

IMPACTOS DA PRODUÇÃO DO SHALE GAS & OIL NOS EUA

IMPACTS OF SHALE GAS AND OIL PRODUCTION IN THE USA

Rui Cesar Cambi 1
Erika Cristina da Silva 2
Rhodiney Martins 3
Igor Fuser 4
Alex Paubel Junger 5

Mestre em Energia. Possui graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário Ítalo Brasileiro (1996). Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em energia, atuando principalmente no seguinte tema: biomassa, etanol, combustíveis fósseis e geopolítica da energia. E-mail: ruicambi@gmail.com

E-mail: erikabyte@yahoo.com.br

Doutorando e Mestre em Energia pela Universidade Federal do ABC - UFABC. Físico pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Graduação em Matemática e Pedagogia. Especialização pela UNICAMP, USP, UFF e UNIVESP. E-mail: rvmvaz@gmail.com

Professor do curso de Relações Internacionais da Universidade Federal do ABC (UFABC) e do curso de Pós-Graduação em Economia Política Mundial, também da UFABC. Doutor em Ciência Política pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (2011). Mestrado em Relações Internacionais pelo Programa de Pós-Graduação Santiago Dantas (Unesp, Unicamp, PUC-SP) (2005). Graduação em Jornalismo pela Faculdade Cásper Líbero, de São Paulo (1982). E-mail: igor.fuser@ufabc.edu.br

Pós - Doutor em Engenharia e Gestão da Inovação (UFABC), Doutor em Energia pela Universidade Federal do ABC e Mestre pelo Programa Interdisciplinar em Educação, Administração e Comunicação da Universidade São Marcos, possui graduação em Comunicação Social e Letras - Português/Inglês, com Especialização em Língua Portuguesa. Atualmente é docente permanente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Cruzeiro do Sul, orientando trabalhos de mestrado e de doutorado na área de Ensino. E-mail: alexpaubel@hotmail.com

Resumo: O grande aumento na oferta interna de energia vem mudando e impactando a economia dos EUA, de forma positiva e negativa. Esse artigo tem como objetivo debater as externalidades econômicas positivas e negativas devido à exploração do shale gas e shale oil, fazendo com que essas reservas promovam um círculo econômico virtuoso, atraindo investimentos para os setores produtores. O artigo também pretende levantar a questão dos riscos ambientais que envolvem essa exploração, como o uso intensivo da água e os produtos químicos envolvidos no processo de exploração.

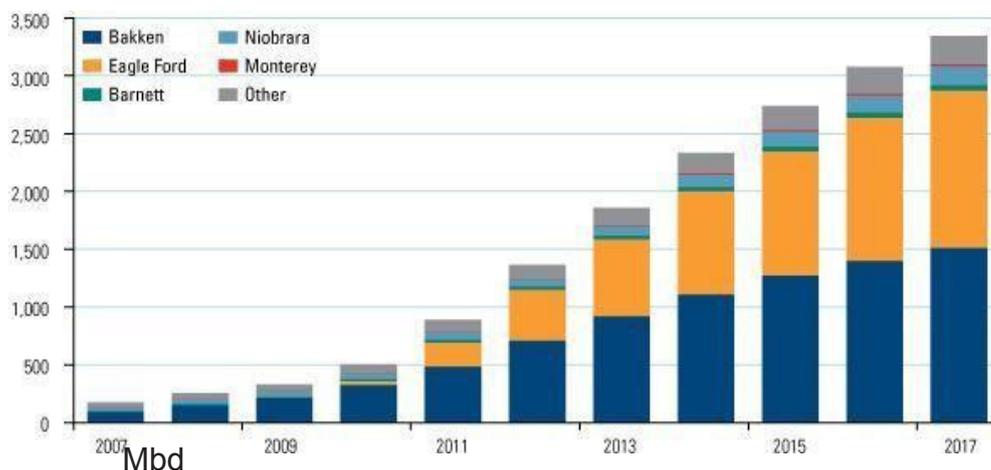
Palavras-chave: Impactos econômicos. Externalidades. Shale gas. Shale oil.

