

ANÁLISE MINERALÓGICA/ESPECTRAL DE AMOSTRAS DA FORMAÇÃO VACA MUERTA, BACIA DE NEUQUÉN, ARGENTINA.

Palavras-Chave: Espectroscopia; Mineralogia; Bacias.

ANDRÉ MARTINS LEAL, IG – UNICAMP

Prof. Dr. DIEGO FERNANDO DUCART (orientador), IG - UNICAMP

Prof. Dr. BERNARDO TAVARES DE FREITAS, IG – UNICAMP

Prof. Dr. CARLOS ROBERTO SOUZA FILHO, IG - UNICAMP

REBECCA SCAFUTTO, IG – UNICAMP

RAPHAEL HUNGER, IG – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O presente trabalho busca caracterizar amostras de rochas sedimentares da Bacia de Neuquén e da FVM através da descrição mineralógica obtida através da espectroscopia de reflectância no infravermelho e da fluorescência de raios X. É também feita a correlação e reconstituição estratigráfica da bacia com base na constituição mineral das amostras, a partir especialmente da sua constituição de argilominerais, com a finalidade de apontar a potencialidade para a geração de hidrocarbonetos em suas formações e o melhor entendimento da gênese e evolução da Bacia de Neuquén.

A Bacia de Neuquén está localizada na porção centro-oeste da Argentina, abrangendo partes do centro-leste do Chile, e possui uma área de 120.000 quilômetros quadrados e um registro estratigráfico contínuo de mais de 4000 metros. Segundo Howell et al. (2005) a sua evolução engloba três estágios: o estágio *SynRift*, que precede a fase de subducção e é marcada por sistemas de falhas transcorrentes e processos tectônicos extensionais; estágio *Pós-Rift*, em que passa a ocorrer subducção (Tipo Mariana) e a formação de um arco magmático, além da inundação do continente formando um mar epicontinental; e o estágio *Antepaís*, em que a subducção se torna mais rasa (Tipo Andino) e a região do retro-arco passa por processos compressionais variando as dimensões da bacia.

Durante a formação da bacia, especialmente durante o estágio Pós-Rift entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior, no qual ocorreu a transgressão marinha e a formação de um mar epicontinental (Howell et al., 2005), ocorre a deposição de camadas carbonáticas pelágicas, siliciclásticas marinhas e evaporíticas. Destas fácies, carbonatos lamosos (margas) e folhelhos, correspondem à Formação Vaca Muerta (FVM), considerada a principal rocha geradora para o óleo em

Neuquén, apresentando querogênio de Tipo 1 e 2, e valores de carbono orgânico total entre 1 e 8%. É também considerada como a formação mais prolífica para a exploração do petróleo não-convencional na Argentina (Romero-Sarmiento et al., 2017).

METODOLOGIA:

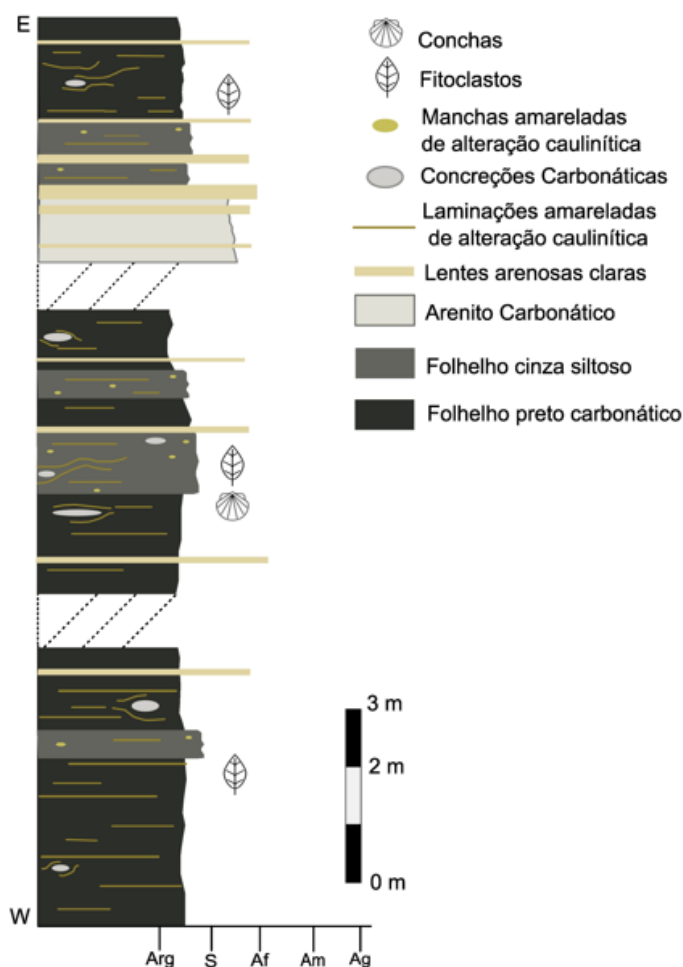
Foram medidas aproximadamente 200 amostras de rocha pertencentes a Bacia de Neuquén em trabalho de campo realizado em 2024, tais medições foram feitas através da espectroscopia de reflectância e de fluorescência de raios X, e buscavam respectivamente, obter informações sobre a composição mineralógica e química das amostras, permitindo a correlação estratigráfica com as formações da bacia e uma avaliação do seu potencial gerador de óleo.

