

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EXPLORATÓRIO DO GÁS DE FOLHELHO NO CONTEXTO BRASILEIRO

Yasmim Monteiro Cordeiro, FCSMA
 Alice Dames Vieira, FCSMA
 Adler Carvalho Ferreira, FCSMA
 Marianne Costa Maciel, FCSMA
 Hans Schmidt Santos, FCSMA
 Jaqueline Mateus de Moura, FCSMA
 Felipe Barbosa Venâncio de Freitas, FCSMA
 Suze Nei Pereira Guimarães, ON

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o cenário brasileiro para a viabilidade da exploração do *shale gas*, descrevendo as diferenças na exploração dos reservatórios convencionais e não convencionais e analisando a conjuntura dos últimos anos para o preço do barril, que é um fator econômico determinante para a viabilidade da exploração. Para alcançar tal objetivo, foi realizada pesquisa exploratória com dados secundários provenientes de pesquisa bibliográfica e consulta a indicadores de economia dos últimos anos. Na análise quantitativa dos dados, um gráfico da evolução do preço do barril foi construído para analisar as flutuações frente ao valor comercial mínimo em que seria atraente a exploração. Por outro lado, na análise qualitativa, foi feita a observação de peculiaridades da exploração do gás não convencional. Analisando o caso brasileiro, percebem-se diversas dificuldades como regulação da atividade, falta de pesquisa detalhada nas bacias sedimentares, grandes oscilações no preço do barril de petróleo e alto custo de exploração envolvendo o *fracking* e a perfuração horizontal. Com esse cenário, verifica-se que as reservas nacionais de recursos não convencionais permanecerão inexploradas até que alguns desses fatores se alterem como o barateamento da produção ou uma maior demanda pela *commodity*.

Palavras-chave: *Shale Gas*; Fraturamento Hidráulico; Potencial Exploratório Brasileiro.

Abstract

This work aims to evaluate the Brazilian scenario for the feasibility of shale gas exploration, it describing the differences in exploration of the conventional and unconventional reservoirs and it analyzing the situation in recent years for the price of a barrel, which is an economic factor determinant for the feasibility of exploration. To achieve this objective, an exploratory research was carried out with secondary data from bibliographic research and consultation of economic indicators from recent years. In the quantitative analysis of the data, a graph of the evolution of the barrel price was constructed to analyze how fluctuations against the minimum commercial value at which an exploration would be attractive. On the other hand, in the qualitative analysis, an observation of the peculiarities of unconventional gas exploration was made. It analyzing the Brazilian case, several difficulties can be seen, such as regulation of the activity, lack of detailed research in sedimentary basins, large fluctuations in the price of a barrel of oil and high exploration costs involving fracking and horizontal drilling. With this scenario, it appears that the national reserves of unconventional resources will remain unexploited until some of these factors change, such as cheaper production or greater demand for the commodity.

Keywords: Shale Gas; Fracking; Brazilian Exploratory Potential.

1. INTRODUÇÃO

O gás natural é uma opção de menor impacto ambiental frente ao petróleo, por isso sua demanda e exploração apresenta grande crescimento e importância no cenário energético mundial. Tal necessidade impulsiona a busca pelo gás em reservatórios não convencionais cuja exploração é mais complexa tanto ambientalmente quanto tecnicamente, mas, em muitos casos, mesmo assim, se torna uma opção atraente economicamente (BADARÓ, 2019).

O estudo da viabilidade do *shale gas* é um tema contemporâneo presente em diversas manchetes de jornais e abordado em diversos ensaios de institutos como o World Resources Institute, tendo-se como exemplo os ensaios de Reig, P.; Luo, T. e Proctor, J. N. de 2014. No Brasil, podem ser destacados diversos estudos publicados pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) em sua biblioteca virtual como o de Lage *et al.* de 2013 e o de Mendes *et al.* de 2015, por exemplo. Além de inúmeros trabalhos acadêmicos mais recentes como os de Cambi *et al.* e Badaró, ambos em 2019.

Para nações com grandes reservas provadas como Estados Unidos, China, Canadá, Argentina, África do Sul, Austrália e Brasil, o gás de folhelho representa uma oportunidade para fortalecer a segurança energética, enquanto reduz as emissões de gases poluentes, pois a queima do metano é menos agressiva que a de hidrocarbonetos de cadeia mais longa. Na verdade, o gás de folhelho acrescenta 47% às reservas de gás natural do mundo tecnicamente recuperáveis, e as reservas subterrâneas de petróleo restrito somam 11% (REIG, LUO e PROCTOR, 2014).

O desenvolvimento de técnicas de exploração de gás não convencional vem aumentando os patamares da produção de petróleo e gás, como ocorre nos Estados Unidos, Reino Unido, Austrália, África do Sul e Argentina que já exploram o *shale gas*. Isso traz um impacto direto na economia com a queda da cotação interna, redução do custo de eletricidade e a criação de milhares de empregos em setores diretos e indiretos da exploração. Além disso, os autores citam outras vantagens como maior segurança de abastecimento, redução da importação e aumento da arrecadação de impostos (CAMBI *et al.*, 2019; TAIOLI, 2013).

Na medida em que os países aumentam sua exploração de gás não convencional, o próprio preço do barril de petróleo pode se tornar um obstáculo, pois a extração desse recurso requer grandes volumes financeiros na perfuração e no fraturamento hidráulico (SOUSA, LAGE e DORES, 2016).

