



# Understanding shale gas: extraction techniques and challenges for exploration growth

## Entendendo o gás de folhelho: técnicas de extração e desafios para o crescimento da exploração

Victor Filipe Garcia Barbosa da Silva

Centro Universitário Jorge Amado  
garciab.victor@gmail.com

**Abstract:** shale gas is a natural gas considered as an alternative form of energy. Understanding how shale gas can be extracted from the environment is relevant to the growing worldwide need to obtain new sources of energy. The purpose of this paper is to present the basic concepts about shale gas, pointing out the existing forms of extraction and the challenges that this segment can face. The methodology used was a review of the literature. The results presented show the relevance of exploiting shale gas as an alternative energy source. However, due to its extraction in a very incipient form, it is necessary to develop control and regulation mechanisms for a more efficient extraction and with less damage to the environment.

**Keywords:** alternative energy, natural gas, environment.

**Resumo:** O gás de folhelho é um gás natural considerado como uma forma alternativa de energia. Compreender como o gás de folhelho pode ser extraído do meio ambiente possui relevância diante da crescente necessidade mundial de obter novas fontes de energia. Este artigo visa a apresentar os conceitos básicos acerca do gás de folhelho, apontando as formas de extração existentes e os desafios que esse segmento pode enfrentar. A metodologia utilizada com tal objetivo foi a realização de uma revisão da literatura. Os resultados apresentados mostram a relevância em se explorar o gás de folhelho como uma fonte de energia alternativa. Contudo, por ter sua extração de forma muito

incipiente, faz-se necessário o desenvolvimento de mecanismos de controle e regulação para uma extração mais eficiente e com menores danos ao meio ambiente.

**Palavras-Chave:** energia alternativa, gás natural, meio ambiente.

### Introdução

Os gases naturais são importantes fontes alternativas de combustível, utilizados como recurso energético em diversos países do mundo. Emerge nos últimos anos a extração e produção do "shale gas" ("gás de folhelho" ou "gás de xisto"), considerado como gás natural não convencional haja vista as dificuldades para extração e os entraves políticos e financeiros deste recurso. Embora no Brasil o termo "gás de xisto" seja amplamente empregado em diversos trabalhos acadêmicos e em outros veículos de comunicação, a tradução mais adequada para "shale gas" é "gás de folhelho" [1] [2].

Diante do cenário atual, entender as formas de extração e produção do gás de folhelho possui relevância em face da crescente necessidade mundial em se obter novas fontes de energia. Faz-se necessário também compreender os potenciais impactos ambientais associados às técnicas de extração, de forma a contribuir para minimizar os riscos em que a atividade incorre, evitando vazamentos, poluições, contaminações, e demais danos ao ecossistema da região, assim como desperdícios financeiros.

O intuito deste artigo é, portanto, conceituar o gás de folhelho, uma vez que é uma fonte alternativa de energia e que suas reservas representam uma considerável capacidade de extração diante da quantidade de reservatórios espalhados pelo mundo. A problemática levantada neste trabalho incide na dificuldade para extração e na possibilidade de causar grandes impactos ambientais. Portanto, o artigo pretende responder ao seguinte questionamento: o investimento na obtenção compensa os riscos ambientais e políticos que podem ser ocasionados no processo de produção e comercialização do gás de folhelho?

Diante dessa problemática, o artigo parte do objetivo principal de mostrar a relevância do gás de folhelho como uma das fontes de energias disponíveis que estão emergindo na atualidade. Como objetivos secundários, almeja-se apresentar as formas de extração que estão sendo realizadas e apontar os desafios que o segmento deve transpor para incentivar a produção em escala comercial mundial. Ao fazer essa análise será possível comparar aspectos negativos, tais como danos e prejuízos, com positivos, tais como ganhos, em virtude da utilização ou não desse tipo de fonte energética. A metodologia consiste em revisão bibliográfica, incluindo artigos publicados em jornais de ciência e engenharia; relatórios de governo, nacionais e internacionais; aspectos legais relacionados ao tema; reportagens de organizações não governamentais e dados fornecidos pela indústria mediante publicações nos diversos meios de comunicação.

## 1 Gases naturais

Os gases naturais são combustíveis de origem fóssil, compostos por uma mistura de metano (CH<sub>4</sub>) – aproximadamente 85% do total –, outros hidrocarbonetos, como o etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), pentano (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e em menor quantidade elementos de nitrogênio (N), hélio (He) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) [3] [4].

No Brasil, a definição de gás natural de acordo com a Lei 11.909, de 04 de março de 2009, também conhecida como “Lei do Gás” é:

Art. 2º[...]

XIV – Gás Natural ou Gás: todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, cuja composição poderá conter gases úmidos, secos e residuais [5].

Os gases naturais se dividem em duas categorias, quais sejam: gás natural convencional e gás natural não convencional [6]. A principal diferença observada entre esses tipos de fontes está relacionada ao fato de os gases naturais convencionais possuírem técnicas de extração fáceis, práticas e econômicas, usando a perfuração vertical de poços diretamente nas reservas, em razão das moléculas de metano estarem retidas nos poros de minerais permeáveis [4]. Já os gases ditos não convencionais, apresentam o metano aprisionado nos poros de diferentes formações geológicas pouco permeáveis, inferior a 0,1 mD (mili Darcy), o que dificulta o processo de produção, gerando assim maiores custos associados à extração do gás [4] [7] [8] [9].

Pertencem ao grupo de gases naturais de fontes não convencionais o gás de folhelho, clatratos ou *deep gas* - moléculas de metano retidas sob altas pressões em camadas profundas dos oceanos, gás natural provenientes das jazidas de carvão (do inglês *coal-bed methane*), o gás natural contido em formações rochosas de baixa permeabilidade (do inglês *tight gas*), gás de zonas geopressurizadas (*geopressurized zones*) e hidratos submarinos e árticos [4] [6] [7]. A Tabela 1 apresenta a estimativa do quantitativo de reservas de gás natural convencional e de gás de folhelho em trilhões de metros cúbicos nas reservas mundiais.

Tabela 1: Potencial de reservas de gás natural no mundo [4] [10].

Fonte de gás natural	Volume (trilhões de metros cúbicos)
Convencional	189,92
gás de folhelho	187,00

O gás de folhelho é classificado como recurso natural que podem se apresentar aprisionados em depósitos de folhelhos, sendo formado através do acúmulo e decomposição de sedimentos por processos diagenéticos [2] [3] [7] [11]. O Folhelho, por sua vez, caracteriza-se como: rocha metamórfica derivada de rochas sedimentares formada pelo movimento das placas tectônicas sobre minerais a exemplo de argila, arenito, silte, possuindo como características a formação de um mineral composto de grãos

com dimensões inferiores a 63 µm, muito poroso, pouco permeável, finamente laminado [4] [9].

Segundo Jácomo [12], aproximadamente metade das formações rochosas sedimentares são classificadas como folhelhos, caracterizadas por possuírem granulometria fina e proporção de partículas de argila superiores a 65%, predominando minerais como quartzo, carbonatos e feldspatos. A análise das características da formação rochosa é de suma importância para o estudo das reservas e para definição do potencial de produção dos hidrocarbonetos [12], devendo abranger estudos geofísicos e geoquímicos [9].

