

Universidade de São Paulo
Disciplina: EAH-5003 – Redação Científica (2023-1)

Docentes Responsáveis:

Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques

Profa. Dra. Flávia Mori Sarti

Aluno: Fábio Palma de Lima – NUSP: 9580985

Atividade 3 – Materiais e Métodos

Título do artigo:

Desafios do *kick-off point* na Formação Irati, Bacia do Paraná (ainda provisório).

Objetivos:

Avaliar a composição mineralógica das rochas da Formação Irati – Bacia do Paraná e estabelecer critérios mineralógicos para uma das tarefas envolvidas na extração do gás não-convencional que é a definição do *kick-off point* durante a perfuração direcional, ou seja, a transição entre poços vertical e horizontal.

Informações a respeito do veículo: Revista Geoenergy Science and Engineering

A título informativo, segue abaixo descrição do escopo de abrangência da revista, tal qual consta no sítio eletrônico do editor.

O objetivo da Ciência e Engenharia da “Geoenergia” é preencher a lacuna entre a engenharia e a ciência da geoenergia e produção sustentável de hidrocarbonetos, publicando textos explicitamente escritos artigos inteligíveis para cientistas, engenheiros e geólogos que trabalham em áreas afins.

Ciência e Engenharia de Geoenergia abrange os campos de geoenergia e hidrocarbonetos sustentáveis produção em seu sentido mais amplo. A revista tem como objetivo publicar artigos com um foco particular na transição energética e na obtenção de metas de emissões líquidas zero. Os tópicos gerais incluem: responsável e geração sustentável de energia; captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS); energia geotérmica; produção, transporte e armazenamento de hidrogênio; armazenamento subterrâneo de gás; aplicação de inteligência artificial, aprendizado de máquina e análise de dados na indústria de energia; e hidrocarboneto sustentável exploração e produção.

Os artigos serão publicados com o mínimo de atraso de publicação. Artigos de pesquisa, histórias de casos, campo relatórios de processos, comunicações curtas, resenhas de livros, atas de simpósios e artigos de revisão são aceitos. Geralmente, serão publicados artigos de revisão sobre algum tema de especial interesse atual.

Anteriormente conhecido como Journal of Petroleum Science and Engineering, com um IF 2021 de 5,168 em 2021.

Fatores considerados para escolha do veículo:

Além de impacto de certa relevância (citescore = 8,1) para a área de interesse do artigo, a revista trata da temática da transição da matriz energética de forma cuidadosa e sustentável.

Materiais e métodos (conforme título utilizado na revista)

Neste capítulo do artigo, será apresentada a sequência e a metodologia utilizada para a análise de dados durante o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo está estruturado em cinco subseções, correspondentes às cinco fontes de dados analisadas, como indicado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Organização do capítulo “Materiais e Métodos”

subcapítulo	Descrição da fonte do dado	Objetivo
1	Análise de dados de perfis de sondagem da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) obtidos de duas fontes de dados: (i) Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica; (ii) Dados disponibilizados pela biblioteca virtual da CPRM.	Obter dados litológicos, informações sobre profundidades e espessura da camada.
2	Análise dos dados disponibilizados por ANP (2020), com o total de 125 poços já perfurados na Bacia do Paraná.	Obter informações a respeito de perfurações.
3	Seleção e análise detalhada de 43, do total de 125 poços (ANP, 2020), com ênfase naqueles abordados no trabalho realizado por Ramos e Formoso (1975).	Obter informações a respeito da Fm. Irati em perfurações.
4	Análise em laboratório (difração de raios X) de amostras coletadas no campo, em afloramentos da Formação Irati nos estados de SP, PR e SC.	Obter informações a respeito de amostras coletadas em afloramentos da Fm. Irati.
5	Comparação das análises mineralógicas da Fm. Irati com folhelhos produtores no exterior	Comparar informações da literatura e dos resultados obtidos a respeito da Fm. Irati com <i>plays</i> já produtores.

Fonte: (LIMA, 2021).