A possibilidade de exploração de grandes reservas de gás não convencional em diversos países criou uma forte expectativa no mercado mundial de energia, com a possibilidade de aumento da produção de gás natural. Entre esses países, o Brasil se destaca com a décima maior reserva de gás não convencional, o que corresponde a uma reserva de *shale gas* quinze vezes maior quando comparada com as reservas de gás convencional registradas no país em 2015 (IEA, 2012; MME, 2015). Contudo, um fator limitante para exploração é o preço do barril do petróleo, pois o custo de exploração do gás não convencional, que gira em torno de 60 a 80 dólares por barril, é mais oneroso financeiramente que, por exemplo, na exploração do Pré-Sal, em torno de 45 dólares o barril (REUTERS, 2014). Dessa forma, o problema que norteou essa pesquisa é “quais serão os desafios e as perspectivas para exploração dessas reservas no Brasil?”

A importância do gás natural na sociedade atual é a principal justificativa dessa pesquisa. Trata-se de um combustível versátil, substituindo muitos outros derivados do petróleo e também o carvão e o urânio em usinas térmicas. Além de possuir diversas aplicações na indústria petroquímica e de ser um combustível de menor impacto ambiental (BUCKZEC *et al.*, 2006). Dada essa importância, diversos estudos acerca da possibilidade da utilização das reservas brasileiras de gás não convencional vêm sendo conduzidos, podendo ser citados “Revisão Sistemática do Estado da Arte da Regulação para *Shale Gas* no Brasil”, de Silva *et al.* (2021) e “A Avaliação Econômica do Suprimento de Gás de Folhelho para a UTE Uruguaiana”, de Picolo *et al.* (2021).

Dessa forma, com o objetivo de avaliar o cenário brasileiro para a viabilidade da exploração do *shale gas* e descrever as diferenças na exploração e nos reservatórios convencionais e não convencionais, além de analisar a conjuntura dos últimos anos para o preço do barril, o presente artigo, no capítulo 2, apresenta a metodologia do trabalho; o capítulo 3 descreve o histórico e peculiaridades dos reservatórios e da exploração do gás não convencional; no capítulo 4, tem-se a descrição da situação atual da exploração no Brasil com as potenciais bacias e a situação atual da regulamentação; no capítulo 5, é realizada uma análise econômica da viabilidade frente às oscilações do preço do barril; e, finalmente, no capítulo 6, são sumarizadas as principais considerações finais deste trabalho.

2. METODOLOGIA

Segundo Gil (2014), classifica-se como pesquisa exploratória toda pesquisa que visa ao desenvolvimento de ideias e conceitos, o que pode resultar em formulação de problemas mais precisos ou novas hipóteses. Como a descrição do cenário atual e a análise da perspectiva da

exploração de gás não convencional são úteis para o planejamento de novas pesquisas de recursos petrolíferos, a pesquisa se caracteriza como um modelo de pesquisa exploratória.

Segundo Andrade (2010), as fontes secundárias são aquelas consideradas disponíveis e acessíveis, através de pesquisas que irão servir como base para um estudo ou desenvolvimento de trabalho. Neste trabalho, utilizam-se dados secundários provenientes de pesquisa bibliográfica com consulta a artigos e indicadores de economia.

Segundo Santos (1999), os dados qualitativos são geralmente caracterizados como robustos, detalhados, aprofundados, descritivos e orientados para o processo, já os dados quantitativos são usados de forma dedutiva, ou seja, as hipóteses são testadas e os resultados são interpretados por meio de uma teoria estabelecida antecipadamente. Neste trabalho, são apresentados tanto dados qualitativos quanto dados quantitativos.

Quanto à análise dos dados, esta pode ser quantitativa e qualitativa. Na análise quantitativa, são calculadas médias e porcentagens, a fim de formular tabelas e gráficos. Já na análise qualitativa, ocorrem diagnósticos e ponderações sobre um determinado assunto (MINAYO *et al.*, 1994). O presente trabalho, em sua análise quantitativa, apresenta e avalia a viabilidade da exploração do *shale gas* por meio de um gráfico que mostra as flutuações do preço do barril de petróleo. Por outro lado, na análise qualitativa, são avaliadas as peculiaridades da exploração de gás não convencional no Brasil e no mundo.

Quanto à delimitação do estudo, o cenário econômico atual, o preço do barril de petróleo, os desafios tecnológicos e as peculiaridades das bacias e legislação brasileiras são analisadas para determinar se é viável a exploração do *shale gas* no Brasil. Procuram-se descrever e analisar as tecnologias usadas na exploração de gás natural na forma de *shale gas*, as diferenças entre a exploração de gás natural convencional e não convencional e o potencial brasileiro na conjuntura atual para a exploração do *shale gas*.

3. GÁS CONVENCIONAL E NÃO CONVENCIONAL

3.1 Histórico

Em 1821, ocorreram nos Estados Unidos as primeiras pesquisas e tentativas de exploração do *shale gas*. Porém, somente em 1920, na antiga União Soviética, ocorreu a primeira exploração efetiva dessa fonte de energia. Em nosso país, em 1954, foi criada a Superintendência de Exploração do Xisto, atuando em um projeto em São Mateus do Sul no Paraná, que não teve êxito devido a altos custos e baixo retorno. No começo da década de 1970, grande parte dos geólogos não acreditava em uma exploração economicamente viável do *shale*

gas, devido à baixíssima permeabilidade do seu reservatório. Todo o processo só se tornou viável economicamente no início deste século, quando foi melhor desenvolvida a técnica chamada *fracking*, também conhecida como fraturamento hidráulico, com o aperfeiçoamento de tecnologias de pressão hidrostática. Outro marco importante em nosso país foi a primeira rodada licitatória para gás não convencional, em dezembro 2013. Já em 2014, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) determinou, por meio de uma resolução, parâmetros para a regulamentação do *fracking* no Brasil, contudo ainda tramita na Câmara de Deputados a suspensão da própria resolução, com a alegação de que pela sensibilidade do tema, este não poderia ser tratado por meio de resolução. Assim, o país atualmente tem a tecnologia, mas não a regulamentação e segurança jurídica necessárias para a exploração (CBIE, 2020).