Destaca-se para a caracterização de folhelhos um conjunto de análises que vão desde características de porosidade e permeabilidade, incluindo o Carbono Orgânico Total (COT), a espectrometria de raios gama, mineralogia, e o teor de gases contidos nas rochas [9].

De acordo com trabalho publicado pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social devido às características geológicas desse tipo de formação os recursos geralmente estão distribuídos ao longo de imensas áreas geográficas, o que as diferencia das regiões de fontes de gás convencional que em sua grande maioria distribuem-se em limites geográficos mais restritos, tornando assim mais previsível sua exploração [1]. Os gases de folhelhos, podem encontrar-se aprisionados de duas maneiras, ou como gás livre nos poros e fraturas, ou adsorvidos na superfície da matéria orgânica e dos argilominerais que constituem as rochas [9].

O principal detentor de reservas de gás de folhelho é a China com 36,1 trilhões de metros cúbicos, seguido dos EUA (24,4), Argentina (21,9), México (19,3) e África do Sul (13,7) [1]. O Brasil aparece na décima posição com 6,4 trilhões de m<sup>3</sup> das reservas de gás de folhelho [1]. Sua capacidade foi separada em cinco reservas, sendo denominadas, em ordem de tamanho, como Bacia do Paraná, Bacia do São Francisco, Bacia do Parnaíba, Bacia do Parecis e Bacia do Recôncavo Baiano [10]. Na próxima seção serão apresentadas as técnicas para extração do referido gás.

## 2 Técnicas para extração: perfuração horizontal e fratura hidráulica

Para o processo de extração do gás de folhelho, faz-se necessária a utilização de técnicas especiais ou não convencionais. Atualmente, diversas técnicas são empregadas para a extração do gás de folhelho, incluindo as mesmas empregadas para a obtenção do gás natural convencional (exploração sísmica, preparação do terreno, posicionamento de plataforma, perfuração vertical) [6]. Contudo, foi a partir da combinação nos últimos anos de duas técnicas, a fratura hidráulica (do inglês, *Hydraulic Fracturing*) e a perfuração horizontal (do inglês, *Horizontal Drilling*) que a extração e comercialização do gás de folhelho se tornou viável [3] [6] [11] [13].

## 2.1 Perfuração horizontal

Utilizada inicialmente com o intuito de aumentar o volume de produção de todos os tipos de gases naturais e de poços de petróleo, a técnica de perfuração horizontal tornou-se comercialmente viável na década de 1980. Para o gás de folhelho, a técnica consiste inicialmente na perfuração de um poço vertical na superfície da terra até atingir as reservas de gás de folhelho, as quais são tipicamente encontradas em profundidades de 1,5 km a 4,0 km. A segunda etapa do processo começa quando a região alvo é alcançada, então, a sonda de perfuração é modificada para uma trajetória horizontal e segue percorrendo uma distância média de 1,0 km a 3,0 km (Figura 1) [14]. Com isso, múltiplos poços horizontais são perfurados a partir de um único poço vertical, aumentando a produção e reduzindo os impactos do uso do solo [3].

À medida que ocorre a perfuração, os poços são revestidos com múltiplos comprimentos de tubos de aço e cimentados, criando diferentes camadas de aço e cimento entre o interior do poço e o entorno do ambiente com o objetivo de evitar vazamentos [3] e para prevenir contaminações das águas subterrâneas envolta ao poço [11].



Figura 1: Técnica de perfuração vertical e horizontal para extração do gás de folhelho (Adaptado de [14]).

A respeito do número de camadas de cimento e dos condutos de aço ou ferro utilizados para proteção do ambiente circunvizinho em cada etapa da perfuração do poço, são adotadas as normas regulamentadoras estaduais e federais, assim como também influenciados pelas experiências e práticas da indústria [13].

Na etapa que antecede o processo de fraturamento hidráulico (Figura 1), uma ferramenta chamada de pistola de perfuração (do inglês *perforating gun*) é introduzida no poço (Figura 2). A pistola de perfuração contém cargas explosivas que são detonadas para criar pequenos buracos através dos tubos de revestimento do poço e dentro das rochas de folhelho [11]. Essa técnica é empregada em diversos tipos de poços de petróleo e gás, conforme ilustrado na figura 2 [14].



Figura 2: Processo de explosões controladas através da pistola de perfuração (Adaptado de [14]).

## 2.2 Fratura hidráulica

Segundo a Resolução ANP Nº 21, de 10 de abril de 2014 a técnica de fraturamento hidráulico em reservatórios não convencionais é definida como:

Técnica de injeção de fluidos pressurizados no poço, em volumes acima de 3.000 m<sup>3</sup>, com objetivo de criar fraturas em determinada formação cuja permeabilidade seja inferior a 0,1 mD (mili Darcy), viabilizando a recuperação de hidrocarbonetos contidos nessa formação [8].

A técnica de fratura hidráulica vem sendo utilizada em poços de petróleo e gás convencional há mais de 60 anos e consiste no bombeamento de grandes quantidades de fluido através do poço sob altas pressões [6] [15]. A composição do fluido irá depender do tipo de rocha, das especificações do poço e do estágio de fraturamento [13].

O fluido bombeado geralmente é composto por materiais granulares não compressivos, conhecidos como Agentes de Sustentação ou Propantes (sintéticos ou naturais, usualmente areia) na proporção de 6,0% a 9,0%, compostos químicos "aditivos" (0,5% a 2,0%), sendo o restante preenchido com água (89,0% a 93,5%) [3]. As altas pressões de bombeamento do fluido irão produzir rachaduras nas rochas que são mantidas abertas pelos agentes de sustentação [14].

Com isso, o fluido retorna através de bombeamento provocando a liberação do gás proveniente nas rachaduras



das rochas de folhelho ocasionando a sua extração até a superfície (Figura 3) [6] [14]. Os poços passam por um processo chamado de múltiplos estágios de fraturamento, sendo que são requeridos diferentes tipos de misturas no fluido para cada estágio [3].

Os fluidos que retornam à superfície caracterizam-se por possuírem os produtos químicos injetados, somados aos materiais de ocorrência natural da região tais como: soluções salinas, metais, radionuclídeos e hidrocarbonetos [15]. Os líquidos provenientes do retorno do bombeamento geralmente são armazenados em tanques ou poços antes de receberem tratamento, destinação final, reciclagem ou reuso [14].

