



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PETRÓLEO

NONATA CHAVES BASTOS LIMA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA VIABILIDADE DA EXPLORAÇÃO DO GÁS DE
XISTO NO BRASIL

FORTALEZA
2025

NONATA CHAVES BASTOS LIMA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA VIABILIDADE DA EXPLORAÇÃO DO GÁS DE
XISTO NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Petróleo.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Moreira da Rocha
Ponte.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L699r Lima, Nonata Chaves Bastos.
 Revisão bibliográfica da viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil / Nonata Chaves Bastos
 Lima. – 2025.
 46 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
 Curso de Engenharia de Petróleo, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Vitor Moreira da Rocha Ponte.
1. Gás de xisto. 2. Viabilidade econômica . 3. Fraturamento hidráulico. 4. Energia não convencional. 5.
 Regulação ambiental. I. Título.

CDD 665.5092

NONATA CHAVES BASTOS LIMA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA VIABILIDADE DA EXPLORAÇÃO DO GÁS DE XISTO
NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Petróleo.

Aprovada em: 28/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vitor Moreira da Rocha Ponte (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Filipe Xavier Feitosa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Felipe Gadelha Silvino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Denise e Nonato.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, saúde e sabedoria para chegar até aqui.

Expresso minha profunda gratidão aos meus pais, pelo amor, incentivo incondicional e apoio constante em todos os momentos da minha vida acadêmica. Estendo também meus agradecimentos especiais à minha tia Denilda e ao meu tio Antônio, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram com carinho e dedicação.

Ao meu coordenador, Prof. Filipe Xavier Feitosa, e à secretária Maria Cristina Pereira do Nascimento, agradeço pela orientação, disponibilidade e suporte durante toda a minha trajetória universitária.

Agradeço ao Prof. Dr. Luís Glauber Rodrigues pelas aulas e ensinamentos que contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica. De maneira especial, registro meu sincero agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Vitor Moreira da Rocha Ponte, pela paciência, incentivo, dedicação e valiosas contribuições para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço à Sarah Giselle, pelo apoio, incentivo e companheirismo durante a jornada de elaboração deste trabalho.

A todos, minha eterna gratidão.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil, considerando aspectos geológicos, tecnológicos, econômicos, ambientais e regulatórios. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica e análise comparativa de dados nacionais e internacionais. O estudo identificou que o Brasil possui bacias sedimentares com elevado potencial para a produção de gás não convencional, como as bacias do Paraná, Parnaíba, Recôncavo, Solimões e Amazonas. No entanto, a exploração enfrenta desafios significativos, como altos custos de produção, ausência de infraestrutura adequada e lacunas no marco regulatório. Além disso, os impactos ambientais associados à técnica de fraturamento hidráulico exigem atenção especial e medidas de mitigação. A análise conclui que, embora existam barreiras, o gás de xisto pode representar uma fonte estratégica de energia de transição, desde que haja investimentos em tecnologia, regulamentação específica e planejamento sustentável. O trabalho propõe recomendações para o desenvolvimento responsável da atividade no Brasil.

Palavras-chave: gás de xisto; viabilidade econômica; fraturamento hidráulico; energia não convencional; regulação ambiental.

ABSTRACT

This study aims to analyze the economic feasibility of shale gas exploration in Brazil, considering geological, technological, economic, environmental, and regulatory aspects. The research was conducted through a literature review and comparative analysis of national and international data. The study identified that Brazil has sedimentary basins with high potential for unconventional gas production, such as the Paraná, Parnaíba, Recôncavo, Solimões, and Amazonas basins. However, exploration faces significant challenges, including high production costs, lack of adequate infrastructure, and gaps in the regulatory framework. Additionally, the environmental impacts associated with hydraulic fracturing require special attention and mitigation measures. The analysis concludes that, despite existing barriers, shale gas can represent a strategic transitional energy source, provided there is investment in technology, specific regulation, and sustainable planning. The study proposes recommendations for the responsible development of this activity in Brazil.

Keywords: shale gas; economic feasibility; hydraulic fracturing; unconventional energy; environmental regulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa das bacias com formações de óleo e gás de xisto avaliadas, em maio de 2013	18
Figura 2 – Bacias de gás de xisto dos Estados Unidos	24
Figura 3 – Mapa das bacias sedimentares brasileiras com potencial para gás de xisto ...	28
Figura 4 – Infraestrutura de Gasodutos de Transporte no Brasil	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Produção de gás de xisto e outros tipos de gás natural em países selecionados (2015 e projeção para 2040)	26
Gráfico 2	– Henry Hub Natural Gas Spot Price (Dollars per Million Btu)	33
Gráfico 3	– Projeções de preços não incluindo ICMS e PIS/COFINS, transporte e margem de distribuição	34
Gráfico 4	– Gráfico do preço de gás natural.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAS	Avaliações Ambientais de Áreas Sedimentares
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BTU	British Thermal Unit
CA	Ciência da Administração
CBIE	Centro Brasileiro de Infraestrutura
CI	Ciência da Informação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTI	Ciência, Tecnologia e Inovação
CTMA	Centro de Tecnologia Mineral e Ambiental
EIA	U.S. Energy Information Administration
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNL	Gás Natural Liquefeito
IC	Inteligência Competitiva
MMBtu	Million British Thermal Units
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TOC	Total Organic Carbon
UFC	Universidade Federal do Ceará
UIC	Underground Injection Control
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	<i>Objetivos gerais</i>	15
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	15
1.2	Estrutura do trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Conceito de Petróleo e Gás Natural	17
2.2	Conceito de Gás de Xisto	18
2.3	Formação Geológica do Gás de Xisto	18
2.4	Propriedades das Rochas de Xisto	19
2.5	Técnicas de Extração de Gás de Xisto	20
2.6	Processos de Produção de Gás a partir do Xisto	21
2.7	Principais Tecnologias Aplicadas	22
2.7.1	Perfuração Horizontal	22
2.7.2	Fraturamento Hidráulico (Fracking)	22
2.7.3	Poços Multilaterais e Fraturamento Múltiplo	22
2.7.4	Tecnologias de Tratamento, Reutilização e Descarte da Água	23
3	PANORAMA DA EXPLORAÇÃO DO GÁS DE XISTO NO BRASIL E NO MUNDO	24
3.1	A Revolução do Xisto nos Estados Unidos	24
3.2	Outros Países Produtores	25
3.3	Potencial Brasileiro de Gás de Xisto	26
3.4	Desafios e Oportunidades no Brasil	28
3.5	Iniciativas e Perspectivas Futuras	30
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	31
4.1	Introdução à Viabilidade Econômica	31
4.2	Custos de Produção	31
4.3	Preço de Comercialização	32
4.4	Preço do Gás Natural no Brasil	33
4.5	Infraestrutura e Logística	35
4.6	Considerações Finais	37

5	ASPECTOS AMBIENTAIS E REGULATÓRIOS	38
5.1	Impactos Ambientais Potenciais	38
5.2	Legislação Ambiental Aplicável	39
5.3	Lacunas e Desafios Regulatórios	41
5.4	Considerações Finais	42
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	43
6.1	Conclusão	43
6.2	Recomendações de estudo	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O desafio de garantir segurança energética em meio à transição para fontes menos poluentes tem impulsionado a busca por alternativas ao petróleo convencional. Nesse contexto, o gás de xisto — classificado como um gás natural não convencional por ser extraído de rochas sedimentares de baixa permeabilidade — tem sido considerado uma fonte estratégica para o período de transição energética (G1, 2024).

A viabilidade econômica da exploração do gás de xisto só foi alcançada a partir do final do século XX, graças ao desenvolvimento de tecnologias como a perfuração horizontal e o fraturamento hidráulico. Essas inovações tornaram possível acessar reservatórios antes considerados economicamente inviáveis, permitindo a produção em larga escala. Os Estados Unidos se destacaram nesse cenário, protagonizando uma revolução energética a partir dos anos 2000, com impactos diretos sobre a segurança energética, a redução da dependência externa e os preços globais do gás natural (CBIE, 2020).

Composto principalmente por metano, o gás de xisto pode estar também associado a líquidos de gás natural (NGLs) ou a condensados, conforme as características da formação geológica explorada (BADARÓ, 2023). Contudo, sua produção apresenta algumas particularidades: os poços geralmente sofrem uma rápida queda de produtividade nos primeiros anos, o que exige constante reinjeção de capital e perfuração de novos poços para manter os níveis de produção (ALMEIDA, 2012).

Além das barreiras econômicas, a extração do gás de xisto envolve sérios desafios ambientais. Entre os principais estão o uso intensivo de água, a geração de resíduos potencialmente tóxicos, o risco de contaminação de aquíferos, a possibilidade de ocorrência de sismos induzidos e as emissões atmosféricas. Esses impactos têm sido amplamente debatidos por especialistas e organizações da sociedade civil (COSTA et al, 2021; PICOLO et al., 2021). Apesar disso, diante da previsão de que a demanda energética global aumente cerca de 50% até 2050 — com destaque para o crescimento nos países asiáticos fora da OCDE — o gás de xisto ressurge como uma alternativa promissora para diversificar a matriz energética global (EIA, 2021; ES Brasil, 2023).

No caso brasileiro, embora existam formações com potencial para a produção de gás de xisto — como nas bacias do Paraná, Parnaíba, Recôncavo e São Francisco — a atividade ainda está em fase inicial. Vale destacar que a experiência nacional com o xisto pirobetuminoso, especialmente em São Mateus do Sul (PR), refere-se a um tipo diferente de exploração: a mineração e retortagem térmica, que não se confunde com a produção de gás de xisto por

fraturamento hidráulico em poços profundos.

Diante desse cenário, é fundamental analisar a viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil, levando em conta sua disponibilidade geológica, o histórico de investimentos no setor energético, os avanços tecnológicos já disponíveis e os desafios técnicos, ambientais, regulatórios e econômicos envolvidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

Analisar a viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil, considerando o potencial geológico do país, os avanços tecnológicos, os custos de produção e os impactos ambientais e regulatórios associados à atividade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar o histórico e o desenvolvimento da exploração do gás de xisto no Brasil e no mundo;
- Identificar os principais fatores que influenciam a viabilidade da produção de gás de xisto, incluindo custos operacionais, infraestrutura e preço de mercado;
- Avaliar os impactos ambientais e sociais relacionados à extração do gás de xisto, com foco na realidade brasileira;
- Analisar a legislação e os instrumentos regulatórios vigentes no Brasil que afetam a exploração não convencional de gás natural;
- Comparar a competitividade do gás de xisto com outras fontes de energia presentes na matriz energética brasileira;
- Propor recomendações para o aproveitamento estratégico do gás de xisto como fonte complementar de energia no contexto da transição energética.