1. Análise de dados de perfis de sondagem da CPRM

Entre anos 1970 e 1980, a CPRM realizou um projeto chamado "Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica", que teve como objetivo avaliar o potencial

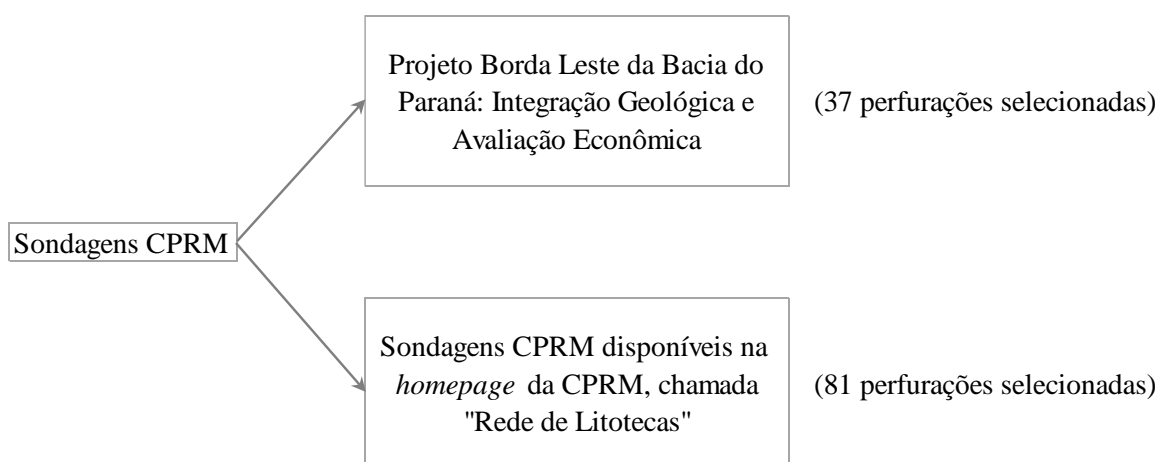
de produção de hidrocarbonetos na Bacia sedimentar do Paraná. Esses estudos foram compilados por Aboarrage e Lopes (1986).

A segunda parte dos dados, igualmente obtidos via CPRM, foi obtida através de outros diversos projetos disponíveis em sua página na web, intitulada "Rede de Litotecas". Esses dados consistem em um acervo litológico digital composto por amostras de rochas, alíquotas geoquímicas, lâminas petrográficas e testemunhos de sondagem, sendo estes últimos o foco desta pesquisa (CPRM, 2020).

Com base nessas duas fontes de dados, foram levantados 3500 perfis de sondagem, dos quais 118 foram selecionados para análise mais detalhada obedecendo os seguintes critérios: (i) locais estavam geograficamente na Bacia do Paraná e (ii) eram portadores de folhelho, preferencialmente folhelho pirobetuminoso.

Melhor explicando, pode-se resumir que, os dados fornecidos pelas sondagens da CPRM foram analisados conforme abaixo:

Figura 1 - Fontes de dados de projetos de sondagens da CPRM



Fonte: (LIMA, 2021).

Importante acrescentar que, em ambas as fontes de dados, seja nos relatórios compilados por Aboarrage e Lopes (1986) quanto nas amostras disponibilizadas na web pela CPRM, foram encontrados dados referentes à perfuração, como: código do furo, data de execução, localização geográfica, profundidade final, descrição litológica e outros detalhes. Esses dados foram extraídos manualmente dos relatórios de campo e organizados em planilhas para permitir uma análise mais precisa das informações coletadas a época.

2. Análise dos dados disponibilizados por ANP (2020)

Assim como os dados disponibilizados pela CPRM, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) também disponibiliza em sua página na internet uma seção chamada "Acervo de Dados", que contém uma tabela detalhada com cerca de 30.000 poços perfurados por diversas empresas de Óleo & Gás em todo o Brasil, incluindo informações como a profundidade, o tipo de perfuração (vertical ou direcional) e coordenadas geográficas. É importante ressaltar que a maioria desses poços foi perfurada pela Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.), representando cerca de 87% do total (ANP, 2020).

