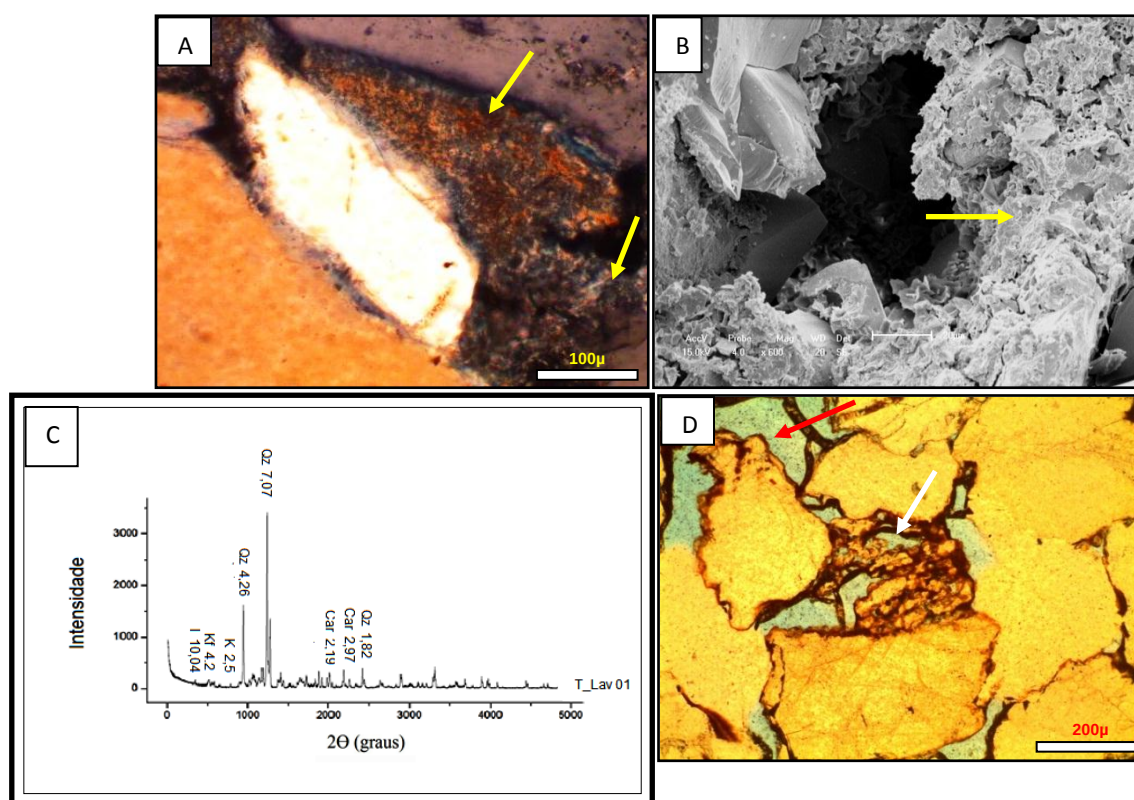


Figura 5: A) Argila esmectita entre grãos de quartzo (setas) (nicóis cruzados. B) Imagem de esmectita na forma de agregado, vista ao MEV (seta). C) Difratoograma de Raios-X (análise feita com tratamento aquecido). **Legenda:** Qz – quartzo; Kf – K-feldspato; Pl – Plagioclásio; K – Caulinita; Goe – Goethita; E – Esmectita; I – Ilita; Cl – Clorita; I/E – Interestratificado de ilita/esmectita; e Car – Carbonato). D) Porosidade primária intergranular (seta vermelha) e secundária por dissolução de grãos (seta branca) (nicóis paralelos).

Na mesodiagênese os processos atuantes foram compactação mecânica e química, sobrecrecimento de quartzo e feldspato, contração de argila, cimentação por clorita e dissolução parcial de grãos, que ocorrem em subsuperfície, com o soterramento efetivo dos sedimentos. Nessa fase, os processos envolvidos são mais intensos e aumentam com o aumento do soterramento da bacia.