Abstract: The large increase in the internal supply of energy, has been changing and impacting the U.S. economy in a positional and negative way. This article aims to discuss the positive and negative economic externalities due to the exploitation of shale gas and shale oil, making these reserves promotes a virtuous economic circle, attracting investments to the producing sectors. The article also intends to raise the issue of environmental risks involving this exploitation, such as the intensive use of water and chemicals involved in the exploration process. **Keywords:** Economic impacts. Externalities. Shale gas. Shale oil.

Importância do Shale Gas & Oil

O aumento da produção interna de petróleo e gás não convencional impacta a economia do país, resultando em externalidades positivas, tais como a queda das cotações no mercado interno, reduzindo o custo da geração de eletricidade, impulsionando vários setores da economia, proporcionando a criação de milhares empregos nos setores diretos e indiretamente ligados à exploração. Junto a isso, reduz a necessidade de importação economizando divisas financeiras. Há também uma maior segurança de abastecimento, formando um mercado estável, atraindo novos empreendimentos. Aumenta, ainda, a arrecadação de impostos e royalties para o governo, incrementando a renda com o pagamento de bônus aos proprietários das terras. No período de 1970 a 2007, os EUA passaram por uma longa estagnação da produção interna de petróleo bruto, caindo de 9,6 para 5 milhões por dia. Em 2009, a produção reverteu a tendência declinante com a entrada da produção dos recursos não convencionais. A partir de então, o *shale oil* tem desempenhado um papel determinante na inversão do declínio da produção interna do país. A Figura 1 mostra a evolução da produção *shale oil* e a previsão para 2017 nas principais bacias petrolíferas dos EUA (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Figura 1 - Produção de shale oil nos EUA

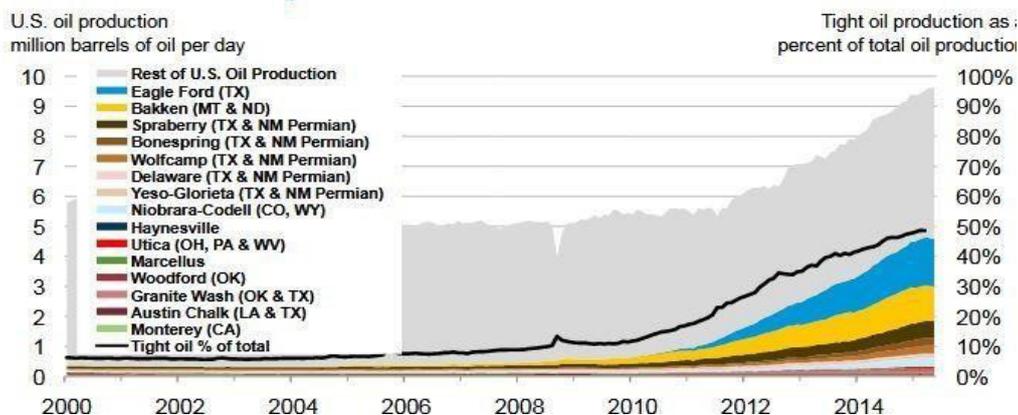


Fonte: United States Energy Information Administration, 2017

Em 2015, os Estados Unidos consumiram um total de 7,08 bilhões de barris de produtos petrolíferos, uma média de cerca de 19,4 milhões de barris por dia, e importaram cerca de 9,4 milhões de barris por dia. A produção total de petróleo bruto, convencional e não convencional, em 2015, foi de 9,4 milhões de barris por dia, sendo que foram produzidos por dia 4,6 milhões de barris de *shale oil*, o que representa 48% do total da produção de petróleo bruto do país (UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2017).