1.2 Estrutura do trabalho

O presente Trabalho está estruturado em seis capítulos, organizados da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta o contexto do tema, a justificativa da pesquisa, os objetivos gerais e específicos, além da estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: aborda os principais conceitos relacionados ao gás de xisto, incluindo sua formação geológica, propriedades das rochas, técnicas de extração e tecnologias aplicadas.

Capítulo 3 – Panorama da Exploração do Gás de Xisto: discute o histórico e o cenário atual da exploração do gás de xisto no Brasil e no mundo, destacando as principais bacias sedimentares e os desafios enfrentados.

Capítulo 4 – Análise de Viabilidade Econômica: avalia os custos de produção, infraestrutura necessária, preços de mercado e competitividade do gás de xisto em relação a outras fontes de energia.

Capítulo 5 – Aspectos Ambientais e Regulatórios: analisa os impactos ambientais da exploração do gás de xisto e o arcabouço legal e regulatório vigente no Brasil.

Capítulo 6 – Conclusão: apresenta uma síntese dos principais resultados, as limitações do estudo e sugestões para futuras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como propósito expor, de maneira concisa, os principais conceitos empregados no desenvolvimento deste trabalho, a fim de facilitar a compreensão do leitor e servir como instrumento de consulta rápida.

2.1 Conceito de Petróleo e Gás Natural

O petróleo é uma substância oleosa, inflamável, composta majoritariamente por hidrocarbonetos, que se encontra em estado líquido nas condições de reservatório. Trata-se de um recurso natural formado ao longo de milhões de anos pela decomposição de matéria orgânica, principalmente de origem marinha, acumulada em bacias sedimentares sob condições específicas de pressão, temperatura e ausência de oxigênio (TISSOT; WELTE, 1984). Sua composição química varia conforme a origem geológica, podendo conter também enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais em pequenas proporções.

Já o gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, predominantemente metano (CH_4), que pode estar associado ou não ao petróleo em reservatórios subterrâneos. Quando ocorre junto ao petróleo, é denominado gás associado; quando encontrado isoladamente, é chamado de gás não associado (BOTAO, 2010). Além do metano, o gás natural pode conter etano, propano, butano, dióxido de carbono, nitrogênio e traços de outros compostos.

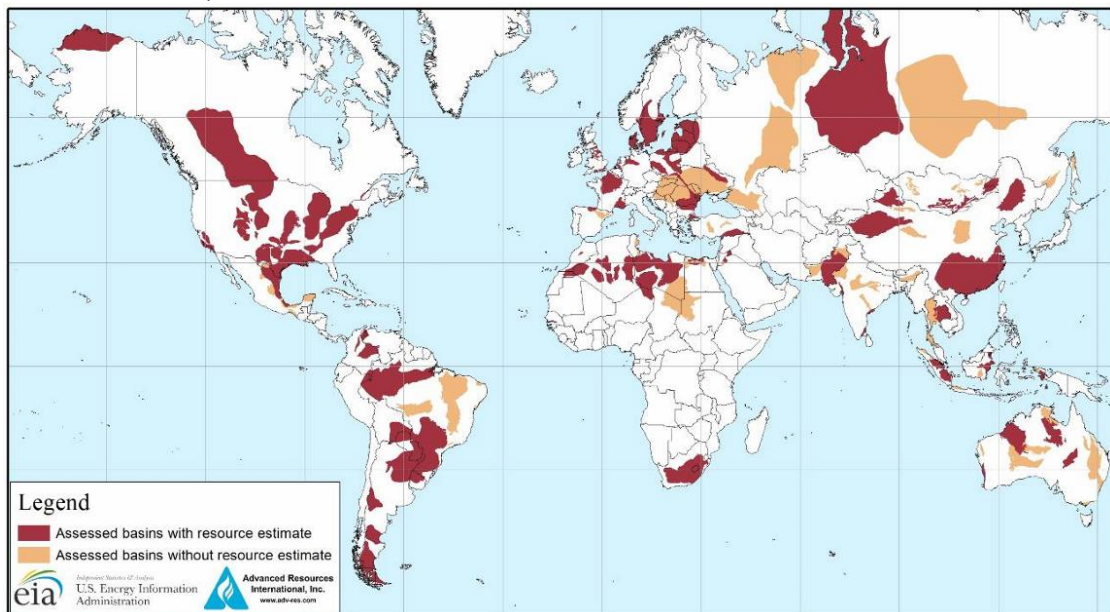
Ambos os recursos são considerados combustíveis fósseis e desempenham papel central na matriz energética global. O petróleo é amplamente utilizado como matéria-prima para derivados como gasolina, diesel, querosene e plásticos, enquanto o gás natural é valorizado por sua queima mais limpa, sendo usado para geração de energia elétrica, aquecimento, transporte e como insumo na indústria petroquímica (EPE, 2021).

A crescente demanda por energia e os avanços tecnológicos têm impulsionado a exploração de novas fontes, incluindo reservas não convencionais como o gás de xisto, que também se enquadra na categoria de gás natural, porém com métodos de extração diferenciados devido à sua ocorrência em formações de baixa permeabilidade.

2.2 Conceito de Gás de Xisto

O gás de xisto, também conhecido como shale gas, é um tipo de gás natural encontrado aprisionado em formações de rochas sedimentares de baixa permeabilidade, compostas predominantemente por folhelhos argilosos. Diferente dos reservatórios convencionais, em que o petróleo e o gás migram e se acumulam em rochas porosas, no caso do gás de xisto, os hidrocarbonetos permanecem retidos na própria rocha geradora, exigindo técnicas específicas para sua extração, como a perfuração horizontal e o fraturamento hidráulico (EIA, 2021).

Figura 1 – Mapa das bacias com formações de óleo e gás de xisto avaliadas, em maio de 2013.



Fonte: Bacias dos Estados Unidos, da Administração de Informação de Energia dos EUA e do Serviço Geológico dos Estados Unidos; outras bacias, do ARI, com base em dados de vários estudos publicados.

2.3 Formação Geológica do Gás de Xisto

As formações de gás de xisto se originam a partir da deposição de sedimentos ricos em matéria orgânica em ambientes aquáticos, como mares rasos e lagos, ao longo de milhões de anos. Com o acúmulo sucessivo de sedimentos, essa matéria orgânica é enterrada e submetida a elevadas pressões e temperaturas, iniciando o processo de transformação em hidrocarbonetos (TISSOT, WELTE 1984).

O folhelho, principal rocha hospedeira do gás de xisto, é caracterizado por sua granulometria fina e alta quantidade de matéria orgânica. No entanto, sua baixa permeabilidade natural impede que o gás migre livremente, como ocorre nos reservatórios convencionais. Em vez disso, o gás permanece aprisionado nos microporos e fraturas naturais da rocha.

Geologicamente, as bacias sedimentares que possuem potencial para produção de gás de xisto apresentam determinadas características, como elevada maturidade térmica, elevado teor de carbono orgânico total (TOC) e presença de microfraturas que auxiliam na liberação do gás durante o fraturamento hidráulico (JARVIE, 2012). Exemplos de formações reconhecidas mundialmente incluem a Barnett Shale nos Estados Unidos e a Formação Vaca Muerta na Argentina.

Assim, a compreensão da formação geológica do gás de xisto é essencial para a identificação de áreas com potencial produtivo e para o desenvolvimento de estratégias adequadas de exploração.

2.4 Propriedades das Rochas de Xisto

As rochas de xisto, também conhecidas como shale, apresentam características específicas que as distinguem de outros tipos de reservatórios convencionais. Elas são formadas predominantemente por partículas finas de argila, silte e matéria orgânica, depositadas em ambientes de baixa energia, como lagos e mares interiores. Essas características conferem ao xisto propriedades únicas em termos de armazenamento e produção de hidrocarbonetos.

Uma das principais propriedades do xisto é sua baixa permeabilidade, geralmente inferior a 0,1 milidarcy. Essa característica impede que o gás ou o óleo fluam livremente pela rocha, exigindo técnicas especiais, como o fraturamento hidráulico, para viabilizar a produção. Em contrapartida, o xisto possui uma porosidade relativamente elevada, variando entre 2% e 10%, o que permite a armazenagem significativa de hidrocarbonetos em seus poros microscópicos (EIA, 2013).

Outra propriedade relevante é a presença de matéria orgânica em quantidades consideráveis, essencial para a geração de petróleo e gás natural. O tipo e o grau de maturação térmica dessa matéria orgânica determinam o potencial de produção do reservatório (JARVIE, 2012).

Além disso, o xisto apresenta uma estrutura laminar ou foliada, resultante da orientação paralela de minerais plásticos, como argilas, durante o processo de compactação.

Essa estrutura influencia tanto o comportamento mecânico da rocha quanto a direção preferencial para o crescimento das fraturas.

Em resumo, as propriedades do xisto — baixa permeabilidade, porosidade significativa, alto conteúdo de matéria orgânica e estrutura foliada — tornam essas rochas desafiadoras e, ao mesmo tempo, promissoras para a exploração de petróleo e gás natural não convencionais.

2.5 Técnicas de Extração de Gás de Xisto

A extração do gás de xisto é considerada um processo mais complexo em comparação à exploração de hidrocarbonetos em reservatórios convencionais, principalmente devido às características geológicas da rocha, que apresenta baixa permeabilidade e reduzida porosidade (COSTA et al., 2021). Para tornar viável a produção em larga escala, foram desenvolvidas técnicas específicas que permitem o aumento da produtividade dos reservatórios de xisto.

