

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Influência de aspectos sedimentológicos, tafonômicos e diagenéticos na permeabilidade das coquinas da Formação Morro do Chaves (Bacia de Sergipe-Alagoas)

Hamanda Monteiro Kuntz

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas,
Rio de Janeiro, Brasil, hamanda.monteiro@hotmail.com

João Paulo Porto Barros

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas,
Rio de Janeiro, Brasil, jp@geologia.ufrj.br

Thayssa Pereira de Andrade

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas,
Rio de Janeiro, Brasil, thayssapereira94@gmail.com

Emílio Velloso Barroso

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas,
Rio de Janeiro, Brasil, emilio@geologia.ufrj.br

Jorge André Braz de Souza

Centro de Pesquisas Leopoldo Miguez de Mello, CENPES-Petrobras, jorgeabs@petrobras.com.br

RESUMO: O objetivo deste artigo é analisar de forma integrada as características sedimentológicas, tafonômicas e diagenéticas que interferem na permeabilidade e na definição de Rock Types de coquinas. Para tal, foram utilizados blocos de rocha da Formação Morro do Chaves da Bacia de Sergipe-Alagoas. Essa formação é considerada um análogo para o entendimento dos processos geológicos que afetam a configuração de importantes reservatórios do intervalo pré-sal. Para isso, foi realizada a descrição, de feições faciológicas, tafonômicas e diagenéticas das amostras. Concomitantemente, a permeabilidade ao ar das amostras foi medida, por meio de permeâmetro portátil. Foram elaborados quatro Rock Types(RT): RT “ α ” - coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos inferior a 5%, cimentação intensa, dissolução fraca e orientação convex-up; RT “ β ” - coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos menor que 5%, cimentação intensa, dissolução moderada e orientação convex-up; RT “ γ ” - coquina muito fragmentada, teor de siliciclásticos menor que 5%, cimentação dispersa, dissolução intensa e orientação caótica; RT “ δ ” - coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos inferior a 5%, cimentação dispersa, dissolução fraca e orientação caótica. Em dois destes blocos foram realizadas medidas sistemáticas da permeabilidade que apontam a diagênese como um fator de forte influência na permeabilidade das coquinas da Formação Morro do Chaves.

PALAVRAS-CHAVE: Coquinas, Rock Types, Diagênese, Tafonomia, Permeabilidade.

ABSTRACT: This article aims to analyze in an integrated way the sedimentological, taphonomic and diagenetic characteristics that interfere in the permeability and definition of Rock Types of coquinas. For this purpose, blocks of rock from the Morro do Chaves Formation of the Sergipe-Alagoas Basin were used. This Formation is considered an analogue for understanding the geological processes that affect the configuration of essential reservoirs in the pre-salt interval. The samples' faciological, taphonomic and diagenetic features were described. Concomitantly, the air permeability of the samples was measured using a portable permeameter. Four Rock Types(RT) were elaborated: RT α - little fragmented coquina, siliciclastic content less than 5%, intense cementation, weak dissolution and convex-up orientation; RT β - little fragmented coquina, siliciclastic content less than 5%, intense cementation, moderate dissolution and convex-up orientation; RT γ - very fragmented coquina, siliciclastic content less than 5%, dispersed cementation, severe dissolution and



chaotic orientation; RTδ - little fragmented coquina, siliciclastic content less than 5%, weak cementation, weak dissolution and chaotic orientation. In two of these blocks, systematic permeability measurements were carried out, pointing out diagenesis as a factor with a strong influence on the permeability of the coquinas of the Morro do Chaves Formation.

KEYWORDS: Coquinas, Rock Types, Diagenesis, Taphonomy, Permeability.

1 Introdução

O intervalo coquinas da Formação Morro do Chaves é considerado um potencial análogo às coquinas que ocorrem nos reservatórios do intervalo pré-Sal, em decorrência da sua semelhança litológica e mesmo intervalo de tempo de deposição. Com isso, as coquinas da Formação Morro do Chaves são largamente utilizadas, para o estudo direto, na analogia com reservatórios da margem leste brasileira em águas profundas (e.g. Castro 2011; Texeira, 2012; Thompson et al. 2015; Chinelatto 2020).