No mesmo sentido da análise anterior, este artigo também utilizou esses dados adotando a mesma metodologia para estratificar os poços por bacia sedimentar e, em seguida, concentrando a análise na bacia de interesse. Neste processo, foram selecionados 125 poços para uma análise mais aprofundada.

3. Análise da Fm. Irati à luz do trabalho produzido por Ramos e Formoso (1975)

Dentre os 125 poços selecionados da ANP (2020), mencionados no subcapítulo anterior, Ramos e Formoso (1975) realizaram um estudo mais detalhado em 43 poços perfurados pela Petrobras antes de 1967. Os autores obtiveram informações importantes sobre a presença de argilominerais na Bacia do Paraná e produziram um mapa com as localizações desses poços. Assim como nas fontes de dados anteriores, os dados relevantes foram selecionados, tabulados e analisados.

4. Análise em laboratório de amostras coletadas em trabalhos de campo

Este estudo se debruçou também a um trabalho de campo para observar as propriedades mineralógicas da Formação Irati e coletar amostras de folhelho para análise posterior no Laboratório de Caracterização de Rochas de Sistemas Petrolíferos (LABPETRO) do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Durante a observação em frentes de lavra, foram observadas propriedades geológicas importantes, como a espessura e continuidade lateral das rochas da Formação Irati, incluindo as camadas de folhelho, bem como as rochas carbonáticas intercaladas e vulcânicas associadas.

As frentes de lavra visitadas durante a pesquisa pertencem a três empresas de mineração no estado de São Paulo:

- (i) Partecal-Partezani Calcários, localizada em Rio Claro
- (ii) Amaral Machado Mineração, em Saltinho
- (iii) Calcário Cruzeiro, em Limeira.

Além disso, a equipe de pesquisadores do Projeto Rede GASBRAS (Convênio FINEP 01.14.0215.00), vinculado ao IEE/USP, havia coletado anteriormente amostras da Formação Irati em antigas frentes de lavra da Partecal-Partezani Calcário e da Calcário Bernardino, bem como de afloramentos nas proximidades de São Mateus do Sul, no Paraná, e na Coluna White, em Santa Catarina, que foram gentilmente cedidas para o estudo da mineralogia.

No total, foram analisadas vinte e oito amostras, devidamente numeradas e com as respectivas coordenadas geográficas do local de extração, sendo que quatro são de folhelho da base da Formação Serra Alta.

Para facilitar a localização geográfica das amostras, foi elaborado um mapa com base nas isópacas de Zalán et al. (1990), que mostra a borda leste da Bacia do Paraná, onde as amostras foram coletadas. As linhas de isópacas representam a espessura mínima a ser perfurada verticalmente antes de se atingir o topo do Membro Assistência da Formação Irati, que varia entre 1300 na parte central da bacia, área oeste do estado do Paraná, e 100 m na borda sul no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Este mapa será importante na análise do fraturamento hidráulico da unidade.

Tabela 2 – Procedência das amostras coletadas e suas respectivas coordenadas geográficas e numeração adotada no laboratório