A compactação mecânica nesses arenitos foi atuante, causando fraturas internas nos grãos de quartzo (Figura 6B) e feldspatos (gerando porosidade secundária), além de formar pseudomatrix (a

partir do esmagamento de grãos dúcteis, destruindo a porosidade original) e dobrar moscovitas (Figura 6C). A compactação química foi menos intenção do que a mecânica, porém, também atuou de forma significativa e, teve como produto final, a dissolução parcial de grãos, além da dissolução por pressão ao longo dos contatos entre os grãos, gerando contatos côncavo-convexos e suturados (onde a tensão por pressão é máxima).

De acordo com De Ros e Moraes (1984), a compactação mecânica ocorre em resposta à crescente pressão de soterramento com o aumento da profundidade, na mesodiagênese, mas pode ocorrer a pequenas profundidades, logo após o soterramento, no domínio eodiagenético. Segundo Martini (2010), este tipo de compactação corresponde a processos advindos de soterramento que originam a redução tanto dos espaços porosos, quanto do volume total de sedimentos. Para Wolela & Gierlowski-Kordesch (2004), a compactação mecânica é responsável pela expulsão de água intersticial dos poros e o rearranjo dos grãos. Este processo afeta predominantemente o arcabouço da rocha, devido às mudanças físicas dos grãos, tais como: deslizamento e rotação; deformação plástica e elástica; fraturamento e formação de psseudomatriz (SILVA, 2009).

O processo de sobrecrecimento de quartzo e feldspato, gerando cimentação silicosa, foi pouco expressivo (provavelmente, devido às cutículas de argila e de óxido/hidróxido de ferro que podem inibir o desenvolvimento desse crescimento), não prejudicando tanto a porosidade primária dos arenitos estudados; nesses arenitos, raramente ocorre cimentação por sílica microcristalina, como quartzo microcristalino. Quanto ao processo de contração de argila, este foi pouco significativo e localizado, sendo identificado apenas em uma amostra (contribuindo pouco na destruição da porosidade original). Com relação à dissolução parcial de grãos, esta ocorreu de forma atuante, principalmente dissolução de feldspatos, originando porosidade secundária.

Vale ressaltar que a porosidade oriunda da dissolução parcial ou total de grãos, embora seja comum no estágio da mesodiagênese, também pode ocorrer na eodiagênese, visto que nessa etapa diagenética os sedimentos ainda sofrem influência da superfície.

Segundo Menezes (1999), o evento de dissolução de rochas sedimentares aflorantes é referenciado, na maioria das vezes, como decorrente da percolação de águas intersticiais de origem meteórica que interagem com grãos do arcabouço e com o cimento, promovendo solubilização parcial ou integral dos mesmos. Ainda, segundo a autora, a geração de porosidade secundária surge como consequência imediata deste evento, a geração de porosidade intergranular.

A telodiagênese está representada pelos processos de cimentação por óxido/hidróxido de ferro, alteração e substituição de grãos, além da cimentação por caulinita autigênica. A cimentação por óxido/hidróxido de ferro ocorre preenchendo poros e recobrindo grãos (ver Figura 5D). Alterações de moscovitas e de feldspatos são frequentes, gerando como produto, a caulinitização de moscovita (Figura 6D) e feldspatos. A caulinitização de muscovita é reconhecida pela morfologia das terminações abetas, semelhantes a leques, além de lamelas separadas.

A cimentação por óxido/hidróxido de ferro geralmente está associado à dissolução de minerais ferromagnesianos, como a biotita, hornblenda, piroxênio, entre outros. No estágio da eo e telodiagênese os sedimentos depositados sofrem influência direta das águas superficiais, que, ricas em oxigênio, pode ser responsável pela oxidação de minerais ferromagnesianos e precipitação de cimento ferruginoso.