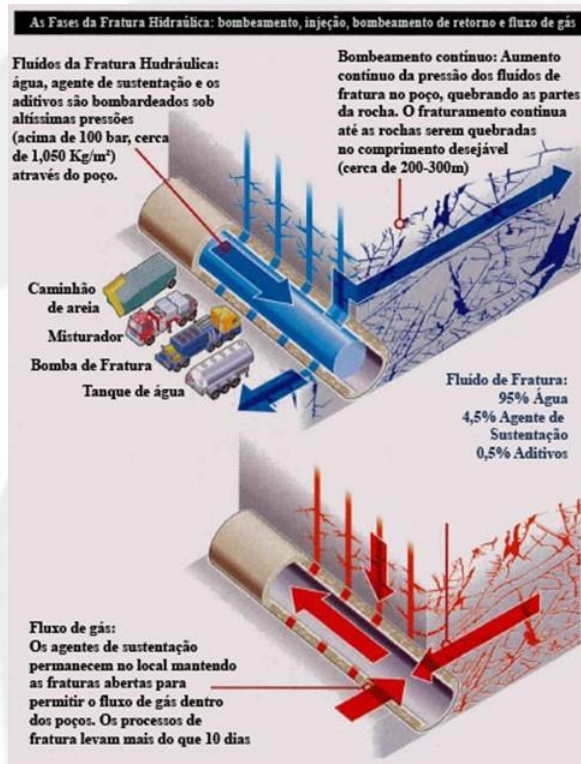


Figura 3: Fases do processo de fratura hidráulica (Adaptado de [14]).

O processo de fratura hidráulica possui duração entre três e dez dias, que juntamente com o aluguel do equipamento de perfuração representam os maiores custos associados à exploração do gás de folhelho [1]. Depois de completado o processo de fratura hidráulica, pode-se iniciar o processo de extração no poço, produzindo gás de folhelho durante vinte ou mais anos [11].

Os impactos ambientais resultantes da exploração dos gases naturais não convencionais através das técnicas de perfuração vertical e horizontal mostram-se semelhantes às técnicas utilizadas na extração de gases convencionais, sendo a diferença entre elas associada à técnica de fratura hidráulica que utiliza em seu processo um fluido específico. Contudo, os fluidos utilizados no processo de perfuração possuem componentes similares aos utilizados na técnica de fratura hidráulica e são aplicados sem ressalvas ao redor do mundo, não apenas na perfuração de poços de gás de

folhelho, mas também em gases convencionais, petróleo e águas geotermiais [16].

Os desafios associados à produção e comercialização do gás de folhelhos, ao redor do mundo, envolvem diversas estruturas com dimensões diferentes, influenciando de forma desigual as partes interessadas (*stakeholders*), quais sejam: a indústria de petróleo e gás, os governos, as comunidades locais, as organizações não governamentais (ONGs) e o público em geral [6] [17].

De acordo com Lozano-Maya [17], a exploração do gás de folhelho é uma atividade interdisciplinar, envolvendo aspectos geofísicos, técnicos e econômicos, mas também um conjunto de estruturas multidimensionais, inter-relacionadas e que, dependendo de seu contexto, refletem uma posição política sobre os recursos de folhelho, os quais afetam as percepções e as relações formais e informais dos diversos atores envolvidos. Face ao exposto, o autor sugere que os estudos devem ser conduzidos a partir de três domínios principais para uma análise holística que são respectivamente denotados dentro das seguintes estruturas: acesso aos recursos naturais, capacidades da indústria e governança [17].

Partindo da premissa acima, a próxima seção almeja apresentar os desafios enfrentados no contexto mundial e no Brasil para o desenvolvimento da indústria de gás de folhelho, focando nas abordagens relacionadas aos riscos ambientais, políticos e econômicos.

### 3 Desafios para o crescimento na exploração mundial e no Brasil

Atualmente, diversos debates ao redor do mundo são realizados tendo como foco a identificação, controle e monitoramento dos possíveis impactos ambientais gerados pelas técnicas utilizadas na exploração dos gases naturais não convencionais. Com isso, faz-se necessária uma avaliação quantitativa e qualitativa desses impactos para garantir a proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, do solo, do ar e dos ecossistemas associados.

Segundo reportagem publicada pela revista Planeta [10], os principais impactos ambientais negativos associados à exploração do gás de folhelho podem ser apontados como:

- Vazamentos – caso a vedação dos poços possua falhas, os produtos químicos utilizados na técnica do *fracking* podem ser liberados nos aquíferos, assim como também os gases acumulados nas rochas, resultando na contaminação das águas subterrâneas;
- Contaminação – o fluido utilizado na técnica de fratura hidráulica pode subir aos poucos para a superfície e contaminar os solos e águas superficiais;
- Consumo de água – a retirada de grandes quantidades de água da região para suprir a demanda necessária para o processo de fratura hidráulica pode prejudicar os ecossistemas da região;
- Terremotos – os riscos de abalos sísmicos em regiões próximas de falhas tectônicas;
- Poluição no processo – emissão de grandes quantidades de gás carbônico e metano no processo de extração do gás de folhelho [3] [10] [13].

O maior risco para impactos na qualidade das águas subterrâneas resultantes da extração e produção do gás de

folhelho é a contaminação do lençol freático (aquífero) por infiltração do gás metano (CH<sub>4</sub>) e dos fluidos utilizados no processo de fratura hidráulica [16] [18].

Em matéria publicada pela revista Exame no mês de julho de 2013 [19], foi apresentado um estudo realizado por cientistas da Universidade Duke, da Carolina do Norte, que indicou a contaminação de água potável situada na bacia de gás de folhelho de *Marcellus*, uma das principais reservas estadunidenses. De acordo com a reportagem, a quantidade de metano, etano e propano encontrados nos poços das casas situadas próximas aos locais de extração do gás superavam de forma significativa quando comparados com as casas que distanciavam a mais de 1 km dos sítios de extração. Contudo, o trabalho realizado não apresentou indícios de contaminação pelo fluido utilizado no processo de fratura hidráulica, composto por uma mistura de água e produtos químicos.

De acordo com a reportagem supracitada, Avner Vengosh *apud* [19], coautor do trabalho, explicou que:

Nossa pesquisa mostra que a distância com os locais de extração, assim como as variações na geologia local e regional, são os principais fatores para determinar o possível risco de contaminação das águas subterrâneas que devem ser considerados antes da perfuração.

Um importante método de proteção dos aquíferos nas áreas de exploração do gás de folhelho é o monitoramento das águas subterrâneas [13]. Os estudos em monitoramento das águas subterrâneas devem se referir as análises das condições da água e da qualidade em diferentes espaços de tempo. Além disso, uma boa rede de monitoramento deve permitir de forma explícita a direção, o sentido, o alcance e as áreas de poluição das águas [16].

Outro impacto associado à produção do gás de folhelho é a contaminação dos solos e das águas superficiais pelo fluido utilizado na técnica de fratura hidráulica [18]. Portanto, faz-se necessário o conhecimento dos principais componentes utilizados nos fluidos de fratura, seus parâmetros e as diferenças na quantidade utilizada entre as técnicas de fratura hidráulica, conforme exemplo apresentado na tabela 2.

A tabela 2 apresenta os principais componentes que são empregados nos fluidos utilizados na técnica de fratura hidráulica, a quantidade utilizada de cada componente por metro cúbico, e o volume total, estimado, para os poços do tipo horizontal e vertical. Por exemplo, para o componente Biocida é utilizado uma concentração de 0,02 kg/m<sup>3</sup> como parâmetro, sendo necessária uma massa de 400 kg na fratura de poço horizontal e 10 kg na fratura de poço vertical, aproximadamente. Para a componente água, não há definição de quantidade de volume para parâmetro, sendo este o recurso mais utilizado. Como é apresentado, a fratura vertical gasta significativamente menos quantidades de componentes, quando comparado aos poços horizontais [16].