A principal técnica utilizada é a fraturamento hidráulico (hydraulic fracturing), também conhecido como fracking. Este método consiste na injeção de fluidos — compostos por água, areia e aditivos químicos — em alta pressão no interior da formação rochosa. A pressão elevada provoca a abertura de fraturas no xisto, permitindo que o gás, antes aprisionado nos poros da rocha, migre até o poço produtor (PICOLO et al., 2021).

Outro avanço tecnológico fundamental para a exploração do gás de xisto foi o desenvolvimento da perfuração horizontal. Esta técnica complementa o fraturamento hidráulico, permitindo a construção de poços que se estendem horizontalmente por centenas a milhares de metros dentro da camada produtora. A perfuração horizontal aumenta a área de contato com a formação e, conseqüentemente, eleva o volume de gás extraído em relação à perfuração vertical convencional (EIA, 2021).

Apesar da eficiência comprovada dessas tecnologias, a extração do gás de xisto envolve desafios ambientais relevantes, como o alto consumo de água, o gerenciamento de fluidos residuais, riscos de contaminação de aquíferos subterrâneos e a possibilidade de sismos induzidos (COSTA et al., 2021).

Assim, a combinação entre fraturamento hidráulico e perfuração horizontal constitui o modelo tecnológico predominante na indústria de extração de gás de xisto, sendo responsável pelo sucesso da chamada “revolução do xisto” observada principalmente nos Estados Unidos.

2.6 Processos de Produção de Gás a partir do Xisto

A produção de gás natural a partir do xisto, também conhecido como shale gas, envolve uma cadeia complexa de operações que visam viabilizar a extração econômica do hidrocarboneto presente em rochas de baixa permeabilidade. Ao contrário dos reservatórios convencionais, onde o gás flui livremente por poros interconectados, no xisto o gás encontra-se aprisionado em microporos ou adsorvido nas partículas orgânicas da rocha, exigindo técnicas específicas para sua liberação e escoamento.

O processo inicia-se com levantamentos geológicos e geofísicos para identificação e caracterização das formações potenciais, seguido pela perfuração de poços horizontais. Esse tipo de poço permite o contato com maiores volumes da rocha geradora, aumentando a produtividade (GUO et al., 2017). Após a perfuração, é aplicada a técnica de fraturamento hidráulico, que consiste na injeção de fluidos sob alta pressão com o objetivo de criar fraturas artificiais na rocha, ampliando os caminhos pelos quais o gás pode migrar até o poço produtor (KING, 2010).

O fluido de fraturamento é geralmente composto por água, areia (proppant) e aditivos químicos que facilitam a abertura e manutenção das fraturas. A areia atua como agente sustentador, mantendo as fraturas abertas após o alívio da pressão, permitindo o escoamento do gás para o poço.

Após o fraturamento da rocha, inicia-se a etapa de produção, durante a qual o gás natural é liberado das formações geológicas e conduzido até a superfície por meio do poço perfurado. Nos primeiros dias, ocorre uma intensa liberação de água de retorno (flowback water), composta em grande parte pelos fluidos utilizados no fraturamento hidráulico. Em seguida, observa-se um declínio progressivo da vazão de gás, fenômeno típico em reservatórios não convencionais. O gás produzido passa então por processos de separação e tratamento para a remoção de impurezas, sendo posteriormente comprimido e enviado por gasodutos ou armazenado, dependendo da infraestrutura disponível (JACOBSEN et al, 2024).

Esse modelo de produção exige alta densidade de poços, constante monitoramento técnico e significativos investimentos em tecnologia, logística e mitigação de impactos ambientais. Ainda assim, o desenvolvimento do gás de xisto tem revolucionado o mercado energético global, especialmente nos Estados Unidos, tornando-se uma importante fonte de energia de transição na matriz energética (EIA, 2022).

2.7 Principais Tecnologias Aplicadas

A exploração e produção de gás de xisto requerem um conjunto de tecnologias avançadas, desenvolvidas especificamente para superar os desafios associados à baixa permeabilidade das rochas geradoras. Essas tecnologias têm evoluído rapidamente, viabilizando economicamente a produção em larga escala desse recurso não convencional.

2.7.1 *Perfuração Horizontal*

A perfuração horizontal é uma das principais inovações aplicadas no desenvolvimento do gás de xisto. Ao contrário da perfuração vertical tradicional, essa técnica permite que o poço acompanhe a camada produtora ao longo de centenas ou até milhares de metros, aumentando significativamente a área de contato com a formação rochosa e, conseqüentemente, a produção de gás (EIA, 2021).

2.7.2 *Fraturamento Hidráulico (Fracking)*

O fraturamento hidráulico serve principalmente para viabilizar a extração do gás aprisionado em rochas de baixa permeabilidade. O processo consiste na injeção de uma mistura de água, areia e aditivos químicos sob alta pressão para gerar fraturas na rocha, permitindo o escoamento do gás até o poço. A eficácia dessa técnica depende do projeto do fluido, do agente sustentador e do controle operacional (KING, 2010).

2.7.3 *Poços Multilaterais e Fraturamento Múltiplo*

Na exploração de gás de xisto, duas abordagens tecnológicas têm sido estudadas para aumentar a eficiência da recuperação de hidrocarbonetos: os poços multilaterais e o fraturamento hidráulico em múltiplos estágios.

Os poços multilaterais consistem em múltiplos ramos horizontais que se estendem a partir de um único poço vertical ou direcional. Essa configuração permite ampliar o contato com a formação produtora, otimizando a drenagem do reservatório e reduzindo a necessidade de múltiplas perfurações verticais. Embora essa técnica seja mais comum em campos de petróleo convencional ou em formações carbonáticas, ela tem sido objeto de estudos para

aplicação em reservatórios não convencionais, como o gás de xisto, especialmente em formações espessas ou heterogêneas (EIA, 2021).

Por outro lado, o fraturamento múltiplo é a técnica padrão na produção de shale gas. Nesse método, o trecho horizontal do poço é segmentado em diversos estágios, cada um isolado e estimulado separadamente. Isso permite ajustes finos conforme as características locais da formação, como espessura do folhelho, presença de fraturas naturais e variações de pressão. Essa abordagem proporciona uma distribuição mais eficiente das fraturas ao longo do poço, aumentando significativamente a produtividade e a recuperação do gás (EPA, 2023).

A combinação dessas duas estratégias — quando tecnicamente viável — representa um avanço na engenharia de reservatórios não convencionais. No entanto, o uso de poços multilaterais em shale gas ainda é considerado experimental e menos comum do que os poços horizontais com fraturamento múltiplo, que permanecem como o modelo predominante na indústria.

2.7.4 Tecnologias de Tratamento, Reutilização e Descarte da Água

As operações de fraturamento hidráulico demandam grandes volumes de água, resultando na geração de água de retorno (flowback) e água produzida, ambas com elevada carga de contaminantes. Para mitigar os impactos ambientais e reduzir os custos operacionais, têm sido adotadas tecnologias de tratamento e reúso, como osmose reversa, filtração por membranas e processos físico-químicos, que permitem a reutilização da água em novos ciclos de fraturamento ou seu descarte seguro após tratamento adequado (EPA, 2015; ANP, 2014).

Uma das principais alternativas de descarte é a injeção em formações geológicas profundas por meio dos chamados poços de injeção classe II. Esses poços são regulamentados nos Estados Unidos pelo programa Underground Injection Control (UIC) da Environmental Protection Agency (EPA). Eles são projetados para receber fluidos associados à produção de petróleo e gás, como a água de retorno do fraturamento hidráulico, e injetá-los em formações geológicas isoladas de aquíferos de água potável. Os poços classe II devem seguir critérios rigorosos de construção, cimentação e monitoramento para garantir que os fluidos permaneçam confinados e não migrem para zonas de água doce (EPA, 2023).

A escolha entre tratamento, reúso ou injeção depende de fatores como o volume e a composição química da água residual, a disponibilidade de infraestrutura local e os requisitos regulatórios aplicáveis. No Brasil, embora não haja uma classificação formal idêntica à americana, práticas semelhantes são adotadas e regulamentadas pela ANP e pelos órgãos

ambientais estaduais, exigindo estudos técnicos e licenciamento específico para a injeção em reservatórios subterrâneos (ANP, Resolução nº 21/2014).

3 PANORAMA DA EXPLORAÇÃO DO GÁS DE XISTO NO BRASIL E NO MUNDO

3.1 A Revolução do Xisto nos Estados Unidos

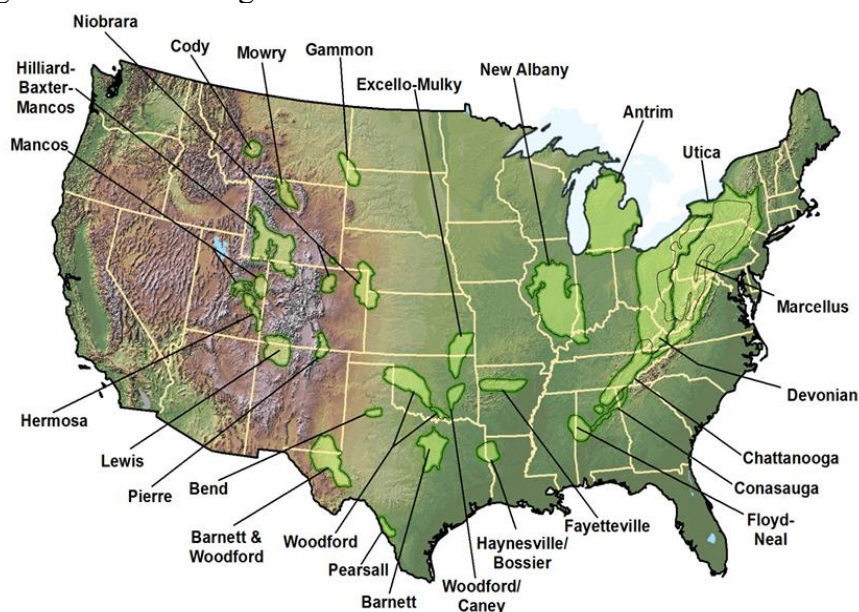
A partir dos anos 2000, com o avanço das tecnologias de perfuração horizontal e fraturamento hidráulico, o país passou de importador a exportador líquido de gás natural. A produção de gás de xisto saltou de cerca de 20 bilhões de metros cúbicos em 2005 para mais de 800 bilhões em 2023, segundo dados da EIA (2024). A chamada “revolução do xisto” nos Estados Unidos transformou profundamente o mercado energético global.