A exploração de gás não convencional é considerada sustentável. A extração é feita através da técnica de fraturamento hidráulico ou *fracking*, processo onde se aplica um diferencial de pressão elevada na rocha reservatório até a quebra, permitindo liberar o gás presente nos poros e trincas da rocha (SOUSA, LAGE e DORES, 2016).

No fim dos anos 90, os EUA detinham uma boa infraestrutura de transporte e uma regulação favorável para o comércio do gás. O *shale gas* despertou, então, o interesse de diversos países, juntamente com Brasil, que buscavam uma autossuficiência na área de energia (ALMEIDA e COLOMER, 2013).

Com relação à produção, os Estados Unidos exercem a liderança, em meados dos anos 2000, eles começaram a expandir o mercado de *Shale Gas* rapidamente, crescendo em torno de 45% a.a. entre 2005 e 2010, quando atingiu 141 bilhões de metros cúbicos (bcm) (IEA, 2012).

A necessidade de aumentar o suprimento para garantir a segurança energética do país teve apoio do governo, com incentivo à exploração e à produção, além do elevado preço do gás na década de 2000, juntamente com a obrigação de atingir metas de redução da emissão de gases do efeito estufa e uma combinação de avanços nas tecnologias de produção (ALMEIDA e COLOMER, 2013).

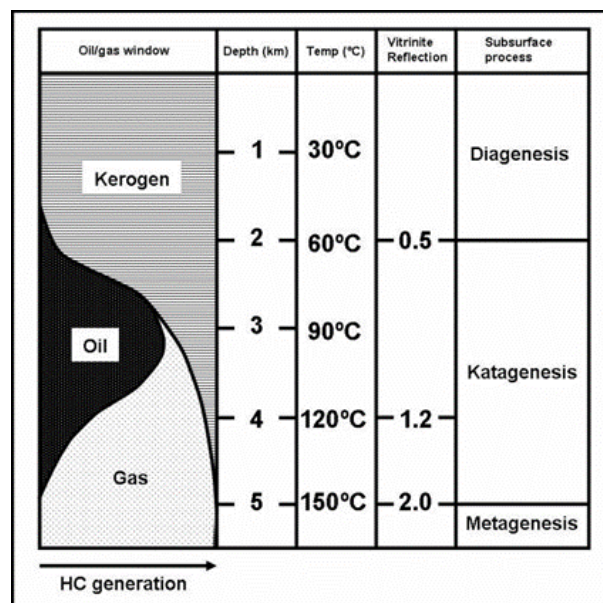
Em outros países com grandes reservas como Argentina, Brasil, China e México, o desenvolvimento da produção de *shale gas* vai depender da forma como são tratadas as suas necessidades ambientais e de segurança energética e de como serão criadas políticas de incentivo à produção. Assim como o desenvolvimento e a aplicação das tecnologias de extração, que precisam ser adaptadas às condições de cada país (SIMAO, 2014).

Segundo Taioli *et al.* (2000), devido ao baixo custo de exploração, boa acessibilidade do reservatório e risco mais baixo, o *shale gas* é responsável por mais de 20% do gás explorado nos Estados Unidos. Ainda segundo Taioli *et al.* (2000), outros países como Austrália, África do Sul, Reino Unido e Argentina também vêm explorando o *shale gas*, já o Brasil se encontra estagnado nisso, aguardando uma legislação que regulamente a atividade.

3.2 Formação e Características

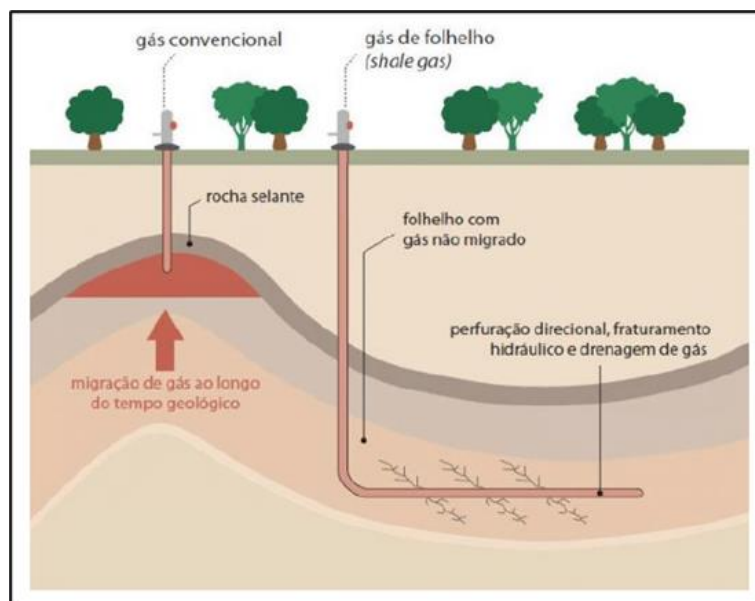
O *shale gas* é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos que se encontra geralmente em formações rochosas conhecidas como folhelhos (GEORGE e BOWLES, 2011). Folhelhos têm, em sua grande parte, argilas vindas de finos sedimentos que foram depositados no fundo de lagos e mares ao longo de milhões de anos. Uma vez que a matéria orgânica é depositada juntamente com os sedimentos, essa rocha passa a conter um material sólido orgânico conhecido como querogênio. À medida que o tempo passa, esse folhelho vai sendo soterrado e aquecido de acordo com a profundidade (IEA, 2012), como pode ser observado na Figura 1 abaixo.