O conteúdo de conchas, seu grau de preservação e orientação, associados aos processos de cimentação e dissolução gerados durante a diagênese têm forte influência sobre propriedades físicas dessas rochas (Luna et al. 2016; Luna et al. 2017; Corbett et al. 2017; Lima et al. 2020; Garcia et al. 2020), todos esses elementos têm consequência no tamanho e na geometria dos poros, bem como, o diâmetro das gargantas de poros e a tortuosidade dos caminhos que conectam os poros (Selley e Sonnenberg 2016). Em decorrência dessa complexidade, o estudo com foco na permeabilidade de reservatório de coquinas deve ser feito de forma a integrar todos os elementos descritos.

O objetivo neste artigo é uma análise integrada de características sedimentológicas, tafonômicas e diagenéticas, junto a quantificação da permeabilidade, para o estabelecimento de Rock Types. Foram utilizadas amostras de coquinas da Formação Morro do Chaves (Barremiano-Aptiano) da Bacia de Sergipe-Alagoas, por se tratar de um possível análogo dos reservatórios do intervalo pré-sal.

2 Material e Método

Nesta pesquisa foram utilizados quatro blocos de coquinas com dimensões mínimas de 20 cm de aresta, provenientes de mina de calcário, de propriedade da empresa Intercement, localizada no município de São Miguel dos Campos, Alagoas (figura 1).

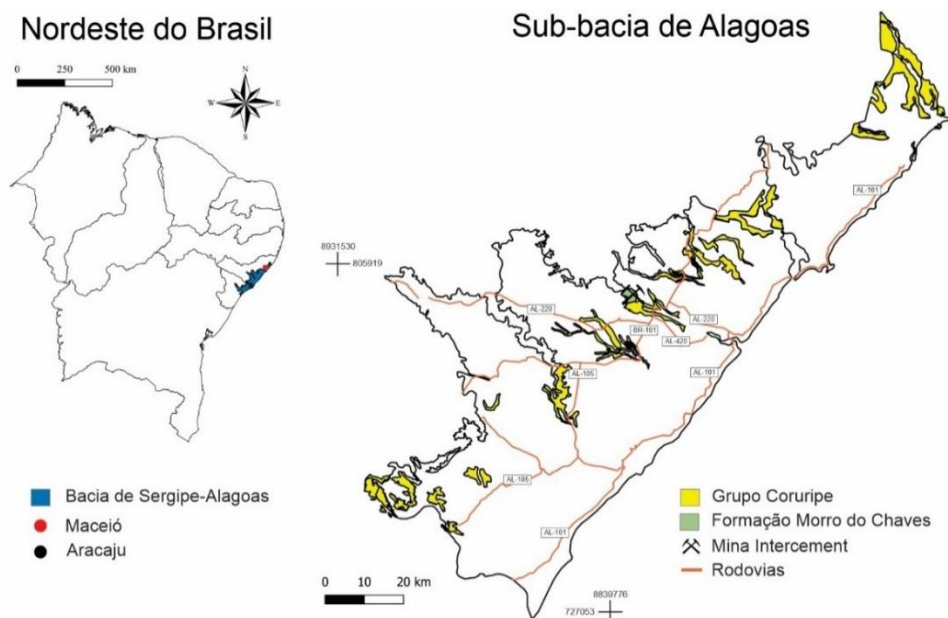


Figura 1 Mapa da sub-bacia de Alagoas com a localização da mina Intercement e a ocorrência da Formação Morro do Chaves.



A descrição macroscópica das amostras foi realizada com auxílio de estereomicroscópio Zeiss STEMI 305, com base em atributos faciográficos como descritos por Walker (2006) e tafonômicos (Davies, et al., 1989; Kidwell et al., 1986; Kidwell & Holland, 1991). A observação incluiu os seguintes atributos: porcentagem de siliciclásticos e carbonatos, grau de fragmentação, *biofabric* (biotrama), tafonomia (presença de conchas articuladas, ornamentadas, razão conchas inteiras/conchas fragmentadas), grau de dissolução, cimentação e tipos de poros.