As principais formações produtoras incluem:

- Barnett Shale (Texas)
- Marcellus Shale (Pensilvânia e Virgínia Ocidental)
- Haynesville Shale (Luisiana)
- Eagle Ford Shale (Texas)

Essa expansão gerou milhões de empregos, reduziu os preços do gás e aumentou a competitividade da indústria americana.

Figura 2 – Bacias de gás de xisto dos Estados Unidos.



Fonte: ALL Consulting, Modified from USGS & other sources

3.2 Outros Países Produtores

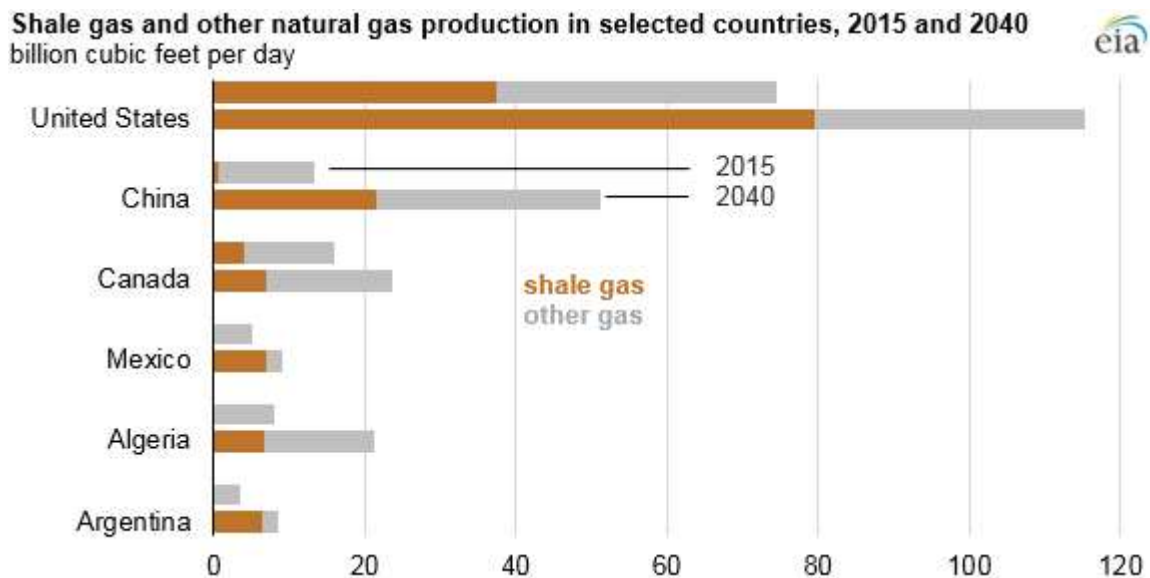
Embora os Estados Unidos liderem amplamente a produção de gás de xisto, outros países possuem reservas significativas e têm buscado desenvolver esse recurso, ainda que com avanços variados:

- **China:** detém a maior reserva estimada de gás de xisto do mundo, com cerca de 31 trilhões de metros cúbicos. No entanto, enfrenta desafios técnicos e logísticos, além da escassez de água em regiões produtoras — um fator crítico, já que o fraturamento hidráulico exige grandes volumes de água. Apesar disso, a China tem investido fortemente em infraestrutura e tecnologia, e registrou crescimento de mais de 7% na demanda por gás natural em 2024, impulsionado pelo setor de transportes e geração elétrica (IEA, 2025).
- **Argentina:** A formação Vaca Muerta, localizada na Patagônia, é considerada uma das mais promissoras fora dos Estados Unidos. O país já iniciou a produção comercial e tem atraído investimentos internacionais significativos, com destaque para projetos de exportação de gás natural liquefeito (GNL), como o Southern Energy FLNG, aprovado em 2025 (IEA, 2025). Esse avanço é resultado de uma articulação política que priorizou o desenvolvimento do setor energético como estratégia de soberania e exportação. Em contraste, o Brasil, embora possua reservas estimadas em cerca de 6,9 trilhões de metros cúbicos de gás de xisto tecnicamente recuperáveis — localizadas em bacias como Paraná, Parnaíba, Recôncavo e Solimões — ainda não avançou para a produção comercial (EIA, 2013; EPE, 2018). A ausência de um marco regulatório específico, somada à insegurança jurídica e às suspensões judiciais, como a ocorrida na 12ª Rodada de Licitações, evidencia uma falta de direcionamento político mais assertivo para o aproveitamento desse recurso (ANP, 2014; PICOLO et al., 2021). Dessa forma, enquanto a Argentina consolida o gás de xisto como ativo geoestratégico, o Brasil ainda permanece em fase exploratória e dependente de decisões políticas para viabilizar seu potencial energético.
- **Canadá:** possui uma produção consolidada de gás não convencional, especialmente nas províncias de Alberta e British Columbia. O país explora tanto o shale gas quanto o tight gas, com infraestrutura bem desenvolvida e políticas estáveis para o setor (BP, 2021).
- **Austrália e Reino Unido:** realizam estudos e projetos-piloto, mas a produção comercial de gás de xisto ainda não se concretizou. Ambos os países enfrentam forte oposição

ambiental e social, o que tem dificultado o avanço da atividade. No Reino Unido, por exemplo, o governo chegou a suspender temporariamente o fraturamento hidráulico devido a preocupações com sismos induzidos (IEA, 2025).

Apesar do potencial geológico, a maioria dos países fora dos Estados Unidos ainda se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento da produção de gás de xisto ou enfrenta barreiras regulatórias, ambientais e sociais. No caso da China, embora detenha as maiores reservas estimadas do mundo, a escassez de água em regiões com alto potencial produtivo, como Sichuan e Tarim, representa um obstáculo relevante. A técnica de fraturamento hidráulico, essencial para a extração do gás de xisto, exige grandes volumes de água, o que torna a disponibilidade hídrica um fator crítico para a viabilidade operacional. Essa limitação tem sido destacada por órgãos como a U.S. Energy Information Administration (EIA, 2023) e a International Energy Agency (IEA, 2023), que apontam a necessidade de soluções tecnológicas e logísticas para superar esse desafio no contexto chinês.

Gráfico 1 – Produção de gás de xisto e outros tipos de gás natural em países selecionados (2015 e projeção para 2040)



3.3 Potencial Brasileiro de Gás de Xisto

O Brasil possui um vasto território com diversas bacias sedimentares que apresentam potencial para a exploração de gás natural não convencional, especialmente o gás

de folhelho (shale gas). Esses recursos estão presentes em formações geológicas de baixa permeabilidade, como folhelhos, arenitos compactos e carbonatos fechados, onde o gás se encontra aprisionado em microporos ou adsorvido na matriz orgânica da rocha. A extração desse tipo de gás exige o uso de tecnologias específicas, como a perfuração horizontal e o fraturamento hidráulico.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foram identificadas potenciais reservas de sete tipos de recursos não convencionais em quatorze bacias sedimentares brasileiras. Entre elas, destacam-se, pela diversidade de formações, as bacias do:

- Paraná (abrangendo os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná e Santa Catarina);
- Parnaíba (compreendendo partes do Pará, Maranhão, Piauí e Tocantins);
- Recôncavo (localizada na Bahia).

No que se refere especificamente ao gás de folhelho, as bacias mais promissoras são:

- Parnaíba
- Paraná
- Recôncavo
- Solimões (Amazonas)
- Amazonas (Amazonas, Pará e Amapá)

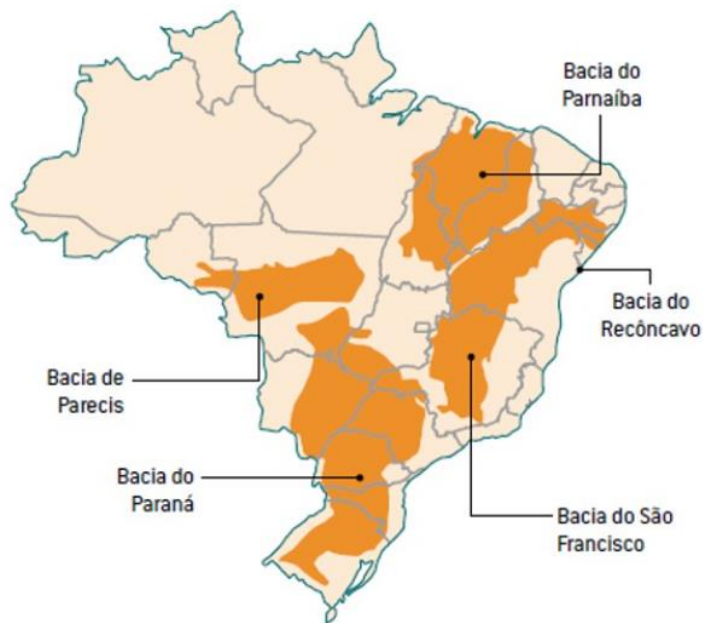
Essas regiões apresentam características geológicas favoráveis, como elevado teor de carbono orgânico total (TOC), maturidade térmica adequada e presença de folhelhos ricos em matéria orgânica, o que as torna tecnicamente atrativas para a exploração de gás de xisto (EPE, 2015).

A identificação dessas bacias é fundamental para este trabalho, pois define o escopo geográfico e geológico da análise de viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil. Compreender onde estão localizadas as formações mais promissoras permite avaliar os desafios técnicos, ambientais e logísticos específicos de cada região, além de orientar políticas públicas e estratégias de investimento voltadas ao aproveitamento desse recurso energético.

De acordo com a Energy Information Administration (EIA), o Brasil ocupa a décima posição mundial em volume de recursos tecnicamente recuperáveis de gás de xisto, com cerca de 245 trilhões de pés cúbicos (Tcf), o que evidencia seu potencial estratégico no cenário energético global (EIA, 2013).

No entanto, até o momento, não há produção comercial de gás de xisto no país. A expectativa, segundo projeções da EPE (2018), é que a produção de gás natural não convencional, incluindo o shale gas, tenha início por volta de 2030, com crescimento gradual até 2050. Essa projeção, contudo, depende da superação de desafios técnicos, regulatórios, ambientais e de infraestrutura, além da definição de um marco legal específico para viabilizar a produção em escala comercial (EPE, 2018).