Cidade	Empresa/ Área	Local	Coordenadas geográficas	Amostra	n° amostra LAB PETRO	Fm.
Rio Claro (SP)	Partecal-Partezani	IRT-06	47°34'41,80"O 22°30'48,31"S	IRT-06	446	Irati
Saltinho (SP)	Bernardino	IRT-07	47°42'27,37"O 22°53'15,20"S	IRT-07	447	
		IRT-08		IRT-08	448	
		IRT-09		IRT-09	449	
	Amaral Machado	AMM-01	47°43'12,00"O 22°52'47,14"S	AMM-01-01	906	
				AMM-01-02	907	
				AMM-01-03	908	
Limeira (SP)	Calcário Cruzeiro	CCZ-01	47°26'37,51"O 22°32'19,11"S	CRUZ01	913	
				CRUZ02	914	
				CRUZ03	915	
				CRUZ04	916	
				CRUZ05	917	
				CRUZ06	918	
				CRUZ07	919	
				CRUZ08	920	
São Mateus do Sul (PR)	Afloramentos próximos a Petrosix	GBR-137	50°22'43,19"O 25°53'32,99"S	GBR-137A	863	Serra Alta
				GBR-137B	864	
				GBR-137C	865	
		GBR-138	50°23'2,795"O 25°52'34,82"S	GBR-138A	866	Irati
				GBR-138B	867	
		GBR-139	50°24'19,21"O 25°50'42,63"S	GBR-139A	868	
				GBR-139B	869	
				GBR-139C	870	
		GBR-140	50°24'24,372"O 25°50'1,922"S	GBR-140A	871	Serra Alta
				GBR-140B	872	
Coluna White (SC)	Afloramentos próximos a Coluna White	ICR-014	49°28'16,84"O 28°23'14,87"S	ICR-014	862	Irati

Fonte: (LIMA, 2021)

Figura 2 – Localização das amostras analisadas nos estados de SP, PR e SC

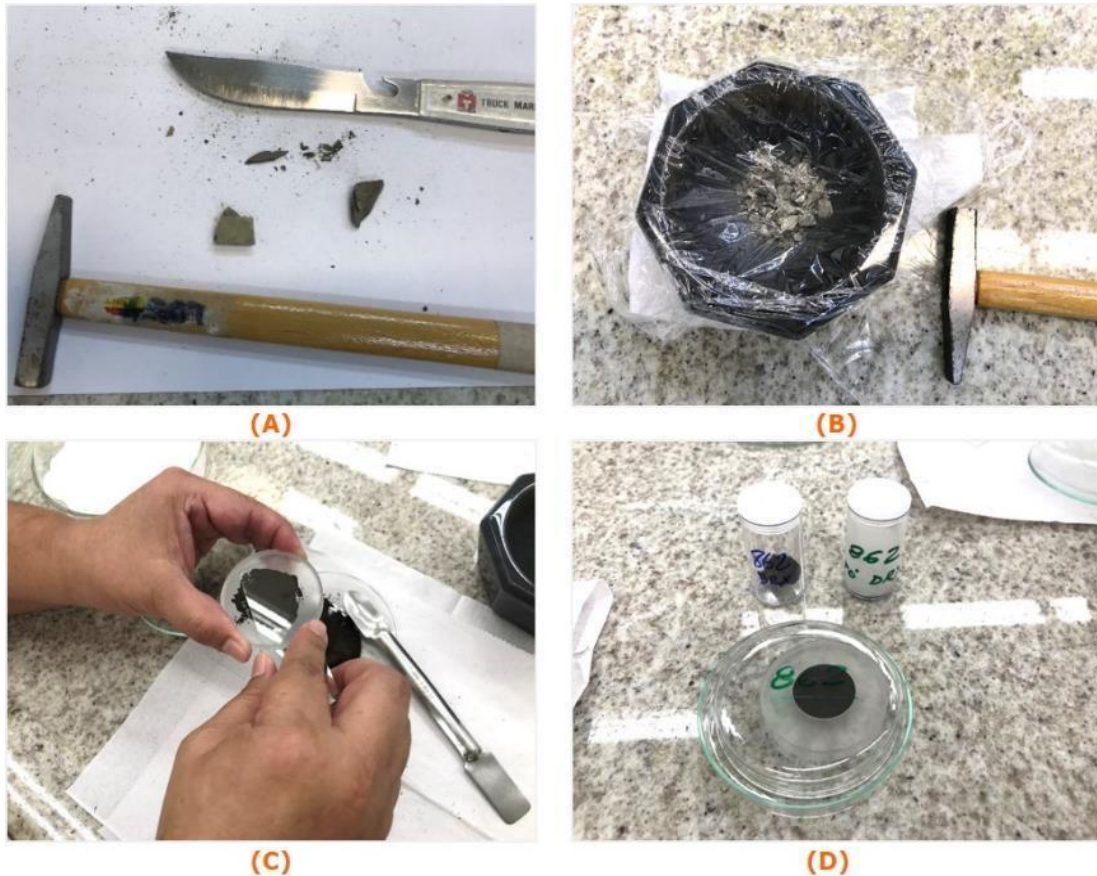


Fonte: (LIMA, 2021).