Figura 1: Janelas de geração de óleo e gás (IEA, 2012).



Devido ao processo, parte do querogênio é transformado em óleo (90°C) e/ou gás (150°C). Por essa reação, tem-se um aumento da pressão no interior da rocha, ocasionando uma expulsão de parte do óleo e gás, que fogem para formações rochosas vizinhas, formando reservatórios convencionais de óleo e gás, de baixo custo para extração. A parcela restante continua intacta nas camadas de folhelho (rocha geradora), formando o *shale gas*, conforme a Figura 2 (IEA, 2012).

Figura 2: Reservatórios de gás natural e *shale gas* (BELSUL, 2010).



Um reservatório convencional de arenito possui permeabilidade (medida em mD-miliDarcy) entre 0,5mD a 20 mD, os reservatórios de *shale gas* possuem permeabilidade entre 0,000001 mD a 0,0001 mD (KING, 2012).

Alguns dos motivos que reduzem a permeabilidade dos reservatórios de *shale gas* são: possuir fina granulometria dos sedimentos originais, impedindo assim o gás de escoar facilmente para fora da rocha, porosidade baixíssima, implicando assim em espaços menores para o armazenamento do gás, baixa taxa de recuperação, uma vez que o gás pode estar aprisionado em espaços não conectados dentro ou até mesmo na superfície da rocha. Logo o volume recuperável de *shale gas* é menor quando comparado ao gás convencional (IEA, 2012).

3.3 Reservatórios Convencionais e Não Convencionais

Reservatórios convencionais são aqueles em que a extração do produto é considerada fácil, prática e econômica na parte tecnológica de desenvolvimento, pois apresentam boa permeabilidade e boa porosidade, contendo fluidos de média a baixa viscosidade (BISAGGIO, ESTEVÃO e CONFORT, 2010).

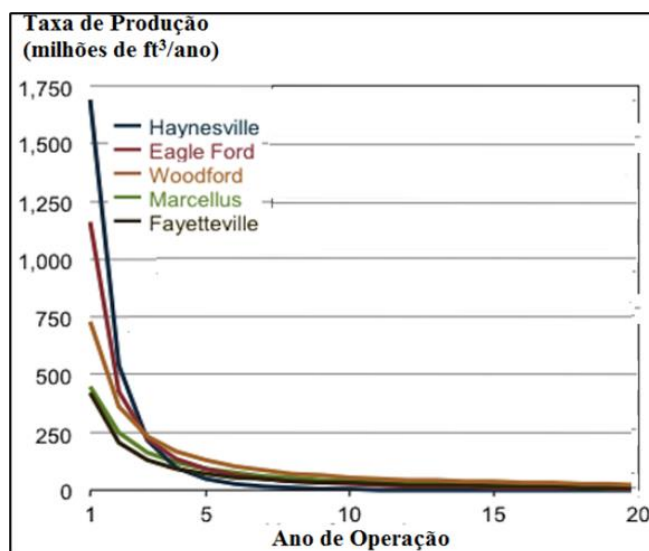
Reservatórios não convencionais como o *shale gas* e *tight gas* apresentam hidrocarbonetos aprisionados em rochas de pouca permeabilidade e com baixa porosidade, fazendo com que exista bastante dificuldade na movimentação dos fluidos nelas contido, tornando a exploração mais cara e difícil (CARESTIATO, 2014).

3.3.1 Shale Gas

A palavra em inglês *shale* quer dizer folhelho, que representa um material de fina granulação composto de silte e argila, sendo uma rocha sedimentar de grande abundância no planeta (SUGUIO, 2003). Mesmo tendo muita matéria orgânica incorporada, o *shale* tem uma baixíssima permeabilidade, entre 0,000001 mD e 0,0001 mD (EPE, 2012).

Segundo Gény (2010), à medida que o reservatório é fraturado, o gás livre começa a fluir mais facilmente, o que resulta em um pico de produção logo no primeiro dia e verifica-se um declínio rápido da produção do poço, de 60% a 90%, ainda no primeiro ano de operação (BOYCE e CARR, 2009). O pico de produção e o rápido declínio pode ser visto na Figura 3.

Figura 3: Taxa de Produção por Poço de *shale gas* em *Plays* nos EUA (CARESTIATO, 2014).

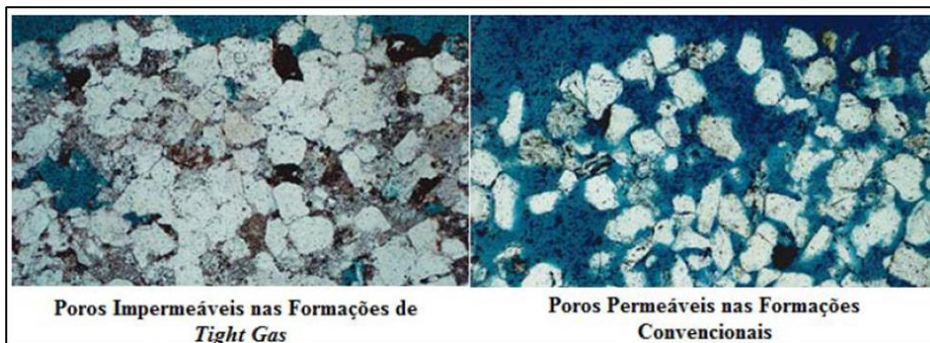


Assim, segundo Junges (2014), o fator de recuperação de gás de folhelho é em torno de 20% a 30%, enquanto que para reservatórios convencionais de gás, ele pode chegar aos 80%.