Para aferir a permeabilidade, foi utilizado o permeâmetro portátil a gás modelo *TinyPerm3*. Esse equipamento mede a permeabilidade segundo a lei de Darcy, utilizando uma vazão constante e controlada de ar aplicada, e informações sobre a área e o comprimento da câmara cilíndrica, onde ocorre o contato entre o dispositivo e o corpo a ser medido. O permeâmetro utiliza um algoritmo com base na pressão do ar injetado durante o ensaio, controlando as condições do fluxo e determinando a permeabilidade (Hurst & Rosvoll, 1991; Huysmans et al., 2008; Brown & Smith, 2013).

Cuidados devem ser tomados para evitar erros durante as medidas de permeabilidade em rochas que apresentem superfícies muito irregulares, o que pode dificultar as condições de acoplamento do equipamento com a superfície da rocha e gerar escape de ar no momento da medição (Hurst & Rosvoll, 1991; Huysmans et al., 2008; Brown & Smith, 2013). Para evitar possíveis erros nos valores e permeabilidade os blocos foram cortados com disco diamantado para remoção de capas de alteração e para tornar as faces superfícies regulares (figura 2A).

Um *grid* composto por células com 4 x 4 cm de lado foi desenvolvido com o objetivo de padronizar e referenciar as medidas de permeabilidade realizadas em todas as superfícies dos blocos (figura 2B). Cada célula teve seu centro definido para o posicionamento do permeâmetro. O número de medidas de permeabilidade é condicionado pelas dimensões de cada bloco de rocha.

Após a etapa de preparação das amostras, foram medidas as permeabilidades em superfícies perpendiculares, nas direções ortogonal (K_o) e paralela (K_p) ao acamamento sedimentar em dois dos blocos disponíveis (figura 2C).

Esse padrão de orientação de medidas foi utilizado para avaliar o comportamento da permeabilidade de acordo com a orientação de cada superfície, buscando relação entre variação de permeabilidade e disposição das superfícies dos blocos, podendo indicar um possível controle para a permeabilidade.

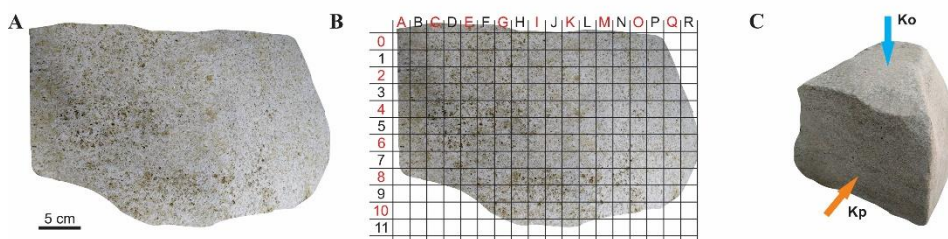


Figura 2 Bloco de Coquina coletado em campo (A); *grid* modelo utilizado para aquisição das medidas de permeabilidade (B) e a orientação das medidas de permeabilidade K_p (paralela) e K_o (ortogonal) (C).

3 Resultados e Discussão

Os blocos descritos apresentaram características distintas e foram reunidos em quatro grupos que, junto com as medidas das permeabilidades, compõem quatro *Rock Types* (RT):

RT “ α ” - coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos inferior a 5%, cimentação intensa, dissolução fraca e orientação das conchas *convex-up* (figura 3A);

RT “ β ” - coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos inferior a 5%, cimentação intensa, dissolução moderada e orientação das conchas *convex-up* (figura 3B);

RT “ γ ” - coquina muito fragmentada, teor de siliciclásticos menor que 5%, cimentação dispersa, dissolução intensa e orientação caótica das conchas (figura 3C);



RT “ δ ”- coquina pouco fragmentada, teor de siliciclásticos menor que 5%, cimentação dispersa, dissolução fraca e orientação caótica das conchas (figura 3D).