Um aspecto bastante discutido envolvendo a produção do gás de folhelho está relacionado à disponibilidade hídrica [18]. O tema em questão está associado à necessidade de

grande demanda do recurso hídrico, variando de 8 a 19 milhões de litros de água, nas fases de fratura hidráulica para a extração do gás [20] e com variação total de 11 a 30 milhões de litros de água durante a vida útil do poço [10].

Tabela 2: Parâmetros de controle para os fluidos utilizados na fratura hidráulica em diferentes tipos de poços [16].

Principais componentes	Parâmetros	Poço Horizontal com multiestágios de fratura	Poço Vertical com um estágio de fratura
	Quantidade/m <sup>3</sup>	Quantidade Total	Quantidade Total
Água		20 100 m <sup>3</sup>	520 m <sup>3</sup>
Biocida	0,02 kg/m <sup>3</sup>	400 kg	10 kg
Polímeros Naturais	1,5 kg/m <sup>3</sup>	30 000 kg	750 kg
Agentes Ativos de superfícies	6 L/m <sup>3</sup>	120 000 L	3 000 L
Agentes de Fluxo	0,3 kg/m <sup>3</sup>	6 000 kg	150 kg
Ácido Clorídrico 34%	264 L/m <sup>3</sup>	26 400 L	5 280 L
Amina Terciária	5 L/m <sup>3</sup>	500 L	100 L

Haja vista o fato de que o recurso hídrico pode ser utilizado tanto para o abastecimento humano como para a técnica de fratura hidráulica, o uso do recurso por meio dessa técnica pode impactar diretamente na quantidade e qualidade da água potável disponível [13] [18]. Portanto, a relação “água versus energia” é assunto de grande preocupação mundial, uma vez que, para a geração de energia, é necessário o uso de quantidades significativas de água; em contrapartida, a utilização de energia é indispensável para o abastecimento e o tratamento de água [21].

Partindo dessa análise, embora os biocombustíveis contribuam para a redução dos gases de efeito estufa, é necessário o consumo de grandes quantidades de água para a geração da matéria prima, sendo o volume demandado superior quando comparado à produção de energia a partir de combustíveis fósseis [21]. Também, pode-se destacar que devido às questões sociais e ambientais desfavoráveis associadas aos biocombustíveis, a exemplo dos empregos sazonais, baixa remuneração, árduas condições de trabalho, e o desmatamento de grandes áreas para produção da matéria prima [22], existe a possibilidade de que a matriz energética brasileira foque na exploração dos combustíveis fósseis novamente [6] [21].

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U. S. EPA) [13] publicou em dezembro de 2016, um estudo que teve como objetivo avaliar: a) os riscos potenciais no ciclo da água, ao longo da técnica de fraturamento hidráulico utilizada para produção de petróleo e gás, e que impactam na qualidade e quantidade de água potável; b) identificar os fatores que afetam a frequência ou gravidade desses impactos. Para o estudo, o ciclo da água foi analisado em cinco etapas no decorrer do processo de fratura hidráulica:

1. captação do recurso hídrico superficial ou subterrâneo para elaboração do fluido de fratura;
2. mistura química do fluido;



3. injeção do fluido através dos poços de produção até as “zonas alvo”;
4. manejo da água residual que retorna à superfície após a fratura hidráulica; e
5. transporte da água até sua disposição (destinação final) ou reutilização [13].

O relatório da U. S. EPA (2016) [13] concluiu que foram identificados casos que impactaram na qualidade e na quantidade da água potável em todas as etapas do ciclo da água no processo de fratura hidráulica. Os impactos identificados geralmente ocorreram nas regiões próximas aos poços de produção de petróleo ou gás e variaram em magnitude, desde mudanças temporárias na qualidade da água, até contaminações que inutilizaram poços de água privados. Entretanto, os dados disponíveis permitiram somente que fossem descritos qualitativamente os fatores que afetaram a frequência e a gravidade dos impactos no nível local, impossibilitando os autores do estudo de calcular ou estimar a frequência dos impactos em âmbito nacional, como também uma caracterização completa da gravidade dos impactos, devido às lacunas e incertezas significativas dos dados disponíveis [13].

Possíveis soluções levantadas por Vengosh *et al.* [23] para mitigar alguns dos impactos associados à extração do gás de folhelho por meio da técnica de faturamento hidráulico são: a) delimitar zonas seguras de no mínimo 1 km de extensão entre os novos locais de extração do gás e os poços de água potável; b) monitorar continuamente a produção do gás de folhelho através de modernas técnicas de geoquímica; c) transparência e compartilhamento dos dados incluindo a divulgação dos produtos químicos envolvidos no processo de faturamento hidráulico; d) com relação a gestão das águas residuais, fazer cumprir o padrões de destinação final para as águas não tratadas, estabelecendo tecnologias de tratamento adequados que poderiam impedir a contaminação; e) utilizar recursos hídricos alternativos, que poderiam substituir a água potável por outros tipos de líquidos, como exemplo águas residuais, soluções salinas, e a reciclagem da água utilizada para extração do gás de folhelho combinada com águas residuais gerando um novo recurso hídrico.

Em relação ao uso do solo para a extração do gás de folhelho, o tamanho dos sítios utilizados abrange áreas consideravelmente maiores, de 2 a 3 hectares (ha), quando comparados com as das reservas convencionais de óleo e gás, as quais variam entre 0,5 e 1 ha. Áreas maiores são necessárias para acomodar a perfuração de múltiplos poços, os equipamentos, os materiais químicos e a areia utilizada ao longo das fases do processo de fratura hidráulica. No caso de as reservas estarem localizadas em regiões florestadas, faz-se necessária a supressão da vegetação no local do sítio de extração, podendo resultar na fragmentação de ecossistemas, redução da biodiversidade, dentre outros impactos [3].

Os riscos de abalos sísmicos induzidos por meio da técnica de fratura hidráulica são frequentemente apontados [18] e estão relacionados devido à grande quantidade de energia liberada durante o processo de fratura. Todavia, abalos sísmicos geralmente só podem ser detectados mediante

equipamentos altamente sensíveis, localizados nos monitoramentos dos poços. Amplos terremotos a partir da fratura hidráulica são raros, sendo associados a regiões com uma falha pré-estressada, não ultrapassando a magnitude de mais de 4 na escala Richter [3] [18].

Em um estudo conduzido na região norte do Estado de British Columbia, no Canadá, dos 272 abalos sísmicos ocorridos em regiões próximas de desenvolvimento de petróleo e gás, registrados entre abril de 2009 e dezembro de 2011, apenas um abalo sísmico foi perceptível na superfície, não sendo registrados acidentes ou danos materiais [3]. No Brasil, as principais reservas de gás de folhelhos estão localizadas em regiões geológicas estáveis, sem propensão a abalos sísmicos. O país possui a totalidade do seu território sobre a Placa Sul-Americana, ou seja, numa região intraplaca, sendo pequena a probabilidade de um grande terremoto [24]. Contudo, como o processo de fraturamento hidráulico induz pequenos abalos sísmicos que geralmente não são detectados na superfície [18], a possibilidade de pequenos terremotos não pode ser rejeitada.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a disponibilidade de matéria prima para composição do fluido de fratura, a exemplo dos agentes de sustentações naturais. Segundo estudo realizado por Braga *et al.* [25], no Brasil, as bacias do Parnaíba e do Paraná possuem elevado potencial para a geração de areia para o processo de fratura hidráulica, tornando a região propícia para a utilização deste recurso como propantes no faturamento hidráulico.