A espectroscopia de reflectância é um método de análise mineral espectrométrica não destrutiva, com sensibilidade para materiais cristalinos e amorfos, rápido e que não requer a preparação prévia das amostras. A espectroscopia de reflectância utilizada na faixa do VNIR-SWIR (400 - 2500 nm), analisa resultados de processos iônicos e vibracionais na estrutura cristalina mineral (Hunt, 1977). O espectrômetro emite um feixe de luz do qual certos comprimentos de onda são absorvidos pelos minerais presentes na amostra. É o estudo da luz como uma função do comprimento de onda que foi refletido ou disperso um gás, sólido ou líquido (Clark, 1995).

Os dados de reflectância obtidos na forma de espectros foram analisados e interpretados dentro do software CSIRO/The Spectral Geologist (TSG), onde foi possível, a partir de feições de absorção características, a identificação de minerais nas curvas espectrais obtidas das amostras de rocha.

De modo a auxiliar as medições espectrométricas foi aplicado a medição das amostras por fluorescência de raios X, que fornece uma análise química comparativa em razão das porcentagens de massa de certo elemento (ou em forma de óxido) presentes. A espectrometria de fluorescência de raios X é um método analítico que proporciona uma análise química quantitativa, sendo um método rápido, eficiente e não destrutivo (Marguí et al., 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:



A partir das curvas espectrais, foram extraídas informações sobre a espectro-mineralogia das amostras (com base em feições de absorção diagnósticas) e variações de cristalinidade de determinados minerais, possibilitando o enquadramento das rochas dentro do registro estratigráfico. As amostras foram divididas em 4 grupos correspondentes a quatro localidades da bacia de Neuquén e os minerais identificados foram: misturas interestratificadas de illita-esmectita, caulinita, clorita, gipsita, jarosita e calcita.

Figura 1 - coluna estratigráfica construída a partir do enquadramento mineralógico obtido dos espectros dentro dos afloramentos análogos à FMV.

Para a avaliação do potencial gerador de óleo de determinadas formações da bacia, em especial a FVM, foi aprofundada a análise acerca dos argilominerais, que passam por grandes transformações devido a diagênese e estágios iniciais de metamorfismo. Segundo Merriman

(2005), uma gama de fatores contribui para a intensidade das reações que sofrem as argilas em bacias sedimentares, tais como fluxo de calor, composição e movimento de fluidos, pressão e deformação tectônica. A evolução de uma bacia pode ser observada nas transformações que neles ocorrem, e portanto, para esse fim, foram selecionadas a Esmectita e a Ilita, e a sua reação de transformação da primeira para a segunda gradualmente através de misturas interestratificadas.

A reação mais importante na análise e evolução de bacias e geração de hidrocarbonetos, é a transformação da esmectita para a ilita através de uma série de minerais intermediários com camadas mistas de ilita-esmectita, processo esse que apresenta progressão correlata com a maturação de hidrocarbonetos (Hower et al., 1976; Pytte & Reynolds, 1989; Merriman, 2005). A transformação da esmectita para ilita de forma progressiva através de misturas interestratificadas desses dois minerais em bacias sedimentares, é uma resposta à profundidade de soterramento, aumento gradual da temperatura ao longo dos anos e a crescente pressão devido às camadas superiores (Velde, 1986; Merriman, 2005).

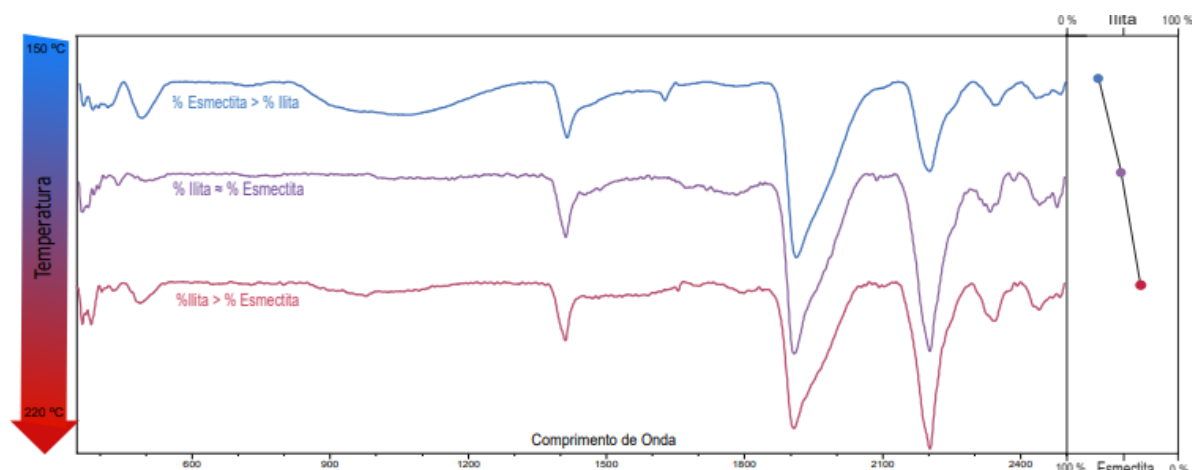


Figura 2 - gráfico de empilhamento de espectros mostrando a variação na proporção de illita e montmorilonita (esmectita), em função do aumento de temperatura.