3.3.2 Tight Gas

Tight gas reservoir é conhecido como um reservatório de gás natural com uma permeabilidade abaixo de 0,1 mD, fazendo com que a formação das rochas seja bastante compacta, tendo assim um gás natural aprisionado em arenitos ou calcário com baixa permeabilidade ou com porosidade irregular (SANTOS e CORADESQUI, 2013), conforme a Figura 4.

Figura 4: Comparação entre a permeabilidade de reservatórios de *tight gas* e reservatórios convencionais (CARESTIATO, 2014).



4. GÁS NÃO CONVENCIONAL NO BRASIL

4.1 Características Gerais da Atividade Exploratória e Produtora no Brasil

O Brasil é visto como um dos países de melhor conhecimento e tecnologia para se explorar e produzir óleo e gás em águas profundas e ultra profundas com uma robusta exploração *offshore* (BDEP, 2013). Contudo, segundo Branco (2013), há um desafio, a exploração *onshore* de gás não convencional, existindo uma estimativa de 7 trilhões de metros cúbicos de gás recuperáveis (Figura 5 e Quadro 1).

Figura 5: Mapa dos prospectos de *shale gas* no Brasil (GEOEXPRO, 2013).



O Brasil possui 30 bacias sedimentares, sendo 13 terrestres (*onshore*) e 16 marítimas (*offshore*), sendo que a Bacia Potiguar é tanto terrestre quanto marítima. Dessas 30 bacias, apenas 12 estão em produção (CBIE, 2019) (Quadro 1).

Quadro 1: Comparativos das Bacias Sedimentares brasileiras *offshore* e *onshore* para o mês de maio de 2017 (CBIE, 2019).

Bacia	Tipo	Produção boe/d	Número de campos
Sergipe	<i>Offshore</i>	39.333	17
Pernambuco-Paraíba		-	-
Jacuípe		-	-
Almada		-	-
Camamu		29.284	1
Jequitinhonha		-	-
Cumuruxatiba		-	-
Mucuri		-	-
Espírito Santo		54.254	39
Campos		1.580.117	45
Santos		1.393.762	12
Pelotas		-	-
Foz do Amazonas		-	-
Pará-Maranhão		-	-
Barreirinhas		-	-
Ceará		4.764	4
Potiguar	<i>Offshore/Onshore</i>	53.671	79
Alagoas	<i>Onshore</i>	10.277	11
Araripe		-	-
Tacutu		-	-
Marajó		-	-
Recôncavo		45.238	77
Tucano Sul, Central e Norte		84	2
Jatobá		-	-
Solimões		98.185	7
Amazonas		-	-
Parnaíba		3.354	4
Paraná		-	-
São Francisco		-	-
Acre		-	-

Por meio do Quadro 1, é possível verificar o grande predomínio, no Brasil, da exploração *offshore*, especialmente nas bacias de Campos e Santos. Ficando, assim, as bacias *onshore* com suas reservas pouco exploradas.

Segundo Badaró (2019), as reservas *onshore* somadas e já mapeadas nas Bacias do Rio São Francisco, Parnaíba, Parecis, Recôncavo, Paraná, Amazonas e Solimões podem alcançar 245 Tcf (trilhões de pés cúbicos). Assim, há potencial para promover o Brasil ao 10º lugar na

exploração mundial de *shale gas*. Contudo, o verdadeiro potencial desses reservatórios não convencionais ainda não é conhecido devido à carência de investimentos em pesquisas.

Sabe-se, por exemplo, que o Paraná é o estado com maior potencial para a exploração do *shale gas*, mas é justamente a Bacia do Paraná que tem a menor quantidade de informações disponíveis (JUNGES, 2014). Estima-se que a bacia possui uma reserva de até 2,5 trilhões de metros cúbicos de gás, seja líquido ou seco. Por outro lado, as reservas totais de *shale gas* são estimadas em 12,7 trilhões de metros cúbicos (KUUSKRA, STEVENS e MOODHE, 2013).

Segundo Macedo e Ribeiro (2016), um grande obstáculo para a exploração das reservas brasileiras é a falta de gasodutos. Assim, uma ideia mais interessante seria a construção de usinas térmicas nos arredores das áreas de exploração nas bacias sedimentares, podendo-se então gerar energia elétrica a partir do gás extraído, e assim mitigando os impactos da falta de infraestrutura em nosso país. Uma proposta nesse sentido, foi estudada por Picolo *et al.* (2021) em “A Avaliação Econômica do Suprimento de Gás de Folhelho para a Usina UTE Uruguaiana” onde são avaliados três cenários diferentes da termoelétrica com funcionamento a 10%, 50% e 100% de sua capacidade.

Outro obstáculo importante é a legislação brasileira e a consequente regulamentação da atividade petrolífera que determina que o setor energético opere através de concessões, o que dificulta a participação de empresas que não sejam a Petrobrás no processo (MACEDO e RIBEIRO, 2016).

Além disso, vale destacar o complicador da questão dos impactos ambientais. Apesar da exploração ser considerada sustentável, são ainda riscos na extração dos recursos convencionais: contaminação do solo, subsolo e lençol freático; degradação da fauna e flora; consumo elevado de água para a extração; eventos sísmicos e explosões; emissão de gás estufa; inundações e impactos sociais negativos na região de exploração (BADARÓ, 2019). Nesse sentido, vem o problema da adequação à legislação ambiental, pois muitas reservas desses recursos não convencionais se encontram próximas a aquíferos, o que dificulta ainda mais a exploração (MACEDO e RIBEIRO, 2016).