Por tais razões, considerando os impactos cumulativos relacionados ao uso do solo, algumas jurisdições estão passando a aprovar os projetos com base em uma análise mais abrangente, levando em consideração todo o escopo do projeto – poços, locais para armazenamento e disposições, vias de acesso, dentre outros – e não somente a aprovação individual dos poços de extração [3]. Outras formas de controle sobre os impactos relacionados ao uso do solo são as análises dos dados e informações obtidas nas pesquisas desenvolvidas em regiões identificadas como de atividades de exploração dos recursos, para melhor subsidiar a tomada de decisão. Ademais, alguns centros de pesquisas buscam desenvolver uma metodologia padrão para a mensuração dos impactos superficiais [3].

Os efeitos na atmosfera oriundos do crescimento da produção do gás de folhelho vão depender de quatro fatores principais, quais sejam: a) o percentual do gás de folhelho em relação a outras fontes energéticas; b) o quantitativo de emissões do gás metano a partir de vazamentos na cabeça do poço e ao longo do sistema de distribuição; c) a extensão das emissões dos gases relacionados ao transporte da produção do gás; e d) os efeitos do aumento da poluição do ar, em escala regional, causados pela operação do gás de folhelho [3].

A queima do gás natural, por meio das tecnologias atuais, emite para atmosfera menos poluentes, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), quando comparada com outros combustíveis fósseis [3]. Alguns estudos apontam que os recursos provenientes dos gases naturais, podem substituir outros tipos de combustíveis derivados do petróleo, tendo como

vantagens a redução nas emissões de poluentes na atmosfera, a exemplo dos materiais particulados e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), e a emissão de menores quantidades de compostos tóxicos e gases de efeito estufa [26].

Entretanto, alguns debatedores sugerem que as emissões são piores quando levados em consideração todo o ciclo de vida, desde a extração nos poços até a combustão final [3].

As discussões relacionadas ao potencial substitutivo dos combustíveis fósseis pelo gás natural focam nas emissões do dióxido de carbono. Contudo, a liberação do  $\text{CO}_2$  a partir da combustão do gás natural não deve levar em consideração somente este recurso, visto que o metano  $\text{CH}_4$  também é um gás de efeito estufa (GEE). O metano, embora possua um tempo de vida menor na atmosfera quando comparado a outros GEE, são mais eficientes em absorver a radiação, contribuindo para impactos vinte vezes maiores nas mudanças climáticas do que o  $\text{CO}_2$ , durante um período de 100 anos [3].

Atualmente, a literatura científica sugere que as emissões fugitivas de metano em decorrência da extração do gás de folhelho podem variar entre 0,5% e 8,0%. As estimativas sugerem que as taxa de fugas precisam ser menores do que 2,7% para tornarem a substituição do carvão pelo gás de folhelho uma alternativa eficaz para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Contudo, poucos poços têm sido avaliados para o cálculo das emissões fugitivas, sendo que a maioria dos estudos geralmente são baseados em dados de modelagem em vez de dados empíricos, o que pode acarretar em variações significativas, dependendo dos diferentes valores utilizados nas variáveis do modelo [3].

Os maiores custos para indústria e meio ambiente pelas emissões de gases de efeito estufa são associados ao transporte de água, por meio de veículos automotores, os quais podem somar mais de 80% das atividades de transporte na fase operacional do gás de folhelho. Ao longo do desenvolvimento de um poço por meio do processo de fratura hidráulica, milhares de viagens de caminhões são necessárias para levar água, equipamentos, dentre outros materiais, até o sítio, assim como também para remover produtos extraídos e resíduos produzidos. Por fim, tem-se também o aumento da poluição do ar em locais próximos aos sítios operacionais de gás de folhelho e na região dentro do raio de 1 km [3].

Em síntese, diversos impactos ambientais podem estar associados ao longo de todo o ciclo de vida do gás de folhelho, sendo necessários maiores estudos e normas regulamentadoras, que visem a eliminar ou mitigar os efeitos adversos causados pela sua extração e operação. Muitos desses impactos também são decorrentes de erros estruturais na construção dos poços e, por isso, necessitam de soluções de engenharia para sua prevenção e correção [23]. Entretanto, não apenas os riscos ambientais merecem destaque neste artigo, mas também os desafios políticos e econômicos enfrentados por este setor e suas diversas partes interessadas.

De acordo com Adriano Pires *apud* Araia [10], “No Brasil não temos legislação específica para o gás não convencional nem incentivos fiscais ou financeiros que aumentem a

atratividade do investimento”. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da Nota Técnica nº 09/2010-SCM informa que, no Brasil, as principais normas de ordenamento jurídico relativas ao petróleo e gás natural são as chamadas “Lei do Petróleo” e “Lei do Gás”, Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997, e Lei nº 11.909, de 04 de março de 2009, respectivamente [7].

De acordo com a Nota Técnica mencionada,

“A Lei do Gás teve como finalidade introduzir um marco regulatório direcionado para as atividades específicas do gás natural, tal como tratamento, processamento, transporte, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização” [7].

Os autores da nota informam que, embora as citadas leis não mencionem diretamente o termo “gás não-convencional”, este poderia ser enquadrado na definição de gás natural, com base na interpretação disposta no Art. 6º, incisos II e X, da Lei nº 9.478/1997:

Art. 6º [...]

II - Gás Natural ou Gás: todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros;

[...]

X - Reservatório ou Depósito: configuração geológica dotada de propriedades específicas, armazenadora de petróleo ou gás, associados ou não; [27]

Em adição, a Lei do Petróleo estabelece que “[...] Art. 8º A ANP terá como finalidade promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis” [27].

Em relação aos atrativos necessários para o aumento do desenvolvimento e de investimentos neste setor, no Brasil, com base no estabelecido pelo Art. 8º, inciso X, da Lei do Gás, compete a ANP a função de incentivar o desenvolvimento tecnológico que viabilizará a utilização de gás natural derivado de fontes não-convencionais, por meio do estímulo à pesquisa e da adoção de novas tecnologias na exploração, produção, transporte, refino e processamento [5].

O engenheiro químico e professor do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE-UFRJ), Alexandre Szklo, em matéria publicada pelo site Folha de São Paulo, em 2013 [20], destaca que no Brasil, além dos riscos ambientais associados à extração do gás de folhelho, existem também potenciais conflitos de competência, uma vez que a atividade de exploração e produção de petróleo e gás natural está sob regulação da ANP, enquanto que a outorga do direito de uso da água de domínio da União é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), e a concessão no domínio estadual cabe aos órgãos estaduais competentes [20].

No Brasil, para poder realizar a extração e produção de gás não convencional, é necessário que haja uma Avaliação Ambiental de Área Sedimentar (AAAS), processo este instituído a partir da publicação da Portaria Interministerial nº 198, de 05 de abril de 2012, a qual disciplina as relações entre o processo de outorga de blocos exploratórios de petróleo e gás natural, situados nas regiões de bacias sedimentares, e os procedimentos de licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades [28].