Figura 3 – Mapa das bacias sedimentares brasileiras com potencial para gás de xisto



Fonte: ANJOS, Anna Beatriz. Fracking: a nova bomba ambiental contra a Amazônia. Instituto Humanitas Unisinos – IHU, 12 dez. 2022. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/624796-fracking-a-nova-bomba-ambiental-contra-a-amazonia>. Acesso em: 24 maio 2025.

3.4 Desafios e Oportunidades no Brasil

Desafios:

- Falta de infraestrutura (gasodutos, plantas de processamento)

A ausência de gasodutos, unidades de processamento e redes de distribuição é um dos principais entraves à viabilidade econômica da produção de gás de xisto no Brasil. Diferentemente dos Estados Unidos, que já possuíam uma infraestrutura consolidada no início da revolução do shale gas, o Brasil precisaria realizar investimentos massivos para conectar as áreas produtoras — muitas delas em regiões remotas — aos centros consumidores (EPE 2018).

- Incertezas regulatórias e ausência de marco legal específico

O Brasil ainda não possui um marco regulatório claro e específico para a exploração de recursos não convencionais. A ausência de regras detalhadas sobre licenciamento ambiental, uso da água, responsabilidade por danos e partilha de royalties gera insegurança jurídica para investidores e operadores (ANP Resolução nº 21/2014).

- Riscos ambientais e oposição de comunidades locais

A exploração do gás de xisto envolve riscos ambientais relevantes, como a contaminação de aquíferos, uso intensivo de água e possibilidade de sismos induzidos. Esses riscos têm gerado resistência de comunidades locais, especialmente em áreas próximas a aquíferos estratégicos como o Guarani, o que dificulta a obtenção de licenças e o avanço de projetos (PICOLO et al. (2021); COSTA et al. (2021)).

- Necessidade de investimentos em tecnologia e capacitação

A produção de gás de xisto exige tecnologias avançadas e mão de obra especializada. O Brasil ainda carece de empresas com domínio completo das técnicas de fraturamento hidráulico em larga escala, além de centros de pesquisa voltados especificamente para recursos não convencionais CTMA (2016); EPE (2015).

Oportunidades:

- Redução da dependência de gás importado (especialmente da Bolívia)

O Brasil importa cerca de 30% do gás natural que consome, principalmente da Bolívia. A produção nacional de gás de xisto poderia reduzir essa dependência, aumentar a segurança energética e estabilizar os preços internos (ANP (2011); EPE (2018)).

- Desenvolvimento regional e geração de empregos

A exploração de gás de xisto pode impulsionar o desenvolvimento de regiões interioranas, promovendo a geração de empregos diretos e indiretos, aumento da arrecadação local e dinamização da economia regional.

- Potencial para uso como energia de transição

O gás natural é considerado uma fonte de energia de transição por emitir menos CO₂ do que o carvão e o óleo combustível. O gás de xisto pode, portanto, contribuir para a descarbonização da matriz energética brasileira, especialmente no setor industrial e na geração termelétrica (EIA 2021); GOLDEMBERG 2013).

- Aproveitamento da expertise da Petrobras com a tecnologia Petrosix

Embora a tecnologia Petrosix seja voltada para o xisto pirobetuminoso, a experiência acumulada pela Petrobras em processamento de rochas ricas em matéria orgânica pode ser parcialmente aproveitada no desenvolvimento de soluções para o shale gas, especialmente em termos de caracterização geológica e engenharia de reservatórios (MARTIGNONI et al., 1982).

3.5 Iniciativas e Perspectivas Futuras

A Petrobras opera, desde 1991, uma planta industrial em São Mateus do Sul (PR) voltada à extração de óleo de xisto por meio da tecnologia Petrosix. Essa tecnologia é baseada em um processo de retortagem térmica aplicado ao xisto pirobetuminoso — uma rocha sedimentar rica em matéria orgânica — e consiste essencialmente em um método de mineração e processamento térmico em superfície, sem a utilização de fraturamento hidráulico.

Embora a Petrosix represente um marco tecnológico nacional no aproveitamento de recursos não convencionais, ela não é aplicável à produção de gás natural de folhelho (shale gas), que exige perfuração horizontal e fraturamento hidráulico em reservatórios profundos. Portanto, apesar da expertise acumulada pela Petrobras em geologia e processamento de rochas ricas em carbono, a transição para a exploração de gás de xisto exigirá o domínio de tecnologias distintas e específicas (MARTIGNONI et al., 1982).

Elementos Essenciais para a Retomada do Debate sobre o Gás de Xisto no Brasil:

- Estudos ambientais aprofundados

A exploração do gás de xisto envolve riscos ambientais significativos, como a contaminação de aquíferos, uso intensivo de água e possibilidade de sismos induzidos. No Brasil, muitas das bacias sedimentares com potencial para shale gas estão localizadas próximas a aquíferos estratégicos, como o Aquífero Guarani. Por isso, é imprescindível a realização de estudos ambientais detalhados e regionais, que avaliem os impactos cumulativos e específicos da atividade, considerando as particularidades geológicas e hidrológicas de cada bacia (PICCOLO et al., 2021; EPE, 2015).

- Participação social e transparência

A aceitação social é um fator crítico para a viabilidade de projetos de energia não convencional. A falta de informação clara e acessível sobre os riscos e benefícios da exploração

do gás de xisto tem gerado resistência por parte de comunidades locais, organizações ambientais e governos estaduais. A retomada do debate exige processos participativos, com audiências públicas, consulta prévia às populações afetadas e ampla divulgação dos estudos técnicos e ambientais.

- Estímulo à pesquisa e desenvolvimento

O Brasil ainda carece de domínio tecnológico completo sobre as técnicas de fraturamento hidráulico e gestão de reservatórios não convencionais. Investimentos em pesquisa aplicada, parcerias com universidades e centros de excelência, e programas de capacitação técnica são fundamentais para reduzir a dependência de tecnologias estrangeiras e adaptar as soluções às condições geológicas e ambientais brasileiras (CTMA, 2016)

- Criação de um marco regulatório específico para exploração não convencional

Atualmente, o Brasil não possui um marco legal específico para a exploração de gás não convencional. A ausência de normas claras sobre licenciamento, uso da água, responsabilidade ambiental e partilha de royalties gera insegurança jurídica e afasta investidores. A criação de um arcabouço regulatório robusto, transparente e alinhado com as melhores práticas internacionais é essencial para garantir a segurança jurídica e a sustentabilidade da atividade (ANP Resolução nº 21/2014; EPE, 2018).

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

4.1 Introdução à Viabilidade Econômica

A análise de viabilidade visa avaliar se a exploração do gás de xisto no Brasil pode ser financeiramente sustentável, considerando os custos envolvidos, o preço de mercado do gás natural, a infraestrutura existente e os riscos associados. Essa avaliação é fundamental para orientar políticas públicas, atrair investimentos e garantir o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país.

4.2 Custos de Produção

A produção de gás de xisto envolve custos significativamente mais altos do que os de gás convencional, devido à necessidade de tecnologias específicas como perfuração horizontal e fraturamento hidráulico. Os principais componentes de custo incluem:

- Perfuração e completação de poços
- Fraturamento hidráulico (equipamentos, água, areia e aditivos)
- Tratamento e descarte de água de retorno
- Infraestrutura de transporte e compressão
- Monitoramento ambiental e licenciamento

Segundo dados recentes da EIA, o custo médio de produção de gás de xisto nos Estados Unidos em 2025 varia entre US\$ 2,50 e US\$ 4,00 por milhão de BTU (MMBtu), dependendo da bacia produtora, da profundidade dos poços e da eficiência operacional. Esse valor representa uma redução significativa em relação à média histórica de US\$ 4 a US\$ 8/MMBtu, refletindo ganhos de escala, aprendizado tecnológico e maior competitividade da cadeia de suprimentos (EIA, 2025).

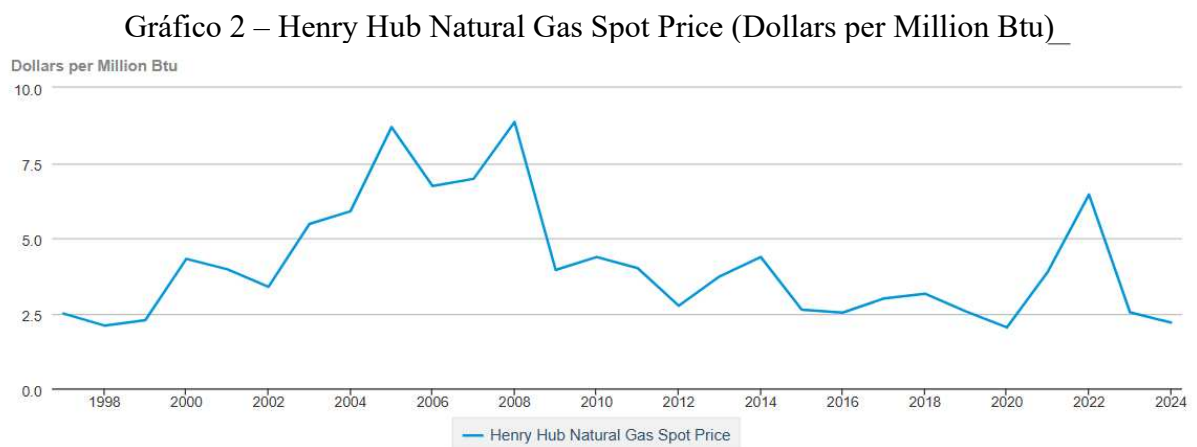
No Brasil, esses custos tendem a ser mais elevados devido à ausência de infraestrutura dedicada, à necessidade de importação de equipamentos especializados e à curva de aprendizado inicial. De acordo com estudos da EPE, os custos de produção de gás natural em projetos onshore típicos podem superar US\$ 6/MMBtu, especialmente em regiões remotas e com baixa densidade de infraestrutura (EPE, 2023). A viabilidade econômica, portanto, dependerá de incentivos regulatórios, planejamento logístico e da evolução do mercado interno.