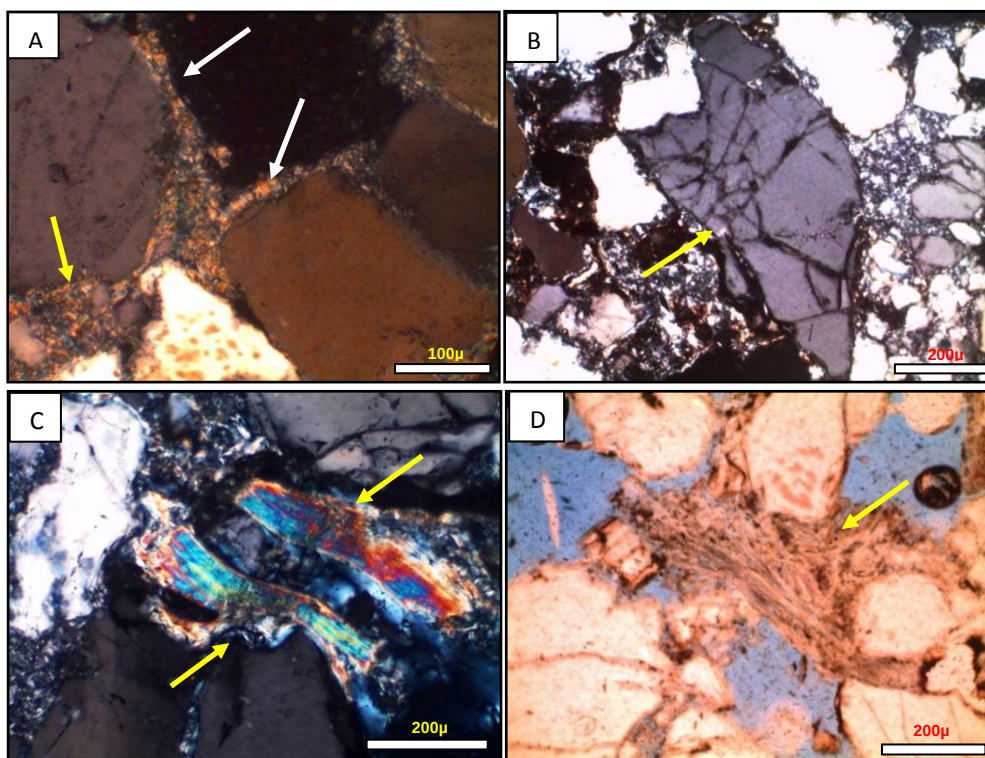


Figura 6: A) Cutículas de argila infiltrada do tipo illita/esmectita, na forma de agregado (seta amarela) e cutículas recobrendo grãos de quartzo (setas branca) (nicóis cruzados). B) Grão de quartzo fraturado, devido à compactação mecânica, gerando porosidade secundária (seta) (nicóis cruzados). C) Muscovitas dobradas devido à compactação mecânica (setas) (nicóis cruzados). D) Muscovita alterada e se caulinizando (seta) (nicóis paralelos).

4. Conclusão

Os dados petrográficos mostram que a composição dos arenitos da Formação Iborepi é rica em quartzo e pobre em feldspato e fragmentos líticos, sendo classificados como quartzarenitos; a assembleia de minerais acessórios é pouco variada. O baixo percentual de feldspato pode ser explicado pelos processos diagenéticos atuantes, como alteração e substituição desses feldspatos, bem como, a dissolução dos mesmos. Esses arenitos são maduros, tanto do ponto de vista textural (com menos de 5% de matriz deposicional), quanto mineralógico. A porosidade predominante é primária intergranular, sendo que, também ocorre a intragranular (secundária), como produto de faturamento e dissolução de grãos. Os argilominerais presentes são esmectita, illita, caulinita, interestratificado de illita/esmectita e traços de clorita (predominando a esmectita e illita).

A diagênese nesses arenitos é marcada pelos estágios da eo, meso e telodiagênese, com variedade de processos e produtos gerados. A eodiagênese está marcada pela infiltração de argila; a mesodiagênese é representada pela compactação mecânica e química, sobrecrecimento de quartzo e feldspato, contração de argila, cimentação por clorita e dissolução parcial de grãos; a telodiagênese está marcada pela cimentação de óxido/hidróxido de ferro, alteração e substituição de grãos e cimentação por caulinita autigênica. Os processos diagenéticos mais atuantes nesses arenitos foram a infiltração de argila, a compactação mecânica e química dos grãos, a dissolução de grãos e a caulinização de moscovitas.