a. Metodologia da preparação das amostras totais de folhelho para análise por DRX

Para a análise por difração de raios X, todas as amostras foram submetidas a um processo de secagem à temperatura ambiente. Depois da secagem, foram selecionados cuidadosamente fragmentos que representavam bem cada exemplar, e estes foram moídos manualmente em almofariz e pistilo de ágata, até obter um pó homogêneo, como exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Etapas da preparação de amostra para DRX: (A) obtenção e seleção de fragmentos para moagem; (B) moagem manual; (C) uma alíquota do pó obtido de cada amostra foi prensada sobre porta amostra pela técnica da prensagem de pó (MOORE; REYNOLDS, 1997). Cada porta amostra com o pó prensado foi identificado com numeração fornecida pelo laboratório, que por sua vez identifica o difratograma de raios X; (D) amostra pronta para análises por difração de raios X (DRX)



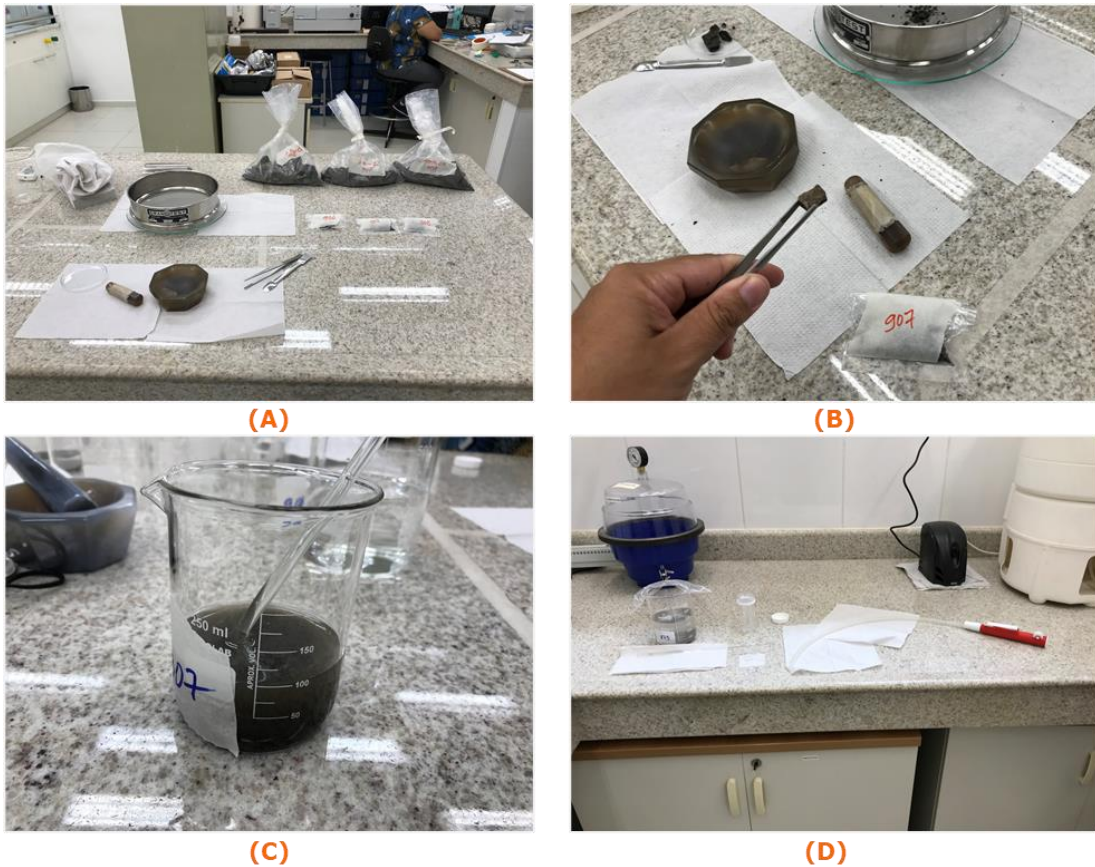
Fonte: (LIMA, 2021).