A Figura 2 mostra a produção de petróleo convencional (parte cinza) e não convencional (parte colorida) por área de exploração e a porcentagem da produção dos não convencionais no total.

Figura 2 - Produção de petróleo convencional e não convencional nos EUA



Fonte: United States Energy Information Administration (2015)

Os EUA importam petróleo de vários países sendo que, com alguns destes, não mantém bom relacionamento ou são países com instabilidades políticas, aspectos que podem gerar variabilidade no fornecimento para o país. O aumento da produção estadunidense de *shale oil* fortalecerá a segurança energética, reduzindo a dependência das importações, resultando em maior quantidade de petróleo disponível no mercado mundial, provocando queda nas cotações internacionais do petróleo, que chegou em torno de US\$ 148 por barril em 2008, reduzindo para os patamares atuais de US\$ 50 em 2015, beneficiando os países importadores (MAUGERI, 2013).

Mesmo com o aumento significativo da produção interna de petróleo e gás e a promoção de incentivos aos programas de redução de produtos petrolíferos, a demanda interna continuará a crescer, impulsionada pelo crescimento populacional e o desenvolvimento econômico. Dessa forma, dificilmente o país atingirá a autossuficiência sendo necessário continuar importando petróleo (PARRY; DARMSTADTER, 2004).

Externalidades Econômicas Positivas

Os EUA vêm produzindo grandes excedentes de *shale gas & oil*, cotado entre US \$ 4- 5 (MMBtu) para o gás e US \$ 30-40 o barril para o óleo. A cotação do gás natural está em média uma terço mais barata em que a maioria dos outros países industrializados e a energia elétrica para o setor industrial em torno de 30% e 50% mais barata que em outras nações exportadoras. Essas condições vêm atraindo investimentos estrangeiros para o país, gerando mais consumo interno, aumentando a oferta de empregos, a renda familiar e a arrecadação de impostos, bem como criando estímulos econômicos. Em 2008, 21% do total da energia elétrica gerada no país eram provenientes do gás natural. Em 2015, houve um acréscimo de 4% indo para 25 %, e, até 2020, estima-se que seja em torno de 33% provenientes do gás.

Segundo dados coletados da consultoria IHS (2014), o setor deve contribuir da seguinte forma para economia do país no período de 2015 a 2035:

- A geração de 3,9 milhões de empregos na cadeia produtiva de petróleo e gás. Atualmente setor emprega diretamente mais de 2 milhões de pessoas;
- Redução no custo dos transportes;
- Aumento do PIB em torno de 2 a 3,2% ao ano traduzindo-se em US\$ 500-600 bilhões para economia dos EUA, neste mesmo período;
- Aumento da renda familiar de US \$ 2.000 em 2015 para US \$ 3.500 até 2025;
- Redução média de 10% no custo da eletricidade em todo o país;
- Receitas anuais para o governo da ordem de US \$ 250 milhões.

E, para esse mesmo período, o setor de petróleo e gás não convencional deve gerar um total de aproximadamente US\$ 2,5 trilhões em receitas fiscais.

O Quadro 1 mostra o número de empregos diretos e indiretos do setor de petróleo e gás não

convencionais de 2012 a 2035. Na projeção para 2035, para o número total de empregos é previsto o dobro de 2012.

Quadro 1 - Geração de empregos no setor de petróleo e gás não convencional

Nº de Trabalhadores por setor	2012	2020	2035
Petróleo não convencional	845.929	1.345,987	1.390,157
Gás não convencional	902.675	1.639,181	2.208,481
Total de trabalhadores	1.748,604	2.985,168	3.498,678

Fonte: IHS (2014).

Externalidades Econômicas Negativas

A formação geológica denominada Marcellus é atualmente uma das áreas mais promissoras de exploração. Possui 246.000 km², com reservas tecnicamente recuperáveis de 10,5 trilhões de m³ e se estende pelos estados de Nova York, Pensilvânia, Maryland, Ohio e a parte ocidental da Virgínia (UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015).