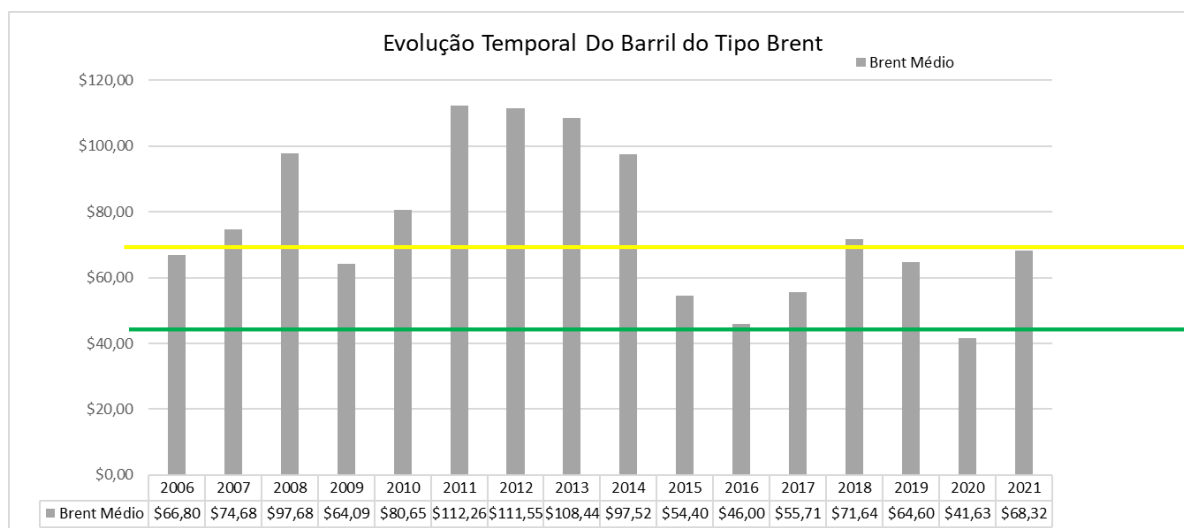
Todos esses fatores vêm tornando o desenvolvimento da atividade no Brasil mais lenta, sendo necessárias pesquisas que comprovem tanto a disponibilidade do gás quanto a garantia de uma exploração segura, além de melhor divulgação das informações e uma regulação mais robusta da atividade (FERREIRA, 2020).

5. O CUSTO DA PRODUÇÃO E A VIABILIDADE DO GÁS NÃO CONVENCIONAL NO BRASIL

Segundo a Reuters (2014), uma trajetória de queda dos preços do barril do petróleo pode tornar o *shale oil & gas* inviável antes que o Pré-Sal brasileiro seja impactado, pois as principais produtoras no Pré-Sal do Brasil, a Petrobras e a britânica BG, apontaram que a exploração brasileira do Pré-Sal tem um custo médio de 45 dólares por barril. Já a produção de gás não convencional, a partir do fraturamento hidráulico, tem custo médio de 70 dólares por barril, podendo variar dependendo das reservas e das atividades empresariais.

Baseando-se nessas informações da Reuters (2014), foi confeccionado o seguinte gráfico (Gráfico 1) da evolução do preço do barril, com o tempo. Esse gráfico marca os últimos 15 anos de exploração que iniciaram a maior disseminação do *fracking* ao longo da década de 2000 até os dias atuais.

Gráfico 1 - Valor médio anual em USD do barril de Petróleo (*Brent*) de jan/2006 até out/2021, com análise de custo de exploração. O custo médio de exploração estimado para o Pré-Sal (linha verde) em USD 45,00 e para o *Shale Gas* (linha amarela) USD 70,00. Confeccionado a partir de dados extraídos da Investing (2021).



No período de 2006 a 2010, o gráfico acima mostra o preço do barril do petróleo oscilante atingindo um pico em 2008. A exploração do Pré-Sal se mostrou viável durante todo o período, porém a exploração de recurso não-convencional seria viável apenas nos anos de 2007 e 2008, quando ocorreram intensas especulações, tensões geopolíticas no Oriente Médio e grandes fluxos de investimentos em *commodities* e, em 2010, quando a melhora de dados econômicos mundiais estimulou a demanda por energia (INFOMONEY, 2009; G1 MUNDO, 2010).

No período de 2011 a 2014, o petróleo viveu seu maior ciclo de valorização dos últimos anos devido, principalmente, ao fim da recessão da economia americana e pela consequente demanda pela *commodity* (MORENO, 2019; G1 ECONOMIA, 2012). Analisando o gráfico acima, percebe-se que a exploração do óleo do Pré-Sal foi viável durante todo o período e de *shale gas* também

Porém, em 2016, o barril de petróleo atingiu seu mais baixo valor. Esse recorde de baixo valor para o barril de petróleo deve-se justamente à grande oferta no mercado, oriunda do recorde americano que passou, então, a ser o maior produtor mundial catapultado pela produção de *shale gas* em grande escala. No período de 2015 até 2019, a produção recorde americana, as preocupações com o crescimento da China e a crise diplomática entre o Irã e a Arábia Saudita provocaram uma grande queda no preço do barril (G1 ECONOMIA, 2015, 2016).

Já em 2020, com a grande retração da economia mundial causada pela pandemia de COVID-19, o barril atingiu o menor valor do período estudado. Porém, já mostrando uma recuperação de valor com o arrefecimento da pandemia e com o consequente reaquecimento dos mercados em 2021 (BERMUDEZ, 2021).

Analisando o caso brasileiro, percebem-se diversas dificuldades como regulação da atividade, falta de pesquisa detalhada nas bacias sedimentares, grandes oscilações no preço do barril de petróleo e alto custo de exploração envolvendo o *fracking* e a perfuração horizontal. Com esse cenário, avalia-se que as reservas nacionais de recursos não convencionais permanecerão inexploradas até que alguns desses fatores se alterem como barateamento da produção, que em média hoje é em torno de 70 dólares por barril, ou uma maior demanda pela *commodity*, além da regulamentação da atividade.