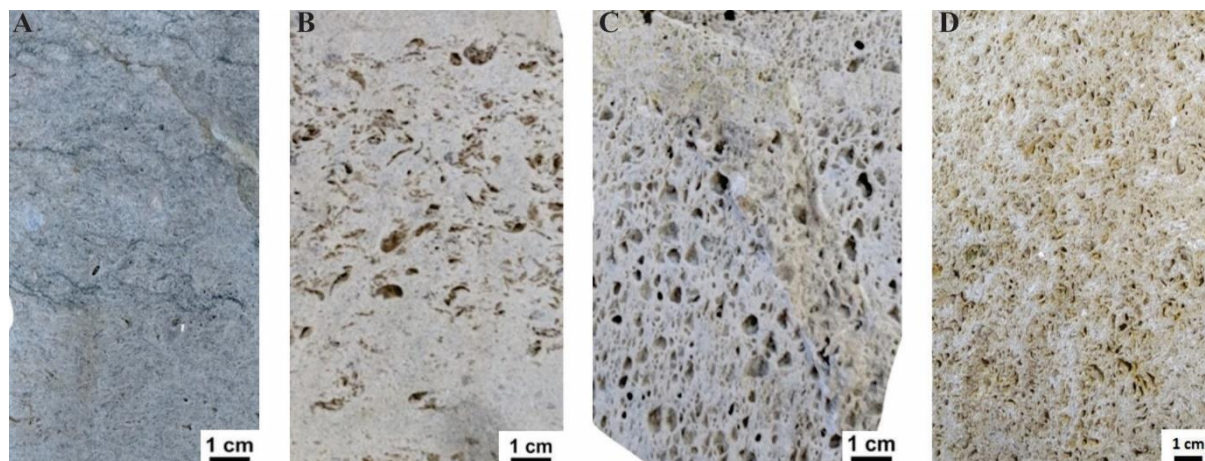


Figura 3 Seção dos blocos que representam os Rock types. RT α (A); RT β (B), RT γ (C) e RT δ (D).

Após a descrição das amostras, foi realizada medição de permeabilidade nos blocos do RT α e do RT γ , em duas faces.

Apresentados na tabela 1, os resultados mostram uma grande variação dos valores de permeabilidade tanto entre as amostras, como nas diferentes orientações de uma mesma amostra. Os elevados valores do coeficiente de variação, superiores a 50 %, indicam uma material heterogêneo com relação à permeabilidade. A análise exploratória mostra que a distribuição dos dados é, em sua maioria, assimétrica, conforme atestam as posições da mediana em relação ao primeiro e terceiro quartis nos gráficos *boxplot* (Figura 4). As razões média/mediana apresentadas na tabela 1 confirmam esta característica para as amostras ensaiadas. A única exceção está associada com a permeabilidade na direção perpendicular ao acamamento sedimentar no RT α . Dessa forma, a mediana foi usada como medida de tendência central, por melhor expressar o comportamento da permeabilidade nos dois grupos de rochas.

A cimentação intensa e a baixa dissolução das conchas respondem pelos baixíssimos valores de permeabilidade do RT α . As conchas bem preservadas e orientadas explicam a forte anisotropia de permeabilidade verificada para este RT. Em relação ao RT γ , a cimentação dispersa e intensa dissolução são responsáveis pelo considerável aumento da permeabilidade. Adicionalmente, o grau de fragmentação elevado e a orientação caótica (ou ausência de orientação) do conjunto de conchas podem explicar a redução da anisotropia observada nas permeabilidades medidas na direção paralela (K_p) e na direção ortogonal (K_o) ao acamamento sedimentar.

Tabela 1 Estatística descritiva dos dados de permeabilidade das amostras analisadas.

Bloco RT	Orientação	Número de Medidas	Média (mD)	Desvio Padrão (mD)	Coeficiente de Variação (%)	Mediana (mD)	Razão Média / Mediana	Anisotropia (K_o/K_p)
B2 III	Ortogonal	34	5,1	2,5	49,0	4,8	1,1	1,9
RT α	Paralela	44	20,0	20,0	100,2	9,2	2,2	
B3 III	Ortogonal	45	442,7	538,3	127,3	250,6	1,8	1,5
RT γ	Paralela	39	754,9	735,7	97,4	380,6	2,0	

Os *boxplots* (figura 4) mostram um comportamento geral, onde os maiores valores de permeabilidade e uma distribuição assimétrica negativa são observados na direção paralela ao acamamento sedimentar das amostras, enquanto as medidas perpendiculares ao acamamento possuem valores menores de permeabilidade e distribuídos de maneira mais próxima da simétrica, principalmente na amostra B2III (RT α).