A exploração das reservas de *shale gas & oil* está trazendo evidentes benefícios para economia dos EUA. Há uma série de estudos de conceituadas empresas privadas e órgãos governamentais demonstrando esses ganhos econômicos. Porém, pouco tem se divulgado as externalidades negativas econômicas e as perdas geradas na exploração desses recursos. Parte expressiva das formações de *shale gas & oil* encontra-se em áreas rurais, em terras agrícolas, e o desenvolvimento desses recursos está trazendo mudanças significativas para a agricultura dessas regiões, competindo com a produção de alimentos. Alguns proprietários de terras produtivas estão mudando sua fonte de renda, deixando de produzir produtos agrícolas e alimento, para tornarem-se rentistas de suas fazendas, arrendando para operadores de *shale gas & oil*. Muitos fazendeiros estão recebendo vultosos pagamentos de arrendamento e royalties. A alguns ainda permaneceram com os negócios e fizeram novos investimentos, porém, a maior parte optou em deixar a agricultura e viver da locação de suas terras. Outra preocupação é que muitos jovens estão deixando as fazendas e as atividades agrícolas para trabalhar na indústria do gás por ser mais rentável (PENN STATE EXTENSION, 2013).

A organização internacional (THE NATURE CONSERVANCY, 2010) estimou que, no estado da Pensilvânia, as consequentes perdas do ecossistema, tais como: serviços de prestação de beleza cênica, oportunidades de lazer, habitat dos animais selvagens, purificação do ar e da água, vêm gerando prejuízos para o estado da ordem de US\$ 27 milhões por ano com a exploração do *shale gas & oil*.

O relatório apresentado pelo Departamento de Estado da Agricultura da Pensilvânia (2015) mostra as mudanças transformadoras na economia local. O estudo aponta para o aumento significativo na produção de gás, sendo que o estado passou de 12º produtor do país para 3º no período de 2008 a 2015. Em 2008, 3 % da eletricidade era proveniente do gás e, em 2015, saltou para 38%. Nesse mesmo período, foram perfurados 7.200 poços. O relatório prevê que podem chegar a 30.000 poços nos próximos 15 anos, intensificando a exploração em áreas antes destinadas à produção de alimentos (NATURAL GAS RESOURCE CENTER, 2015).

A Pensilvânia tem aproximadamente cerca de 46% a 62 % das áreas de exploração do *shale gas & oil* em terras agrícolas, e entre 647 a 1078 hectares poderão ser convertidos em áreas operacionais. O estado tem uma produção agrícola importante para o país, sendo o 3º maior produtor de agricultura biológica. O desenvolvimento da indústria do gás pode comprometer as certificações da produção orgânica e reduzir as áreas de plantio (THOMPSON; COLLINS, 2012).

A produção leiteira é importante para economia da Pensilvânia, representando 33% do faturamento do setor agrícola. De 2007 a 2010, houve declínio no número de vacas leiteiras e redução da produção de produtos de laticínios da ordem de 18,7% nas áreas próximas de exploração

de óleo e gás não convencional. Em condados sem áreas de exploração, houve declínio de apenas 1,2%. Segundo Kelsey (2012), economista agrícola que elaborou estudo que demonstra evidências da relação da diminuição da produção leiteira com áreas de exploração do *shale gas* & oil, opiniões contrárias de especialistas no ramo de laticínios alegam que a queda da produção está relacionada com os baixos valores dos produtos, sem nenhuma relação com a exploração do gás (KELSEY et al, 2012).

No condado de Bradford County, que possui aproximadamente 2000 poços perfurados, houve um aumento de criminalidade da ordem de 40% e os aluguéis e preços de alimentos dispararam, houve aumento de ocorrências na área da saúde e registros de desvalorização de propriedades da ordem de 90%, após o início das operações de exploração do *shale gas* & oil (KELSEY et al, 2012).