Embora esses processos tenham contribuído para a redução da porosidade original dos arenitos Iborepi, é importante dizer que essa porosidade foi produzida e modificada durante fases diagenéticas distintas, pois, as evidências petrográficas mostram que a porosidade primária foi reduzida durante a eodiagênese pela infiltração de argila e, na telodiagênese, pela cimentação de óxido/hidróxido de ferro (pouco). A compactação mecânica e química, e a cimentação por crescimento secundário de quartzo, pouco contribuíram na redução de porosidade primária. No entanto, essa porosidade foi aumentada com o faturamento e dissolução de grãos.

Em síntese, os arenitos da Formação Iborepi possuem boa qualidade como reservatório de hidrocarbonetos, atestada pela preservação de porosidade primária intergranular e geração de porosidade secundária por faturamento e dissolução de grãos. Desta forma, essas condições conferem a esses arenitos potenciais indicadores à condição de reservatório (servindo como análogos de reservatórios de hidrocarbonetos).

5. Agradecimento

À orientadora Prof^a. Dr^a. Zenilda Vieira Batista, por disponibilizar o material para realização desse artigo. Agradeço também, pela orientação, apoio e confiança.

6. Referências Bibliográficas

BATISTA, Z.V. **Caracterização faciológica, petrográfica e diagenética das Sequências basais das bacias do Parnaíba, Araripe, São José do Belmonte e Lavras da Mangabeira: contribuição às possíveis correlações dos arenitos basais e suas implicações geotectônicas**. 2015. 236p. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Comportamento das Bacias Sedimentares da região semi-árida do Nordeste Brasileiro**. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira. CD-ROM. 2007.

DAUDT, J. A. B. 2009. Definição de unidades de fluxo genéticas em reservatórios clásticos com base em heterogeneidades deposicionais e diagenéticas: o caso da Formação Echinocyamus, eoceno inferior, Bacia de Talara, Peru. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 220p.

DE ROS, L. F. & MORAES, M. A. S. Sequência diagenética em arenitos; uma discussão inicial. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 34. Goiânia, 1986. Anais..., SBG. v. 1. Goiânia. 1984. p.894-902.

DE ROS, L. F. Petrologia e características dos reservatórios da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmaria, Bacia do reôncavo, Brasil. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 1985. p.107.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin, Texas, Hemphill's, Pub., 1968. 107p.

FOLK, R. L. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, TX, USA. 1974. 182p.

KAHN, J. S. The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments. *Journal Geology*, 64 (4). 1956. p.385-395.

MARTINE, M. 2010. Controles deposicionais sobre a composição primária, padrões diagenéticos e porosidade dos depósitos mistos siliciclásticos-carbonáticos dos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 97p.

MENEZES, M. R. F. **Estudos sedimentológicos e o contexto estrutural da Formação Serra do Martins, nos platôs de Portalegre, Martins e Santana/RN**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 1999.

PETTIJOHN, F. J. *Sedimentary Rocks*, 3rd Ed., 1975. 628p.

SILVA, L.S. **Análise sedimentológica e petrológica da Formação Sergi próximo da Falha Maragogipe em São Roque do Paraguaçu, Bacia do Recôncavo – BA**. Tese de Conclusão de Curso (Monografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2009.

SCHRANK, A. B. S. 2013. Processos e padrões diagenéticos em arenitos cretáceos de bacias da margem equatorial ocidental brasileira. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 98p.

WOLELA, A.M.; GIERLOWSKI-KORDESCH, E.H. **Diagenetic history of fluvial and lacustrine sandstones of the Hartford Basin (Triassic–Jurassic), Newark Supergroup, USA**. In: *Sedimentary Geology*, Pub. Elsevier, 2004. p. 99 – 126.