4.3 Preço de Comercialização

O preço de referência do gás natural nos Estados Unidos, medido pelo Henry Hub, foi de US\$ 3,44/MMBtu em abril de 2025, com previsão de média de US\$ 4,20/MMBtu para o terceiro trimestre de 2025, segundo dados da U.S. Energy Information Administration (EIA, 2025). Historicamente, os preços oscilaram entre US\$ 2 e US\$ 6/MMBtu na última década, com picos em períodos de alta demanda ou restrições de oferta, como observado em 2022 e

2021. Essa variação reflete a sensibilidade do mercado a fatores climáticos, geopolíticos e logísticos.

Essa comparação entre custo de produção e preço de mercado é essencial para avaliar a atratividade econômica da exploração do gás de xisto no Brasil. A competitividade dependerá não apenas do custo técnico, mas também de fatores como políticas de incentivo, infraestrutura logística e estabilidade regulatória.

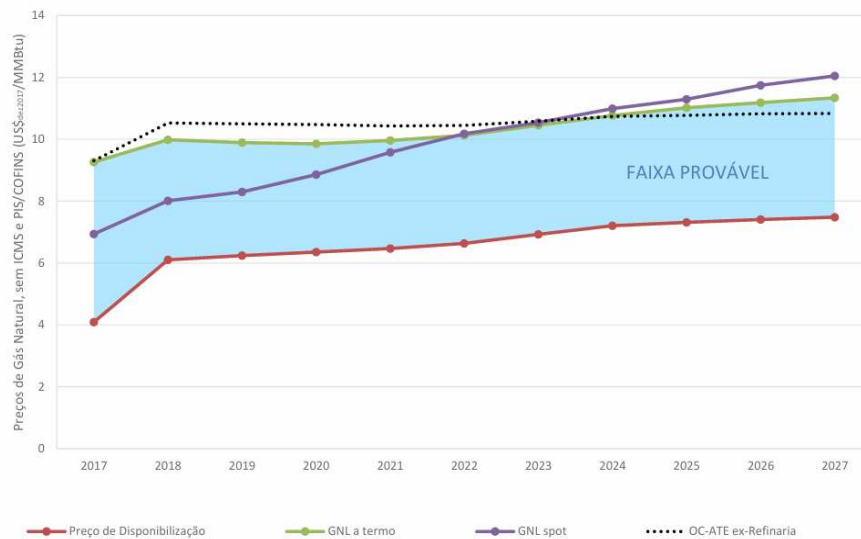


Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA, 2025)

4.4 Preço do Gás Natural no Brasil

O preço do gás natural no Brasil é influenciado por uma série de fatores estruturais e regulatórios. Em 2024, o preço médio do gás natural no mercado brasileiro variou entre US\$ 10 e US\$ 12 por milhão de BTU (MMBtu), segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Esse valor é significativamente superior ao praticado em mercados internacionais como o Henry Hub, nos Estados Unidos, que registrava cerca de US\$ 3,44/MMBtu no mesmo período.

Gráfico 3 – Projeções de preços não incluindo ICMS e PIS/COFINS, transporte e margem de distribuição



Fonte: EPE

Essa diferença de preços pode tornar a produção nacional de gás de xisto economicamente atrativa, desde que os custos de produção sejam otimizados.

Fatores que influenciam o preço do gás natural no Brasil:

- Contratos de importação (especialmente da Bolívia)

O Brasil ainda depende da importação de gás natural, principalmente da Bolívia, por meio do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL). Os contratos de importação são firmados em dólares e com cláusulas de volume mínimo, o que torna o país vulnerável a variações cambiais e à instabilidade política do fornecedor. Essa dependência pressiona os preços internos e limita a flexibilidade do mercado.

- Custo de transporte e distribuição

O transporte do gás natural no Brasil é feito majoritariamente por gasodutos, cuja malha é limitada e concentrada nas regiões Sudeste e Sul. A ausência de infraestrutura nas regiões Norte e Centro-Oeste encarece o fornecimento e restringe o acesso ao insumo. Além disso, os custos de distribuição são repassados ao consumidor final, elevando o preço médio do gás.

- Regulação da ANP

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) regula o setor de gás no Brasil, incluindo tarifas de transporte, regras de acesso à infraestrutura e

contratos de fornecimento. Embora a regulação busque garantir segurança jurídica e equilíbrio entre os agentes, a complexidade do marco regulatório e a falta de concorrência efetiva ainda dificultam a formação de preços mais competitivos.

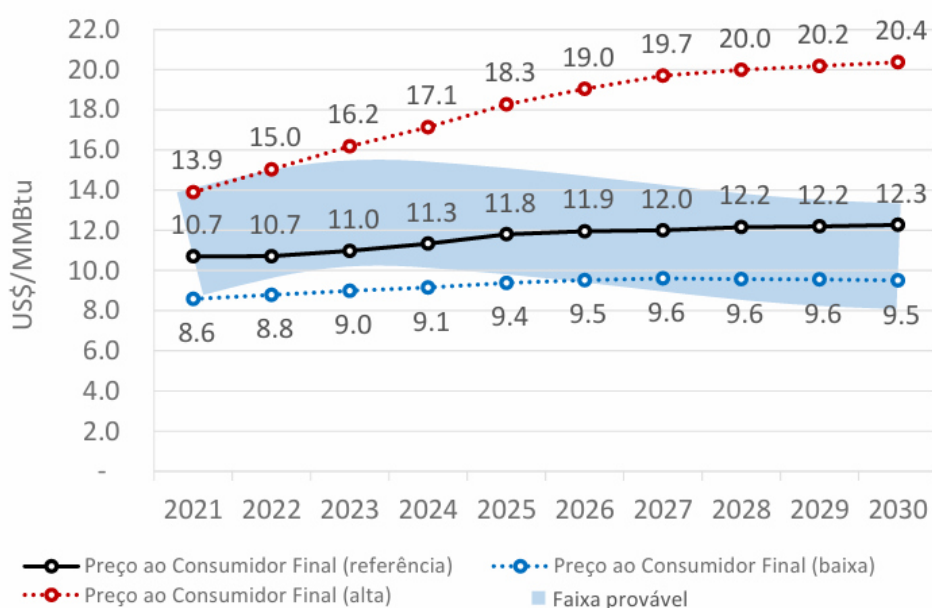
- Oferta interna limitada

A produção nacional de gás natural convencional é insuficiente para atender à demanda interna, o que obriga o país a complementar sua oferta com importações. A maior parte do gás produzido no Brasil está associada à produção de petróleo offshore, o que limita sua flexibilidade de oferta. A exploração de gás de xisto surge, nesse contexto, como uma alternativa para ampliar a oferta e reduzir a dependência externa.

Gráfico 4 – Gráfico do preço de gás natural

Preços Médios de Gás Natural (US\$_{dez19}/MMBtu)

Consumidor industrial, 20 mil m³/d, inclui ICMS e PIS/COFINS



Fonte: EPE

4.5 Infraestrutura e Logística

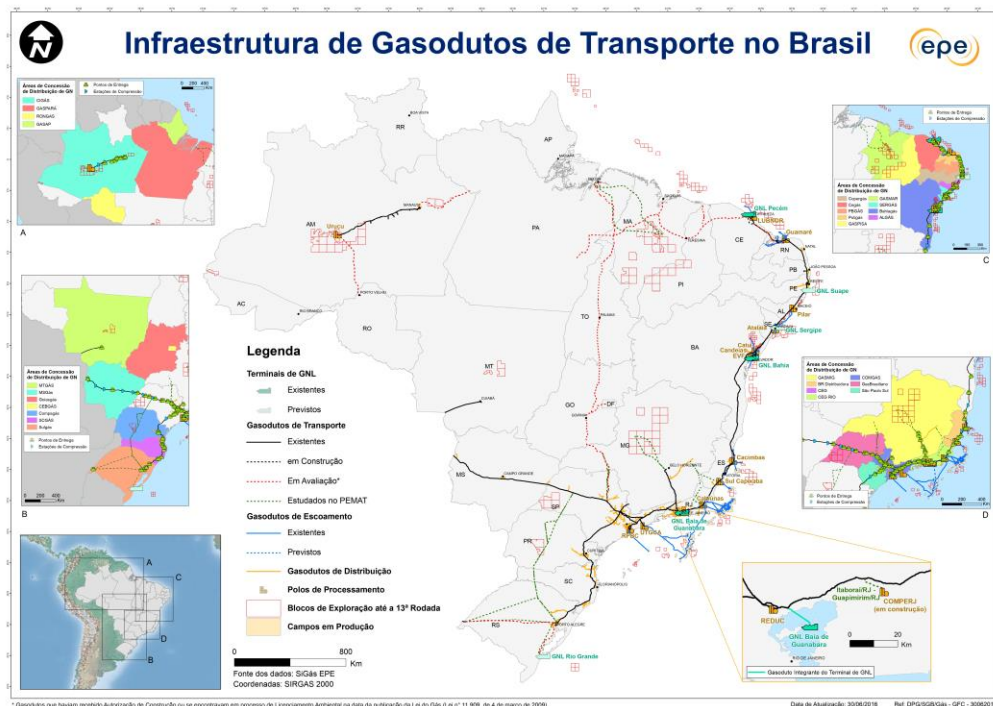
A infraestrutura brasileira voltada ao gás natural ainda é incipiente e geograficamente concentrada. A maior parte da malha de gasodutos, unidades de processamento e centros de distribuição está localizada nas regiões Sudeste e Sul, onde há maior densidade populacional e atividade industrial. No entanto, as principais bacias sedimentares

com potencial para produção de gás de xisto — como Paraná, Parnaíba e Solimões — estão situadas em regiões menos desenvolvidas em termos de infraestrutura energética.

- Gasodutos de escoamento

As bacias com potencial para gás de xisto carecem de gasodutos que conectem os pontos de produção aos centros de consumo ou às unidades de processamento. A ausência desses dutos obriga o uso de transporte rodoviário ou soluções temporárias, que são mais caras e menos eficientes. A construção de gasodutos é essencial para viabilizar economicamente a produção, mas envolve altos custos, longos prazos e licenciamento ambiental complexo.

Figura 4 – Infraestrutura de Gasodutos de Transporte no Brasil.