Com isso, a ausência ou não conclusão deste dispositivo legal, tem contribuído para que diversos empreendimentos sejam embargados e impossibilitados de serem executados, a exemplo do que ocorreu em fevereiro de 2017, em que a Justiça Federal do Piauí anulou a contratação do bloco PN-T-597, na Bacia do Parnaíba, arrematada pela empresa Geopark durante a 12ª rodada de licitação [29]. Essa ação foi adotada contra a exploração de gás não convencional na região, principalmente devido ao uso do *fracking* para produção de gás de folhelho, impedindo ainda que a União e a ANP realizem licitações de novos blocos na região até a conclusão das avaliações ambientais [6] [29].

Segundo Souza *et al.* [9], com base na análise dos dados geológicos e geoquímicos da Formação de Pimenteiras, que fica localizado na porção leste da Bacia do Parnaíba, a região apresentou resultados pouco favoráveis relacionados ao potencial de produção de gás não convencional. Os estudos realizados indicaram a presença de grandes quantidades de argilominerais, o que dificultaria o processo de faturamento hidráulico. Outras características avaliadas estão relacionadas a porosidade primária que, embora possua dimensão favorável, apresentaram geometria desfavorável, e os aspectos relativos à baixa maturidade térmica e os valores de carbono orgânico total mostraram-se pouco expressivos indicando, assim, um baixo potencial produtor [9].

Para Delgado e Febraro [6], no Brasil, há ainda um enorme potencial a ser explorado, como é o caso das bacias do Paraná, Solimões e Amazonas, que já possuem dados geológicos para se estimar um potencial em 245 trilhões de pés cúbicos de gás de folhelho recuperáveis. Entretanto, as autoras informam que muitas bacias *on shore* ainda carecem de estudos geológicos e geofísicos para que possam ser caracterizadas com maior precisão os recursos em todo território nacional.

O inciso I, do Art. 2º, da Portaria Interministerial nº 198/2012, define a Avaliação Ambiental de Área Sedimentar como:

[...] processo de avaliação baseado em estudo multidisciplinar, com abrangência regional, utilizado pelos Ministérios de Minas e Energia e do Meio Ambiente como subsídio ao planejamento estratégico de políticas públicas, que, a partir da análise do diagnóstico socioambiental de determinada área sedimentar e da identificação dos potenciais impactos socioambientais associados às atividades ou empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural, subsidiará a classificação da aptidão da área avaliada para o desenvolvimento das referidas atividades ou empreendimentos, bem como a

definição de recomendações a serem integradas aos processos decisórios relativos à outorga de blocos exploratórios e ao respectivo licenciamento ambiental; [28].

A ANP alega que os estudos de AAAS demandam longos períodos de tempo e com alto custo, e defendem que a legislação brasileira possui mecanismos que garantem a segurança das operações, mediante a fiscalização por parte da própria ANP, por meio dos órgãos ambientais, assim como também por meio dos processos licitatórios realizados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para os projetos de produção de gás não convencional [29].

De acordo com Ribeiro [30], no Brasil, o uso principal do gás é voltado à produção de energia elétrica por meio da combustão em termoelétricas, de forma que não se explora o seu melhor potencial, que seria como fonte de calor. O autor ainda comenta sobre a carência em termos de infraestrutura adequada destinada à distribuição do gás até os consumidores. Para Gomes [31], um dos desafios para os mercados emergentes está relacionado às formas de incentivar a produção nacional de gás, dentro do cenário de redução nos preços do petróleo e de subsídios ao consumidor final. A autora afirma ainda que “os desafios são enormes, porque, além de todos os obstáculos regulatórios e tributários, é preciso ter uma visão de longo prazo sobre o papel do gás na matriz energética, em um momento em que a economia brasileira se encontra estagnada” [31].

Se por um lado a indústria brasileira espera ansiosamente os resultados de alguns programas que visam incentivar o crescimento da demanda e do mercado interno de gás, a exemplo do “Gás para Crescer” [31] e do “Programa de Revitalização da Atividade de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres” (REATE), este último lançado em 27 de janeiro de 2017, em Salvador, e que busca triplicar a produção em terra (do inglês *on shore*) até 2030 [6] [32].

Por outro lado, países com a Argentina estão demonstrando crescimento significativo nos últimos anos, principalmente após os acordos realizados no início de 2017 entre o governo federal e o da província de Neuquén, com os sindicatos e empresas visando ao desenvolvimento da região de Vaca Muerta, uma das principais reservas do país. As práticas adotadas na Argentina contemplam o fim das restrições às exportações de óleo e gás, programas de desenvolvimento em infraestrutura e dilatação do prazo do Plangás até 2021, plano este, criado no início da iniciativa em 2013, que visava a estimular os investimentos nas reservas de gás regionais, assim como também fornecer subsídios que garantissem o preço de compra do gás em US\$ 7,50 por milhão de BTUs (do inglês “*British Thermal Unit*” – medida utilizada para gás) [33] [34] [35]. Segundo a Agência Internacional de Energia *apud* Medeiros (2017) [33], “a Argentina é o terceiro país com maior potencial para produção não convencional no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos e da China”.

No Brasil, o programa REATE tem como objetivo a revitalização e estímulo da competitividade da indústria petrolífera em áreas terrestres, mediante ações voltadas



para o aumento da produção de gás natural, incluindo os que necessitam de estímulo hidráulico para recursos não convencionais, estratégias para aumentar a atratividade e competitividade dos leilões de campos *on shore*, aprimorar o ambiente de negócio, dentre outros [6].

Acompanhando a queda dos preços do petróleo e do gás, nos Estados Unidos, o número de novos poços perfurados utilizando a fratura hidráulica parece ter diminuído em 2015, com aproximadamente 20.000 novos poços, em comparação com números anteriores, período compreendido entre 2011 e 2014, que variavam de 25.000 a 30.000 novos poços por ano [13].

Todavia, para Gomes [31], a indústria do gás natural no mundo voltou a crescer em 2016, a exemplo dos EUA que já retomaram gradativamente o desenvolvimento das atividades relacionadas à exploração do gás de folhelho, apresentando números recordes de 396 novas sondas de perfuração em 07 de abril de 2017 [31]. Com base no relatório da Agência de Proteção Ambiental Americana, nos Estados Americanos, a produção de óleo e gás utilizando a técnica de fratura hidráulica tem contribuído de forma significativa para o aumento da produção nacional, contabilizando aproximadamente 50% da produção de óleo e cerca de 70% da produção de gás em 2015 [13].

Para Araia [10], as vantagens econômicas decorrentes da exploração do gás de folhelho como fonte energética são indiscutíveis. O autor coloca que os preços do insumo do gás de folhelho nos EUA caíram nos últimos anos de US\$ 12 para US\$ 3 por milhão de BTU. Ainda de acordo com o autor, a título de comparação, no Brasil, o valor estimado em 2013 para o gás convencional custava entre US\$ 12 e US\$ 16 por milhão de BTU. Com isso, o valor do barril do petróleo e de seus derivados vem sofrendo oscilações, podendo até afetar a viabilidade de alguns projetos, a exemplo da exploração do pré-sal no Brasil [10].