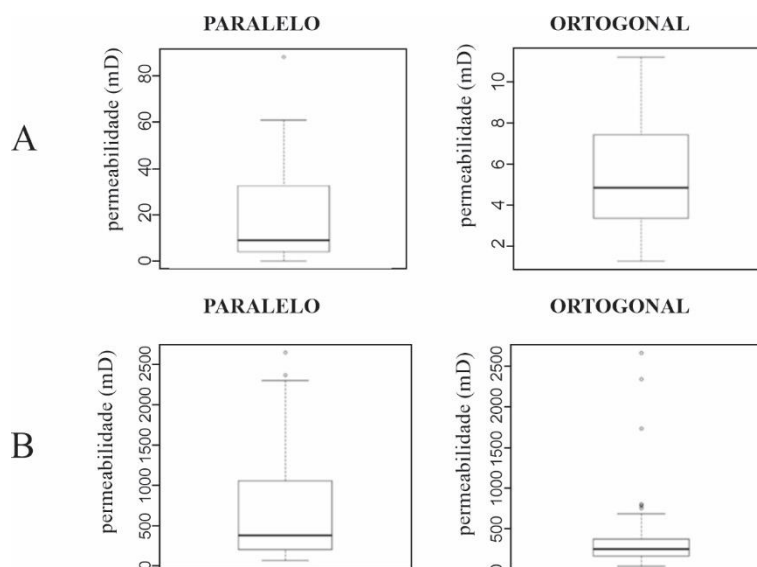


Figura 4 *Boxplots* gerados nas duas direções (paralela e perpendicular ao acamamento sedimentar) dos blocos estudados: RT α (A) e RT γ (B).

Os valores de permeabilidade apresentados neste artigo são compatíveis com aqueles obtidos por outros autores que determinaram a permeabilidade de plugues de coquinas no interior de células de Hassler (Chinelatto, 2020; Silva et al. 2019; Luna et al., 2016; Pinho, 2015). Embora estes autores destaquem a variabilidade da permeabilidade, a abordagem neste artigo permite um número maior de medidas e, com isso, caracterizar a variabilidade da permeabilidade de uma forma mais robusta, assim como a anisotropia desta propriedade.

4 Conclusão

As coquinas da Formação do Morro do Chaves descritas, mostram uma grande heterogeneidade faciológica, que junto a sobreposição de diversos eventos diagenéticos, que obliteram ou incrementam o espaço poroso, afetam drasticamente a permeabilidade, como mostram os dados experimentais apresentados neste artigo.

A utilização do permeâmetro a gás em modo matricial (*grid*), gerou uma grande quantidade de medidas, essas medidas demonstraram a heterogeneidade das rochas com relação a esta propriedade, tanto na direção paralela quanto perpendicular ao acamamento sedimentar.