Fonte: EPE

- Unidades de processamento de gás natural (UPGNs)

Após a extração, o gás natural precisa ser tratado para remoção de impurezas como CO_2 , H_2S , água e líquidos condensáveis. As UPGNs são responsáveis por esse processo, mas estão concentradas em áreas próximas à produção offshore. A ausência dessas unidades nas bacias terrestres limita a capacidade de escoamento e comercialização do gás produzido em regiões como o interior do Maranhão, Piauí, Amazonas e Paraná.

- **Armazenamento e distribuição local**

O Brasil não possui uma rede estruturada de armazenamento subterrâneo de gás natural, o que dificulta o balanceamento entre oferta e demanda, especialmente em períodos de pico. Além disso, a distribuição local em áreas remotas é limitada, o que restringe o uso do gás em setores como transporte, geração elétrica descentralizada e pequenas indústrias.

A superação desses desafios logísticos é fundamental para tornar a produção de gás de xisto viável no Brasil. A expansão da infraestrutura exigirá planejamento integrado entre governo, setor privado e agências reguladoras, além de incentivos para atrair investimentos em regiões com alto potencial geológico, mas baixa densidade de infraestrutura (Plano Indicativo de Gasodutos de Transporte – PIGT, 2022; ANP Boletim da Infraestrutura de Gás Natural, 2023).

4.6 Considerações Finais

A viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil está condicionada a um conjunto de fatores técnicos, econômicos, regulatórios e ambientais que ainda demandam avanços significativos. Embora o país possua reservas estimadas em cerca de 245 trilhões de pés cúbicos (Tcf) de gás não convencional tecnicamente recuperável, distribuídas em bacias como Parnaíba, Parecis, Recôncavo e São Francisco, a produção efetiva ainda não se concretizou.

Entre os principais entraves estão a ausência de infraestrutura adequada para escoamento, processamento e distribuição do gás, além da carência de um marco regulatório específico para o shale gas. A suspensão judicial da 12ª Rodada de Licitações da ANP, motivada por preocupações ambientais com o fraturamento hidráulico, ilustra a insegurança jurídica que ainda permeia o setor.

Do ponto de vista ambiental, os riscos associados à contaminação de aquíferos, uso intensivo de água e possibilidade de sismos induzidos exigem estudos aprofundados e regulamentação rigorosa. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem atuado na elaboração das Avaliações Ambientais de Áreas Sedimentares (AAAS), que visam conciliar o desenvolvimento da produção com a proteção socioambiental regional.

Apesar dos desafios, o gás de xisto pode representar uma alternativa estratégica para diversificar a matriz energética brasileira, reduzir a dependência de importações e estimular o desenvolvimento regional. A EPE destaca que, com planejamento adequado,

investimentos em tecnologia e segurança jurídica, o Brasil pode integrar o gás não convencional à sua política energética de forma sustentável.

Portanto, a consolidação do shale gas como fonte complementar no Brasil dependerá da articulação entre governo, setor privado e sociedade civil, com foco em inovação, transparência e responsabilidade ambiental.

5 ASPECTOS AMBIENTAIS E REGULATÓRIOS

A exploração do gás de xisto, embora promissora do ponto de vista energético e econômico, levanta preocupações significativas quanto aos seus impactos ambientais e à necessidade de um arcabouço regulatório robusto. Este capítulo aborda os principais riscos ambientais associados à técnica de fraturamento hidráulico e analisa a legislação brasileira aplicável à exploração de recursos não convencionais.

5.1 Impactos Ambientais Potenciais

Esses riscos exigem monitoramento contínuo, transparência nos dados operacionais e aplicação rigorosa de normas ambientais.

A técnica de fraturamento hidráulico (fracking), essencial para a extração do gás de folhelho, envolve a injeção de grandes volumes de água, areia e aditivos químicos sob alta pressão para fraturar a rocha e liberar o gás. Apesar de sua eficácia técnica, esse processo pode gerar diversos impactos ambientais relevantes:

Contaminação de aquíferos subterrâneos:

A principal preocupação ambiental está relacionada à possível migração de fluidos de fraturamento ou de hidrocarbonetos para os aquíferos. Isso pode ocorrer por falhas na cimentação dos poços ou por fraturas não controladas que se estendem além da zona-alvo. Estudos apontam que a presença de metano em águas subterrâneas próximas a poços de gás pode estar associada a falhas estruturais nos poços.

Consumo intensivo de água:

Cada poço pode demandar entre 10 e 30 milhões de litros de água, o que representa um impacto significativo, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro. A

retirada de grandes volumes de água pode afetar a disponibilidade hídrica local e comprometer o abastecimento humano e agrícola.

Geração de resíduos líquidos e sólidos:

O processo gera água de retorno (flowback), que contém não apenas os aditivos químicos utilizados, mas também elementos naturais dissolvidos da formação rochosa, como metais pesados e materiais radioativos. O descarte inadequado desses resíduos pode contaminar solos e corpos d'água.

Risco de sismos induzidos:

A injeção de fluidos sob alta pressão pode reativar falhas geológicas, provocando pequenos terremotos. Casos documentados nos EUA, como na Bacia Barnett, registraram abalos sísmicos em regiões anteriormente estáveis após o início das operações de fracking.

Emissão de gases de efeito estufa (GEE):

Durante a perfuração, fraturamento e produção, há emissão de metano — um gás com potencial de aquecimento global muito superior ao CO₂. Além disso, há emissões associadas ao transporte, queima e vazamentos em equipamentos.

Esses impactos exigem:

- Monitoramento contínuo das operações e da qualidade da água e do ar;
- Transparência nos dados operacionais, como composição dos fluidos e volumes utilizados;
- Aplicação rigorosa de normas ambientais, com fiscalização por órgãos como o IBAMA e a ANP;
- Estudos prévios de impacto ambiental (EIA-RIMA) e Avaliações Ambientais de Áreas Sedimentares (AAAS), conforme exigido pela legislação brasileira.

5.2 Legislação Ambiental Aplicável

A exploração do gás de xisto no Brasil está sujeita a um conjunto de normas ambientais e regulatórias que visam garantir a proteção do meio ambiente e a segurança das operações. A responsabilidade constitucional pelo licenciamento ambiental é da União, conforme o artigo 23, inciso VI da Constituição Federal, mas essa competência é exercida de forma descentralizada, conforme critérios estabelecidos pela legislação infraconstitucional.

A Lei nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, é o principal marco legal ambiental do país. Ela define os instrumentos de gestão ambiental, entre eles o licenciamento ambiental, e estabelece o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que coordena a atuação dos órgãos federais (como o IBAMA), estaduais e municipais.

A Resolução CONAMA nº 237/1997 regulamenta o processo de licenciamento ambiental e define as competências de cada ente federativo. Segundo essa norma, o IBAMA é responsável pelo licenciamento de empreendimentos com impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, como aqueles que atravessam mais de um estado ou afetam terras indígenas, unidades de conservação federais ou áreas transfronteiriças. Já os órgãos estaduais são responsáveis por empreendimentos com impacto regional, e os municipais, por impactos locais.

Ademais, a Resolução CONAMA nº 001/1986 estabelece a obrigatoriedade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para atividades potencialmente causadoras de significativa degradação ambiental, como a extração de combustíveis fósseis por fraturamento hidráulico.

No setor de petróleo e gás, a Lei nº 9.478/1997 criou a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), responsável por regulamentar e fiscalizar as atividades de exploração e produção, inclusive de recursos não convencionais como o gás de xisto.

Apesar desse arcabouço legal, existem gargalos importantes:

- A ausência de uma regulamentação específica para o fraturamento hidráulico, o que gera insegurança jurídica para investidores e operadores.
- A sobreposição de competências entre os entes federativos, que pode causar conflitos e atrasos nos processos de licenciamento.
- A morosidade e complexidade dos processos de licenciamento ambiental, especialmente em áreas sensíveis ou com múltiplos órgãos envolvidos.
- A falta de transparência e padronização nos critérios de exigência de estudos ambientais, o que dificulta o planejamento e a previsibilidade dos projetos.

Esses desafios foram evidenciados, por exemplo, na suspensão judicial da 12ª Rodada de Licitações da ANP, que previa a concessão de blocos com potencial para gás de xisto. A decisão judicial exigiu a elaboração de estudos ambientais específicos sobre os riscos

do fraturamento hidráulico, o que revelou a fragilidade do marco regulatório existente para lidar com essa tecnologia.

Portanto, para viabilizar a exploração segura e sustentável do gás de xisto no Brasil, é fundamental revisar e atualizar a legislação ambiental, estabelecer normas específicas para o fraturamento hidráulico e fortalecer a articulação entre os órgãos do SISNAMA.

5.3 Lacunas e Desafios Regulatórios

Apesar da existência de um arcabouço legal ambiental relativamente robusto no Brasil, ainda há lacunas significativas no que diz respeito à regulamentação específica da exploração de gás não convencional, como o gás de xisto. Essas lacunas dificultam a previsibilidade jurídica, a segurança ambiental e a atração de investimentos. A seguir, detalham-se os principais desafios:

Ausência de diretrizes técnicas específicas para fraturamento hidráulico:

Atualmente, a Resolução ANP nº 21/2014, que trata da comunicação prévia sobre o uso da técnica, é considerada insuficiente por especialistas e pelo Ministério Público, pois não há normas técnicas federais que regulem de forma clara e abrangente o uso do fraturamento hidráulico no Brasil, contudo não estabelece critérios técnicos detalhados sobre pressão, profundidade, composição dos fluidos ou monitoramento geológico. Essa ausência de normatização específica foi um dos fatores que levou à suspensão judicial da 12ª Rodada de Licitações da ANP, que previa blocos com potencial para gás de xisto (ANP, 2014).

Falta de padronização na divulgação de dados sobre composição dos fluidos utilizados:

Nos Estados Unidos, plataformas como o FracFocus permitem o acesso público à composição química dos fluidos de fraturamento. No Brasil, não há exigência legal clara para a divulgação detalhada desses dados, o que compromete a transparência e dificulta a fiscalização por parte dos órgãos ambientais e da sociedade civil. Essa lacuna também impede a avaliação adequada dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Necessidade de atualização das normas de segurança operacional e monitoramento ambiental:

As normas atualmente aplicadas à exploração de petróleo e gás foram elaboradas com foco em reservatórios convencionais. A exploração de gás não convencional, por envolver técnicas mais invasivas e riscos distintos, exige protocolos específicos de segurança, monitoramento sísmico, controle de emissões e gestão de resíduos. A ausência de tais normas específicas compromete a capacidade de resposta a acidentes e a prevenção de impactos cumulativos.