A proporção entre illita e esmectita, ou *illite to smectite ratio* (I/S), é utilizada como um geotermômetro que fornece a máxima temperatura de soterramento de uma rocha de determinada bacia sedimentar e é usada como um indicador de maturação da geração de hidrocarbonetos (Pollastro, 1993). Nesse sentido, foi possível observar a predominância de esmectita sobre illita na grande maioria dos espectros compostos pelas misturas interestratificadas, apresentando indícios de que para as formações analisadas da Bacia de Neuquén, estágios de maturação foram atingidos permitindo o desenvolvimento de óleo.

CONCLUSÕES:

A análise espectrométrica, juntamente com os dados geoquímicos forneceu dados mineralógicos relevantes para a avaliação do potencial gerador de óleo das rochas da Bacia de Neuquén, especialmente da FVM, e permitiram uma reconstrução estratigráfica através da correlação entre a composição mineral das amostras e a mineralogia das fácies sedimentares.

O aprofundamento na análise da esmectita e illita foram basilares para que o potencial gerador de óleo da Bacia fosse apontado. Dentre as diferentes formações que compõem a bacia, a FVM se destaca pelo seu potencial gerador, advindo das suas fácies compostas por folhelhos negros com concreções carbonáticas. Visto que tais argilominerais prevalecem em folhelhos, e estes podem conter teores significativos de matéria orgânica, as proporções de esmectita e illita em mistura interestratificada são um indicativo da paleotemperatura de formação, e a profundidade máxima de soterramento, ditando as condições para a geração de óleo nessas rochas.

O potencial gerador de óleo da bacia é afirmado pela composição mineralógica das amostras, que apresentam misturas interestratificadas em estágio correlacionado com as condições favoráveis para a geração de óleo, a chamada “janela do óleo”, fator que é condicionado pela alta concentração de matéria orgânica de determinadas formações. A espectrometria de reflectância se mostrou eficiente na caracterização e identificação da mineralogia das amostras, permitindo uma análise aprofundada e correlata com a estratigrafia e as condições geradoras de hidrocarbonetos, sendo uma alternativa para a avaliação do potencial de uma bacia e sua evolução.

BIBLIOGRAFIA

CLARK, R. N. Reflectance Spectra. In: Rock Physics & Phase Relations: A Handbook of Physical Constants. **American Geophysical Union**. p. 178-188, 1995

HOWELL, J., Schwarz, E., Spalletti, L.A., Veiga, G. The Neuquen Basin: an overview, 2005. In: Veiga, G., Spalletti, L.A., Howell, J.A., Schwarz, E. (Eds.), The Neuquen Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics, vol. 252. **Geological Society, London, Special Publications**, pp. 1e14, 2005.

HOWER, JOHN et al. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. Mineralogical and chemical evidence. **GSA Bulletin**, [s. l.], v. 87, n. 5, p. 725–737, 1976.

HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, v. 42, n. 3, p. 501-513, abr. 1977.

MARGUÍ, E.; QUERALT, I.; DE ALMEIDA, E. X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis: Basic principles, instrumentation, applications and recent trends. **Chemosphere**, [s. l.], v. 303, p. 135006, 2022.

MERRIMAN, Richard J. Clay minerals and sedimentary basin history. **European Journal of Mineralogy**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 7–20, 2005.

POLLASTRO, Richard M. Considerations and Applications of the Illite/Smectite Geothermometer in Hydrocarbon-Bearing Rocks of Miocene to Mississippian Age. **Clays and Clay Minerals**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 119–133, 1993.

PYTTE, A. M.; REYNOLDS, R. C. The Thermal Transformation of Smectite to Illite. In: , 1989, New York, NY. (Nancy D. Naeser & Thane H. McCulloh, Org.) Thermal History of Sedimentary Basins. New York, NY: **Springer**, 1989. p. 133–140.

ROMERO-SARMIENTO, M.-F. et al. Geochemical and petrophysical source rock characterization of the Vaca Muerta Formation, Argentina: Implications for unconventional petroleum resource estimations. **International Journal of Coal Geology**, v. 184, p. 27–41, 2017.

VELDE, B. Pressure-Temperature-Composition of Illite/Smectite Mixed-Layer Minerals: Niger Delta Mudstones and other Examples. **Clays and Clay Minerals** 34(4):435-441, 1986.