Por fim, sendo algo a se destacar, o primeiro leilão envolvendo recursos não convencionais promovido pela ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis em 2013, na 12ª rodada, disponibilizou 240 blocos com risco exploratório. O foco do leilão foi a atração de investimentos para regiões ainda pouco conhecidas geologicamente ou com barreiras tecnológicas a serem vencidas, possibilitando assim o surgimento de novas bacias produtoras de gás natural e de recursos petrolíferos convencionais e não convencionais (ANP, 2013; G1 ECONOMIA, 2013).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a crescente busca de autossuficiência energética dos países produtores de hidrocarbonetos, inclusive de gás natural, o gás de folhelho aparece como uma fonte importante deste recurso. Porém, a tecnologia envolvida no desenvolvimento dos campos é alta, considerando que nos reservatórios convencionais, os investimentos na exploração e produção do recurso estão atrelados à viabilidade econômica. Tendo isso em vista, foi verificado que o Brasil apresenta um grande potencial para exploração de recursos não convencionais com muitas bacias sedimentares com reservas já provadas. Contudo, as oscilações do preço do barril, as técnicas de exploração, ainda consideradas caras e, principalmente, a falta de regulamentação da atividade e a consequente insegurança jurídica afastam os investidores e levam à constatação de que essas reservas ficarão em subsolo brasileiro ainda por muitos anos.

As potencialidades para gás de folhelho nas bacias brasileiras existem, como se pode verificar em dados da ANP. Com essas informações, percebe-se a necessidade de maior investimento na exploração e no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que tornem a produção mais segura, além de viável economicamente.

Quanto ao desenvolvimento do *shale gas* no Brasil, diversos obstáculos precisam ser superados, tornando-o assim um trabalho de longo prazo. Dentre os obstáculos, destacam-se a falta de incentivo à pesquisa e desenvolvimento nesta área, que implicam na carência de informações a respeito das formações brasileiras, e na pouca infraestrutura de transporte de gás natural no país. Além disso, é preciso entender e balancear as questões ambientais que têm sido levantadas por ecologistas, que ainda são muito controversas.

Recomenda-se para trabalhos futuros que se dê maior destaque para os impactos ambientais que são causados pela exploração e produção de *shale gas* e novas formas de exploração que se adéquem ao meio ambiente sem causar grandes danos ao mesmo. Além da análise ambiental, a análise econômica deve ser mais abrangente quanto ao custo exploratório *versus* valor de mercado em diferentes países, ressaltando os variados métodos de exploração e leis regulatórias de cada um.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. M. de. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10^a ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Edital De Licitações Para A Outorga Dos Contratos De**

Concessão Para Atividades De Exploração E Produção De Petróleo E Gás Natural. 12ª Rodada. 2013.

ALMEIDA, E. F., COLOMER, M. **A indústria do gás natural: fundamentos técnicos e econômicos.** Rio de Janeiro: Synergia, 2013.

BADARÓ, K. L. **Estudo do Caso do Shale Gas: Uma Possibilidade Energética no Brasil Contemporâneo.** UFBA. 2019.

BERMUDEZ, A. **Por que o preço do petróleo está disparando no mundo todo?** BBC News. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-58934505>
 BDEP. **Retrieved 2013**, from *National Agency for Oil, Natural Gas and Biofuels (ANP)*, Brazil. Disponível em: <http://www.bdep.gov.br/?id!4191>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

BELSUL. **Shale Gas: um horizonte de oportunidades**, 2010. Disponível em: <http://www.belsul.com.br/novo/noticias.php?n=152>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BISAGGIO, H. C.; ESTEVÃO, L. R. M.; CONFORT, M. J. F. **Gás Natural Não Convencional.** Superintendência de Comercialização e Movimentação de Petróleo, seus Derivados e Gás Natural, Abril, 2010.

BOYCE, M. L.; CARR, T. R. **Lithostratigraphy and Petrophysics of the Devonian Marcellus Interval in West Virginia and Southwestern Pennsylvania.** In: Carr, T.; D'Agostino, T.; Ambrose, W; Pashin, J e Rosen, N. C. (eds.), *Unconventional Energy Resources: Making the Unconventional Conventional.* 29th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference, CD-ROM, p. 254-281, 2009.

BRANCO, P. M. de. **O Gás do Xisto.** CPRM, Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoi=2618&sid=19>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

BUCKZEC, S. M. D *et al.* **Uma visão geral à importância do uso do gás natural como energia alternativa agregando valor às organizações, ao meio ambiente e à população.** 19º Congresso Internacional de Administração. 2006.

CARESTIATO, G. L. **Estudo do Impacto Econômico da Produção de Shale Gas nos Estados Unidos.** Projeto de Graduação. Engenharia do Petróleo da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2012: Ano base 2011 / Brazilian Energy Balance 2012 Year 2011/** Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2012.