Resistência de comunidades locais e movimentos socioambientais:

A falta de regulamentação clara e de mecanismos de participação social efetiva tem gerado forte resistência de comunidades locais, especialmente em áreas sensíveis como o Aquífero Guarani, a Amazônia Legal e regiões de produção agrícola. A percepção de risco, aliada à ausência de garantias legais e de benefícios diretos para as populações afetadas, tem levado à judicialização de projetos e à paralisação de atividades exploratórias.

O indicativo para o marcar esse desafio e implantar a necessidade urgente de um marco regulatório específico para o gás não convencional no Brasil, que contemple:

- Normas técnicas detalhadas para fraturamento hidráulico;
- Protocolos de transparência e acesso à informação;
- Regras claras de licenciamento ambiental e responsabilidade socioambiental;
- Mecanismos de consulta e compensação às comunidades afetadas.

5.4 Considerações Finais

A viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil depende não apenas de fatores econômicos, mas também da aceitabilidade social e ambiental da atividade. O fortalecimento do marco regulatório, a transparência nos processos de licenciamento e o investimento em tecnologias de mitigação de impactos são fundamentais para garantir uma exploração segura, sustentável e socialmente responsável.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade da exploração do gás de xisto no Brasil, considerando aspectos geológicos, tecnológicos, econômicos, ambientais e regulatórios. A partir da revisão bibliográfica e da análise dos dados disponíveis, foi possível identificar que o país possui um potencial significativo para a produção de gás não convencional, especialmente nas bacias do Paraná, Parnaíba, Recôncavo, Solimões e Amazonas.

No entanto, a viabilidade da atividade ainda enfrenta desafios importantes. Os custos de produção são elevados, principalmente devido à necessidade de tecnologias específicas como fraturamento hidráulico e perfuração horizontal, além da ausência de infraestrutura adequada nas regiões com maior potencial. Apesar disso, o preço do gás natural no mercado brasileiro, aliado à crescente demanda por fontes de energia de transição, pode tornar o gás de xisto uma alternativa competitiva no médio e longo prazo.

Do ponto de vista ambiental, os riscos associados à exploração não convencional são relevantes e exigem atenção especial. A contaminação de aquíferos, o uso intensivo de água e os riscos sísmicos são preocupações legítimas que devem ser mitigadas por meio de regulamentação rigorosa, monitoramento contínuo e transparência nos processos.

Regulamentar a atividade de forma clara e específica é um passo essencial para garantir segurança jurídica e atrair investimentos. Atualmente, o Brasil carece de um marco regulatório voltado exclusivamente para a exploração de gás não convencional, o que limita o avanço de projetos e gera incertezas para investidores e comunidades locais.

6.2 Recomendações de estudo

Com base nas análises realizadas, recomenda-se a realização dos seguintes estudos para subsidiar a formulação de políticas públicas e decisões técnicas sobre a exploração do gás de xisto no Brasil:

- Realizar um estudo técnico-regulatório para a elaboração de um marco legal específico sobre a exploração de gás não convencional, com foco em diretrizes para o uso do fraturamento hidráulico, padrões de segurança e critérios ambientais.

- Conduzir um estudo de viabilidade logística e de infraestrutura para identificar as necessidades de investimento em gasodutos, unidades de processamento de gás natural (UPGNs) e rotas de escoamento nas bacias sedimentares com maior potencial produtivo.
- Desenvolver um programa de pesquisa científica e tecnológica voltado à inovação em métodos de extração, reaproveitamento de água e mitigação de impactos ambientais, com participação de universidades e centros de pesquisa.
- Elaborar um estudo sobre mecanismos de transparência e governança participativa, com foco na criação de canais de diálogo com comunidades locais e instrumentos de consulta pública em áreas afetadas por projetos de exploração.
- Realizar uma avaliação ambiental estratégica para definir zonas de exclusão à exploração de gás de xisto em áreas sensíveis, como o Aquífero Guarani, a Amazônia Legal e unidades de conservação.
- Promover estudos regionais de viabilidade técnica, econômica e socioambiental, considerando as especificidades geológicas, hídricas, demográficas e produtivas de cada bacia sedimentar.
- Integrar o gás de xisto aos estudos de planejamento energético nacional, avaliando seu papel como fonte complementar na transição para uma matriz energética mais limpa, segura e resiliente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução nº 21, de 10 de abril de 2014. Dispõe sobre a comunicação prévia de fraturamento hidráulico. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ALMEIDA, Diogo Romero Torres de. *A história da indústria petrolífera no Brasil e o ensino de química*. 2012. Trabalho de Conclusão de Graduação – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

BADARÓ, Keilla Lima. Estudo do caso do shale gas: uma possibilidade energética no Brasil contemporâneo. 2019. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

BOTÃO, Rodrigo Pereira et al. O gás não convencional no Brasil: a regulação e os riscos. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 43635–43651, 2022.

CATERINA, Gianfranco. Quem detém o interesse nacional? O malogro da cooperação entre a Companhia Industrial de Rochas Betuminosas e a URSS no setor de gás de xisto no Brasil (1959–1973). *Latin American Research Review*, v. 58, p. 129–143, 2023.

CBIE. O que é o Shale Gas? *CBIE*, 14 ago. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/o-que-e-o-shale-gas/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; SIMÕES, André Felipe; ALMEIDA, Paulo Santos de; MUSARRA, Raíssa. Objetivos do desenvolvimento sustentável, royalties exploração offshore de petróleo e gás natural da Bacia de Santos. *Sociedade e Território*, v. 33, n. 2, p. 41–68, dez. 2021 Portal de Periódicos UERN+15

EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Technologies for Enhanced Oil and Gas Recovery*, 2021.

EPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources*, 2023. FREITAS, Ana Carla Pinheiro; ARAUJO, Liane Maria Santiago Cavalcante; SANTOS, Thiago Flores dos. Direito, desenvolvimento sustentável e a exploração energética do gás de xisto no Brasil. *Revista de Direito da Cidade*, v. 11, n. 3, p. 14–38, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Relatório final do Plano Nacional de Energia 2050. P. 1098. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Desenvolvimento da exploração de recursos não convencionais no Brasil. P. 56. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2020. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_desenvolvimento_da_exploracao_de_recursos_nao-convencionais_no_brasil.pdf. Acesso em: 04 jun. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Gás natural no Brasil: perspectivas e desafios. P. 12–23. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2020. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/01_gasbras_e_book_2.pdf. Acesso em: 01 jul. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Transição energética no setor de transportes. P. 45. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2021. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_de_transicao_energetica_no_setor_de_transportes_rev4.pdf. Acesso em: 04 jul. 2025.

GOLDEMBERG, José. Energia no Brasil e no mundo. *EcoDebate*, 17 set. 2013. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2013/09/17/energia-no-brasil-e-no-mundo-artigo-de-jose-goldemberg/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

GROUND WATER PROTECTION COUNCIL; ALL CONSULTING. Modern shale gas development in the United States: a primer. Prepared for U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, and National Energy Technology Laboratory. Oklahoma: GWPC; Tulsa: ALL Consulting, 2009.

GRUPO GEN. Gás não convencional: novos horizontes regulatórios. Blog Grupo GEN, p. 23–29, 17 ago. 2022. Disponível em: <https://blog.grupogen.com.br/juridico/areas-de-interesse/ambiental/gas-nao-convencional-novos-horizontes-regulatorios/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

G1. Entenda como é a exploração do gás de xisto e seus impactos; governo quer facilitar licenças. 25 maio 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/05/25/entenda-como-e-a-exploracao-do-gas-de-xisto-e-seus-impactos-governo-quer-facilitar-licencas.ghtml>. Acesso em: 10 jul. 2025.

JARVIE, Daniel M. *Shale resource systems for oil and gas: Part 1—Shale-gas resource systems*. In: BREYER, James A. (Ed.). *Shale reservoirs – Giant resources for the 21st century*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 2012.

KING, G. E. Thirty Years of Gas Shale Fracturing: What Have We Learned? *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Florença, Itália, 19–22 set. 2010.

MACEDO, Luziene Dantas de; RIBEIRO, Thalita Érica da Silva. O shale gas no Brasil. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, v. 5, n. 1, p. 6–23, 2016.

MARTIGNONI, W. P.; GOLDSTEIN, L. J.; PÉCORA, A. A. B.; LOMBARDI, G. Petróleo na Margem Continental Brasileira. In: *Anais do 2º Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Rio de Janeiro, 1982.

PICOLO, Luís Gustavo; FRAGA, Denis Martins; SANTOS, Edmilson Moutinho dos; BRITO, Thiago Luís Felipe. A avaliação econômica do suprimento de gás de folhelho para a UTE Uruguaiana. *Anais do IV CONEPETRO e VI WEPETRO: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis & Workshop de Engenharia de Petróleo*, Campina Grande, 2021.

Preços e demanda de gás natural: estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, nov. 2020.

RIBEIRO, Wagner Costa. Gás “de xisto” no Brasil: uma necessidade? Estudos Avançados, v. 28, n. 82, p. 89–102, 2014.

SOUSA, Ernandes Vaz et al. Gás de “xisto” como fonte energética. In: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – CONEPETRO, São Paulo: Estácio, 2016. Disponível em: <http://www.conepetro.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SYNERGIA EDITORA. Regulação e políticas públicas: volume 2. São Paulo: Synergia Editora, p. 76, 2023. Disponível em: <https://synergiaeditora.com.br/wp-content/uploads/2023/04/02-regulacao-e-book-2pdf2.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2025.

TISSOT, B. P.; WELTE, D. H. *Petroleum Formation and Occurrence*. 2. ed. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1984

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Class II Wells – Oil and Gas Related Injection Wells. Disponível em: <https://www.epa.gov/uic/class-ii-oil-and-gas-related-injection-wells>. Acesso em: 10 jun. 2025.