Estimativas mais recentes da *Rystad Energy UCube* indicam que o Brasil, nos próximos anos, será o país latino-americano com maior perspectiva de se tornar autossuficiente para o suprimento de gás natural, tendo a previsão de dobrar a produção de gás até 2022 [36]. Contudo, essa tendência de crescimento da produção de gás natural, para o Brasil, se deve principalmente à exploração associada ao pré-sal, não sendo discriminada a contribuição do gás natural não convencional proveniente das reservas de folhelho. Para que essas previsões se concretizem, serão necessárias mudanças significativas na organização do mercado de gás e energia, por meio do desenvolvimento de uma economia mais previsível e custos decrescentes [36].

Por fim, a utilização de técnicas como a perfuração horizontal e o fraturamento hidráulico para obtenção de gás de folhelho no Brasil podem contribuir para incrementar a oferta e competitividade de gás natural no território nacional, possibilitando novos investimentos, gerando emprego e renda, desenvolvendo áreas com baixa atividade econômica e aumentando a arrecadação de impostos [6].

#### 4 Considerações finais

Os gases naturais são importantes no mundo, pois são uma fonte de recurso entre os tipos de energias mais comuns, como: combustíveis fósseis, energia hidráulica, eólica, solar e biocombustíveis. Dentre os gases naturais, encontra-se o gás de folhelho, que é um tipo de combustível fóssil aprisionado em rochas sedimentares e que pode ser empregado como uma fonte de energia alternativa.

Para obtenção comercial do gás de folhelho, é utilizada a junção de duas técnicas, quais sejam, perfuração horizontal e a fratura hidráulica. Como apontado neste artigo, diversos impactos ambientais negativos podem ser observados ao longo de todo ciclo de vida do produto, desde a preparação do sítio para a extração, passando pela produção, chegando até a destinação final do gás. Entretanto, os impactos observados variam em relação à magnitude e temporalidade, sendo muitas vezes devidos às características ambientais da região explorada ou a falhas humanas e de caráter mecânico empregadas nas técnicas.

Os maiores riscos ambientais associados às técnicas de extração afetam a qualidade e quantidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Sabendo-se que a disponibilidade de água de boa qualidade é vital para as futuras gerações e que a grande demanda de água por parte da técnica de fratura hidráulica para extração do gás de folhelho tem provocado alterações no meio ambiente, é fundamental que se estabeleçam padrões claros e concisos para a avaliação do impacto ambiental, controle e monitoramento resultantes da atividade, a fim de permitir o desenvolvimento e crescimento na exploração e produção deste recurso natural, sem a repetição dos problemas e impactos constatados em alguns projetos em funcionamento. Posto isto, deve-se empenhar esforços no sentido de obter dados confiáveis que permitam quantificar e qualificar com precisão a magnitude dos impactos ambientais.

Como medidas de curto prazo, a atenção deve ser focada na combinação entre atividades e mecanismos de controles disponíveis com o intuito de minimizar os impactos causados. Em longo prazo, poder-se-iam adotar parâmetros de controle dos impactos ambientais oriundos da exploração do gás de folhelho, tais como uma política intensiva de melhoria nos mecanismos de gestão da exploração do gás, compreendendo mais estudos, incentivo para pesquisas e ações proativas relacionadas à segurança e viabilidade técnica e financeira dos projetos. Partindo desses esforços, os potenciais impactos ambientais associados à extração e produção do gás de folhelho poderiam ser mitigados nas áreas onde estão ocorrendo ou em áreas passíveis de serem exploradas.

Apesar de todos os riscos ambientais associados às técnicas de extração do gás de folhelho, observa-se que os impactos podem ser minimizados por meio da adoção de práticas de engenharia mais eficientes. Outrossim, os gases naturais, quando utilizados como combustível em substituição a outras fontes derivadas do petróleo, a exemplo da gasolina e do óleo diesel, são menos poluentes e contribuem em menor escala para o agravamento das mudanças climáticas, por

emitirem menores quantidades de compostos tóxicos, gases de efeito estufa, materiais particulados e NO<sub>x</sub>. Outro ponto que merece destaque refere-se à redução dos preços desse combustível nos países em que houve o incremento na produção desta fonte energética em escala comercial, como pode ser verificado nos Estados Unidos e Argentina.

Conclui-se, então, que o estudo deve ser aprofundado no Brasil, em pesquisas futuras, uma vez que a maior parte da literatura que trata do tema é oriunda de fontes internacionais. Tendo em vista que o Brasil se configura entre os maiores detentores mundiais das reservas de gás de folhelho, tal recurso não pode ser ignorado, devendo as instituições, a exemplo da ANP, focar em maior apoio e incentivos a atividades de pesquisa e desenvolvimento. Do mesmo modo, os governos devem buscar maiores estratégias em relação à desburocratização e preconceitos existentes em torno da exploração. Em suma, faz-se necessário o desenvolvimento técnico-científico e comercial dessa fonte alternativa de energia.