A definição de *rock types*, pela integração dos dados faciológicos, tafonômicos e feições diagenéticas, demonstram a possibilidade de organização em grupos de coquinas com padrões que poderão indicar maiores ou menores permeabilidades de rochas reservatório compostas por este tipo de rocha. Conclui-se que a orientação e grau de fragmentação das conchas são os principais aspectos que controlam anisotropia de permeabilidade, enquanto as cimentação e a dissolução afetam diretamente os valores de permeabilidade, tornando-os, via de regra, mais elevados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas, do Instituto de Geociências da UFRJ (LEMETRO-UFRJ) por toda a infraestrutura disponibilizada para a elaboração desta pesquisa, bem como à Petrobras e a ANP pelo financiamento do projeto “*Análise Experimental Hidromecânica da Reativação de Falhas e das Relações Tensão-Deformação-Permeabilidade de Rochas Reservatório*”.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, S., Smith, M. (2013) A transient-flow syringe air permeameter. *Geophysics*, 78 (5), p. 307-313.
- Castro, L S. (2011). *Estudo petrográfico comparativo entre a Formação Morro do Chaves da Bacia (Se/Al) e o Grupo Lagoa Feia da Bacia de Campos e o seu potencial como reservatório de hidrocarbonetos*. Monografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 96p.
- Chinelatto, G. F. (2020). *Análise petrofísica em coquinas abordando o conceito de tafofácies*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 127p.
- Corbett, P.W.M., Wang, H., Câmara, R.N., Tavares, A.C., Borghi, L.F., Perosi, F., Machado, A., Jiang, Z., MA, J., Bagueira, R. (2017). Using the porosity exponent (m) and pore-scale resistivity modelling to understand pore fabric types in coquinas (Barremian-Aptian) of the Morro do Chaves Formation, NE Brazil: *Marine and Petroleum Geology*, 88, p.628-647.
- Davies, D.J.; Powell, E.N. & Stanton, R.J. (1989). Taphonomic signatures as a function of environmental process: shells and shell beds in hurricane-influenced inlet on the Texas coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72, p.317-356.
- Garcia, G.G., Henriques, M.H., Garcia, A.J.V., Dantas, M.V.S. (2020). Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil) *Facies* 67.
- Hurst, A., Rosvoll, K. J. (1991). Permeability in sandstones and their relationship to sedimentary structures. In *Reservoir Characterization* (L. W. Lake, H. B. Carroll, T. C. Wesson, eds.), Academic Press, San Diego, CA, USA, p. 166-196.
- Huysmans, M., Peeters, L., Moermans, G., Dassargues, A. (2008) Relating small-scale sedimentary structures and permeability in a cross-bedded aquifer. *Journal of Hydrology*, 361(1–2), p. 41–51.
- Kidwell, S.M., Fürsich, F.T., Aigner, T. (1986). Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, 1, p.228-238.
- Kidwell, S.M., Holland, S.M. (1991). Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios*, 6, p.426-434.
- Lima, M.C.O., Pontedeiro, E. M., Ramirez, M., Boyd, A., van Genuchten, M. Th., Borghi, L., Couto, P., Raoof, A. (2020). Petrophysical Correlations for the Permeability of Coquinas (Carbonate Rocks). *Transport in Porous Media*, 135, p.287–308.
- Luna, J.L., Perosi, F.A., Ribeiro, M.G.S., Souza, A., Boyd, A., Almeida, L.F.B., Corbett, P.W.M. (2016). Petrophysical rock typing of coquinas from the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin (northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geofísica*, 34(4), p.509-521.
- Luna, J.L., Perosi, F.A., Ribeiro, M.G.S., Borghi, L., Souza, A. (2017). Classificação do Espaço Poroso de Coquinas (Fm. Morro do Chaves – Bacia de Sergipe-Alagoas) por meio da análise de dados de Ressonância Magnética Nuclear. In: 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July-3 August 2017.
- Pinho, R.R.E. (2015). *Variação da porosidade e da permeabilidade em coquinas da Formação Morro Do Chaves (Andar Jiquiá), Bacia de Sergipe-Alagoas*. Monografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 83 p.
- Selley, R.C., Sonnenberg, S.A. (2016). *Geologia do petróleo*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier 515p.
- Silva, R. M. S.; Perosi, F.A.; Luna, J.L.; Ribeiro, M.G.S. (2019). Análise do sistema poroso de coquinas da formação morro do chaves, bacia sergipe - alagoas pelas técnicas de pressão capilar por injeção de mercúrio e microtomografia computadorizada. In: 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- Thompson, D.L., Stilwell, J. D., Hall, M. (2015). Lacustrine carbonate reservoirs from Early Cretaceous rift lakes of Western Gondwana: Pre-Salt coquinas of Brazil and West Africa. *Gondwana Research*, 28(1), p.26-51.
- Walker, R.G. (2006). Facies models revisited Introduction. In: POSAMENTIER, H.W. & WALKER, R.G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Tulsa, Society for Sedimentary Geology Special Publication, 84, p. 1-19.