- CAMBI, R. C.; SILVA, E. C.; MARTINS, R.; FUSER, I.; JUNGER, A.P. **Impactos Da Produção Do Shale Gas & Oil Nos EUA**. Revista Humanidades e Inovação v.6, n.12 - 2019
- CBIE. **O que é o *Shale Gas*?** Centro Brasileiro de Infra Estrutura. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-o-shale-gas>
- _____. **Quantas bacias sedimentares existem no Brasil?** Centro Brasileiro de Infra Estrutura. 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/quantas-bacias-sedimentares-existem-no-brasil/>
- COLOMER, M. R. S. Direitos do petróleo: as joint ventures na indústria do petróleo. 2 ed. Rio de Janeiro. Renovar, 2013.
- FERREIRA, M. **Exploração de não convencionais no Brasil depende de mais pesquisas, transparência na divulgação de informações e harmonia regulatória**. Centro de Pesquisa para Inovação em Gás. 2020.
- G1 MUNDO. **AIE revisa para cima consumo mundial de petróleo para 2010 e 2011**. 2010. Disponível em: <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/08/aie-revisa-para-cima-consumo-mundial-de-petroleo-para-2010-e-2011.html>
- G1 ECONOMIA. **PIB dos EUA fecha 2011 com alta de 1,7%**. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2012/01/pib-dos-eua-fecha-2011-com-alta-de-17.html>
- _____. **22 empresas mostraram interesse na 12ª rodada, diz ANP**. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/10/22-empresas-mostraram-interesse-na-12-rodada-de-petroleo-diz-anp.html>
- _____. **Entenda a queda do preço do petróleo e seus efeitos**. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/01/entenda-queda-do-preco-do-petroleo-e-seus-efeitos.html>
- _____. **Por que o preço do petróleo caiu tanto? Veja perguntas e respostas**. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/mercados/noticia/2016/01/por-que-o-preco-do-petroleo-caiu-tanto-veja-perguntas-e-respostas.html>
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed., São Paulo: Atlas, 2014.
- GÉNY, F. **Can Unconventional Gas be a Game Changer in European Gas Markets?**. OIES NG46, Oxford Institute for Energy Studies December, 2010.
- GEORGE, D. L.; BOWLES, E. B. **Shale gas measurement and associated issues**. Pipeline & Gas Journal, vol. 238, N. 7, julho de 2011.
- GEOEXPRO. The favourite petroleum geoscience magazine. **The 1,600 sq. km Multi-Azimuth Multi-Client 3D Survey over Block BM-S-50 and adjacent open acreage in the**

- prolific Santos Basin, offshore Brazil*. 2013. Disponível em:
 <<https://www.geoexpro.com/articles/2013/08/exploration-update>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Golden Rules for a Golden Age OF Gas: World Energy Outlook Special Reporto on Unconventional Gas*, 2012. Disponível em:
 <<http://www.thegwpc.org/wp-content/uploads/2012/09/Ridley-ShaleShock.pdf>>. Acesso em:
 10 abr. 2019.
- INFOMONEY. **Com crescentes tensões no Oriente Médio, petróleo fecha em nova alta**. 2009. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/com-crescentes-tensoes-no-orientemedio-petroleo-fecha-em-nova-alta-2/>
- INVESTING. **Dados Históricos do Petróleo Brent**. Disponível em:
<https://br.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data>
- JUNGES, C. **Exploração de novos campos de gás natural no Paraná de ficar para 2015**, Gazeta do Povo, n.8,p.13-18, 2014.
- KING, G. E. *Hydraulic Fracturing 101: What Every Representative, Environmentalist, Regulator, Reporter, Investor, University Researcher, Neighbor and Engineer Should Know About Estimating Frac Risk and Improving Frac Performance in Unconventional Gas and Oil Wells*. SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, SPE 152596, Texas, EUA, 6-8 fev. 2012.
- KUUSKRA, V. A.; STEVENS, S. H.; MOODHE, K. D. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale*, 2013.
- MACEDO L. D.; RIBEIRO, T. E. S. **O Shale Gas no Brasil**. Revista De Economia Regional, Urbana E Do Trabalho - Volume 05, Nº 0. 2016.
- MINAYO, M. C. S. *et al. Pesquisa social: Teoria, Método e criatividade*. Petrópolis-RJ: Vozes, 1994.
- MORENO, L. **Quais Fatores Influenciam no Preço do Petróleo?** 2019. Disponível em:
<https://br.investing.com/analysis/quais-fatores-influenciam-no-preco-do-petroleo-200225710>
- MME/EPE, Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília, 2015.
- PICOLO, L. G. *et al. A avaliação econômica do suprimento de gás de folhelho para a ute Uruguaiana*. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.8, p. 81801- 81818, 2021.
- REIG, P.; LUO, T.; PROCTOR, J. N. *Global shale gas development: Water availability & business risks*. World Resources Institute, Washington D C, 2014.

- REUTERS, D. T. **Preços do petróleo em queda inviabilizariam 'shale' dos EUA antes do pré-sal, diz IBP.** Reuters Brasil, 2014.
- SANTOS, P. R. D.; CORADESQUI, S. **Análise de Viabilidade Econômica da Produção de *Shale Gas*: Um Estudo de Caso de Fayetteville**, Projeto de Graduação em Engenharia de Petróleo, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.
- SANTOS, S. R. **Métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa biomédica.** *Jornal de Pediatria*. 0021-7557/99/75-06/40, 1999.
- SILVA, T. L. M. *et al.* **Revisão Sistemática Do Estado Da Arte Da Regulação Para *Shale Gas* No Brasil.** IV CONEPETRO, 2021.
- SIMAO, E. F. **Oportunidades para a Petroquímica Brasileira Face ao Fenômeno do *Shale Gas*.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.
- SOUSA, L.; LAGE, E.; DORES, P. **Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro.** Produção BNDES - Artigos. Rio de Janeiro, 2016.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** Formations in 41 Countries Outside the United States. Independent Statistics and Analysis. Editora Edgard Blucher, Edição 1a, 2003.
- TAIOLI, F. **Gás de Folhelho no Brasil – Perspectivas e Dúvidas.** ANAIS DA 65ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC – RECIFE, PE, 2013.
- TAIOLI, F.; TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R. **Decifrando a Terra.** Oficina de Textos, 2ª Edição, São Paulo, 2000.