## Referências

- [1] BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro. Março de 2013.
- [2] TAOLI, F. gás de folhelho no Brasil – Perspectivas e Dúvidas. **Anais da 65ª Reunião Anual da SBPC – Recife**, PE. Julho, 2013.
- [3] BECKUMB, P.; CHONG, J.; WILLIAMS, T. shale gas in Canada: Environmental Risks and Regulation. **Background Paper**. Library of Parliament, Ottawa, Canada, 2015. Publication N°2015-18-E, 26 February 2015.
- [4] Da ROCHA, G. O.; de ANDRADE, J. B. - GUARIEIRO, A. L. N.; GUARIEIRO, L. L. N.; RAMOS, L. P. Química sem fronteiras: O desafio da energia. **Química Nova**, Vol. 36, N° 10, 1540-1551, 2013.
- [5] BRASIL, Lei nº 11.909, de 04 de março de 2009. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997; e dá outras providências. **Publicada no Diário Oficial da União** em 05 de março de 2009.
- [6] DELGADO, F.; FEBRERO, J. O programa REATE e a desmistificação do faturamento hidráulico no Brasil. Caderno Opinião. **FGV Energia**. Janeiro, 2018.
- [7] ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Nota Técnica nº 09/2010-SCM - Gás Natural Não-Convencional**. Rio de Janeiro, 14 de abril de 2010.
- [8] ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. – **Resolução ANP Nº21**. Rio de Janeiro, 10 de abril de 2014.
- [9] SOUZA, A. C. B.; ESTEVES, M. C. B.; NASCIMENTO JR., D. R.; LIMA, N. O.; SILVA, A. R. C. Geoquímica inorgânica e orgânica dos folhelhos da Formação Pimenteiras: implicações para um sistema petrolífero não convencional. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geologia USP, Série Científica. São Paulo, v. 17, n. 4, p. 45-60. Dezembro, 2017.
- [10] ARAIA, E. Esta pedra vai mudar o mundo? **Revista Planeta**. Ed.491. Ano 41. Setembro, 2013. Disponível em: <<http://revistaplaneta.terra.com.br/seciao/meio-ambiente/esta-pedra-vai-mudar-o-mundo#>>. Acesso em: 20 setembro de 2016.
- [11] STRIMEL, G. – shale gas Extraction: drilling into current issues and making stem connections. **Resources in Technology and Engineering – RITE**. Technology and engineering teacher. February, 2014.
- [12] JACOMO, J. C. P. Os hidrocarbonetos não convencionais: uma análise da exploração do gás de folhelho na Argentina à luz da experiência Norte-Americana. **Dissertação de Mestrado**. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro. Março, 2014.
- [13] U.S. EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States. **Executive Summary**. Office of Research and Development, Washington, DC. December, 2016. EPA/600/R-16/236E5. Disponível em: <[www.epa.gov/hfstudy](http://www.epa.gov/hfstudy)>. Acesso em: 10 de abril de 2017.
- [14] HARRIS, A. Gas Rush! The expected emergence of unconventional gas as a prime energy fuel will depend on public acceptance of hydraulic fracturing. **Engineering & Technology**. September, 2012;
- [15] U.S. EPA – U.S. Environmental Protection Agency. The Process of Hydraulic Fracturing. 2017. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/hydraulicfracturing/process-hydraulic-fracturing>>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.
- [16] KROGULEC, E.; SAWICKA, K. Groundwater protection in shale gas exploration areas – a Polish perspective. **Department of Geology**. University of Warsaw, 02-089, Zwirki I Wigury 93, Poland. Episode, Vol 38, nº.1. March, 2015.
- [17] LOZANO-MAYA, J.R. Looking through the prism of shale gas development: Towards a holistic framework for analysis. **Energy Research & Social Science**, Vol.20. October, 2016.
- [18] ZOBACK, M.; KITASEI, S.; COPITHORNE, B. Addressing the Environmental Risk from shale gas Development. **World Watch Institute – Natural Gas and Sustainable Energy Initiative**. Julho, 2010.
- [19] EXAME. Estudo indica contaminação de água potável por gás de folhelho. **Revista Exame**. Editora Abril. Junho, 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/estudo-indica-contaminacao-de-agua-potavel-por-gas-de-xisto>>. Acesso em: 15 de setembro de 2016.
- [20] SZKLO, A. Análise: Disponibilidade de água é principal desafio para produzir gás de folhelho. **Folha de São Paulo**. Abril, 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2013/04/1263228-analise-disponibilidade-de-agua-e-o-principal-desafio-para-a-producao-do-gas-de-xisto.shtml>>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.
- [21] ANJOS, J. P.; ROCHA, G. O.; ANDRADE, J. B. Matriz energética e o binômio água vs. energia para o Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 66, n. 4, Dezembro, 2014. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttex](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttex)>

- t&pid=S0009-67252014000400002&Ing=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 de Setembro de 2016.
- [22] GORREN, R. C.R. Biocombustíveis – Aspectos sociais e econômicos: comparação entre Brasil, Estados Unidos e Alemanha. **Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia**. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo. 2009.
- [23] VENGOSH, A.; JACKSON, R. B.; WARNER, N.; DARRAH, T. H.; KONDASH, A. A Critical Review of the Risks to Water Resources from Unconventional shale gas Development and Hydraulic Fracturing in the United States. **Environmental Science & Technology**. 2014.
- [24] SINATURA, C. Nordeste é a região mais propensa a terremotos no Brasil. **Ciência e Tecnologia**. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Ano: 41 - Edição Nº: 104 - Outubro, 14, 2008. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/exibir?id=2423>>. Acesso em: 07 de março de 2017.
- [25] BRAGA, P. F. A.; GONÇALVES, C. C.; DE SOUSA, V. C. Areia de faturamento hidráulico: usos, características, mercado e perspectiva. Rio de Janeiro. **CETEM/MCTIC**. 2017.
- [26] GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**. V. 3, n. 5, p. 434-445. Novembro, 2011.
- [27] BRASIL. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. - Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Publicada no Diário Oficial da União** em 07 de agosto de 1997.
- [28] BRASIL, Portaria Interministerial MME/MMA nº 198, de 05 de abril de 2012. Institui a Avaliação Ambiental de Área Sedimentar - AAAS, disciplinando sua relação com o processo de outorga de blocos exploratórios de petróleo e gás natural, localizados nas bacias sedimentares marítimas e terrestres, e com o processo de licenciamento ambiental dos respectivos empreendimentos e atividades. **Publicada no Diário Oficial da União** em 09 de abril de 2012.
- [29] GAUDARDE, G. Justiça anula contrato da 12ª Rodada no Parnaíba - Decisão confirmou liminar contra exploração não convencional e proíbe novos leilões na bacia. **Brasil Energia Petróleo**. E&P. 2017.
- [30] RIBEIRO, W.C.; gás de folhelho no Brasil: uma necessidade? **Estudos Avançados**, São Paulo, v.28, n.82, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142014000300006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300006)>. Acesso em: 20 de março de 2017.
- [31] GOMES, L. Os desafios mundiais do gás natural. **Brasil Energia Petróleo**. E&P. 2017. Disponível em: <<http://brasilenergiaog.editorabrasilenergia.com/news/ideas/artigos/2017/05/os-desafios-mundiais-do-gas-natural-450428.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.
- [32] MACIEL, F.; MEDEIROS, G. 500 mil barris/dias em terra. **Brasil Energia Petróleo**. E&P. 2017. Disponível em: <<http://brasilenergiaog.editorabrasilenergia.com/daily/bog-online/ep/2017/01/500-mil-barris-dia-em-terra-473205.html>>. Acesso em: 16 de maio de 2017.
- [33] MEDEIROS, G. Governo argentino aumenta subsídios para produção não convencional de Vaca Muerta. **Brasil Energia Petróleo**. E&P. 2017. Disponível em: <<http://brasilenergiaog.editorabrasilenergia.com/daily/bog-online/ep/2017/01/governo-argentino-aumenta-subsidios-para-producao-nao-convencional-de-vaca-muerta-473015.html>>. Acesso em: 16 de maio de 2017.
- [34] ARGENTINA SHALE. **Preparan extensión del programa de estímulo PlanGas**. 15 de Novembro de 2016. Disponível em: <<http://www.argentinashale.com/es/noticias/produccion-inversiones/preparan-extension-del-programa-de-estimulo-plan-gas>>. Acesso em: 16 de maio de 2017.
- [35] ARGENTINA SHALE. **Neuquén confirma nuevas inversiones en Vaca Muerta**. 03 de Março de 2017. Disponível em: <<http://www.argentinashale.com/es/noticias/exploracion-y-desarrollo-inversiones/neuquen-confirma-nuevas-inversiones-en-vaca-muerta>>. Acesso em: 16 de maio de 2017.
- [36] MEDEIROS, G. Vaca Muerta pode produzir até 1,25 milhão de boe/dia em 2031. **Brasil Energia Petróleo**. E&P. 2017. Disponível em: <<http://brasilenergiaog.editorabrasilenergia.com/daily/bog-online/ep/2017/05/vaca-muerta-pode-produzir-ate-125-milhao-de-boedia-em-2031-474296.html>>. Acesso em: 16 de maio de 2017.