b. Metodologia da preparação da fração argila para análise por DRX

Com o objetivo de avaliar o teor e os tipos de argilominerais presentes nas rochas, todas as vinte e oito amostras foram submetidas à análise da fração argila.

A fração fina, com tamanho inferior a $2\ \mu\text{m}$, foi utilizada para identificar os argilominerais. Para obter essa fração, as amostras foram submetidas às seguintes etapas: (i) secagem em estufa a uma temperatura inferior a 40°C ; (ii) moagem manual de fragmentos selecionados com o auxílio de almofariz e pistilo de ágata, seguido de peneiramento com trama de $0,35\ \text{mm}$; (iii) tratamento com H_2O_2 , adicionando-se água ultrapura a uma temperatura controlada inferior a 60°C por no máximo 40 minutos, seguido de lavagem; (iv) pipetagem da fração argila inferior a $2\ \mu\text{m}$, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Etapas da preparação de amostra para DRX (fração argila): (A) seleção de fragmentos para moagem; (B) moagem manual; (C) tratamento com H_2O_2 , com água ultrapura; (D) pipetagem da fração argila inferior a $2\ \mu m$



Fonte: (LIMA, 2021).

c. Análise por difração de raios X

Após o preparo das amostras (total e frações argila), estas foram submetidas à análise de difração de raios X (DRX), com o objetivo de avaliar qualitativa e semiquantitativamente a composição mineralógica dos folhelhos.

Essa técnica é amplamente utilizada na caracterização mineralógica de solos, sedimentos e rochas, e consiste na exposição do material em pó (obtido após moagem) a um feixe monocromático de raios X, que difrata a partir de sua interação com planos atômicos formadores da estrutura cristalina. Os ângulos de difração são determinados pela lei de Bragg, que leva em conta o espaçamento entre planos atômicos adjacentes e o comprimento de onda do feixe incidente. Como cada mineral possui uma estrutura cristalina própria, caracterizada por planos atômicos com distintos espaçamentos, é possível a aplicação da Lei de Bragg para identificar

valores de espaçamento entre planos e, consequentemente, caracterizar os minerais presentes na amostra.

A análise de DRX foi realizada no Difratorômetro Bruker D8 Advance, equipado com detetor LYNXEYE XE e sistema theta-theta, adquirido pelo IEE-USP no âmbito da Rede GASBRAS. O equipamento foi instalado no Laboratório de Ensaios Não Destrutivos da Divisão de Petróleo, Gás Natural e Bioenergia do Instituto de Energia e Ambiente/USP. Os difratogramas foram obtidos com radiação CuK alpha, 40kV, 25mA, air-scatter automático, passo de 0,02 grau 2θ , tempo de aquisição de 3,1 segundo e utilizando fendas primárias de 0,5 mm e secundárias de 1,0 mm.

A identificação dos minerais e o tratamento gráfico dos difratogramas foram realizados com o software DiffracEva versão 4.2.2 (Bruker ASX GmbH) e com o auxílio de fichas de identificação do International Centre for Diffraction Data (ICDD).

5. Comparação das análises mineralógicas da Formação Irati com folhelhos de países produtores no exterior

O presente subcapítulo encerra a Seção de Materiais e Métodos, e através de uma revisão bibliográfica, compara as informações coletadas nas quatro seções anteriores com as principais características mineralógicas das camadas de folhelho em países já produtores de gás de folhelho: EUA, China, Canadá e Argentina.