Estudo elaborado pela University Pittsburg (THOMPSON; COLLINS, 2012) fez uma comparação de vários indicadores econômicos tais como: geração de renda, aumentos de postos de trabalhos e aumento da arrecadação. A análise demonstrou que condados produtores de gás não estão melhores em termos econômicos do que os não produtores. Há indicativos de que a exploração do gás pode causar efeitos adversos nas áreas econômicas e ambientais, podendo prejudicar outros setores, como o turismo, de esporte ao ar livre e a agricultura orgânica, entre outros setores que contribuem com maior geração de mão de obra e arrecadação de impostos.

Segundo Krueger, o setor de petróleo e gás possui um conjunto de benefícios fiscais (subsídios), precisa de maciço investimento para o desenvolvimento e gera pouca mão de obra. A redução dos subsídios alocaria recursos de forma mais eficiente em setores menos intensivos de capital e de maior geração de empregos trazendo benefícios importantes para economia do país (KRUEGER, 2009).

O desenvolvimento e a exploração das reservas de *Shale gas* & oil estão promovendo um círculo econômico virtuoso, atraindo investimentos para os setores produtivos. Mas, como se verificou, a exploração traz externalidades econômicas e ambientais negativas pouco divulgadas, que devem ser mais bem pesquisadas, com o intuito de formar embasamento teórico para a tomada de decisões assertivas em caso de exploração dos recursos.

Revolução do *Shale Gas* & Oil

Entre as importantes inovações na área de energia no século 21, está o desenvolvimento dos chamados hidrocarbonetos não convencionais petróleo e gás. Devido a sua abundância espalhada por várias regiões do mundo, vem atraindo atenção de vários países possuidores desses recursos. Além disso, o aumento da demanda mundial por energia é outro indicador importante que demonstra o interesse mundial por esses energéticos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011).

A revolução dos não convencionais, como vem sendo chamada, não aconteceu de forma rápida. A tecnologia de fraturamento hidráulico combinada com a perfuração horizontal foram sendo aperfeiçoadas, possibilitando o aumento de produção até a escala comercial, resultando em redução de custos operacionais e de preços para os consumidores finais (YERGIN, 2014).

Na primeira década dos anos 2000, os Estados Unidos passaram a presenciar um aumento inesperado na produção de *Shale gas*. Entre 2005 e 2012, a produção anual de gás cresceu vertiginosamente e, em 2012, alcançou recorde histórico de produção com 590 bilhões de m³ (UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015).

Em 2010, 23% da produção interna do país de gás natural eram provenientes das reservas de *shale gás*, em 2035 representará 49% da produção total nos Estados Unidos. Com a produção crescente é possível haver excedente no mercado interno, gerando condições para exportação de gás natural liquefeito (GNL) (UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2012).

Pesquisadores da área não concordam com prognósticos promissores e sugerem que as previsões de produção podem estar excessivamente otimistas e baseadas em fundamentações pouco confiáveis. Há questionamentos sobre o real potencial de produção de petróleo e gás não convencionais, sugerindo que poderia ser apenas uma bolha temporária ou um evento capaz de alterar o cenário do país e do mundo (MAUGERI, 2013).

Segundo Patzek da University of Texas (UT), a United States Energy Information

Administration, que elaborou estudo de avaliação das reservas nos EUA, tem pessoal pouco especializado e o orçamento limitado, fatos que influenciam na qualidade dos dados coletados. A metodologia que foi usada foi a média estatística de produção dos poços, o que pode aumentar a margem devido às características peculiares de cada poço. O estudo elaborado pela University of Texas usou modelagem física de cada poço, gerando dados mais precisos e detalhados do que a metodologia adotada pela agência de energia estadunidense. A Agência Nacional do Petróleo (ANP), brasileira, enquadra-se segundo análise não detalhada, em condições parecidas a agência estadunidense de energia descrita por Patzek, podendo possivelmente haver distorções nas avaliações das reservas brasileiras.

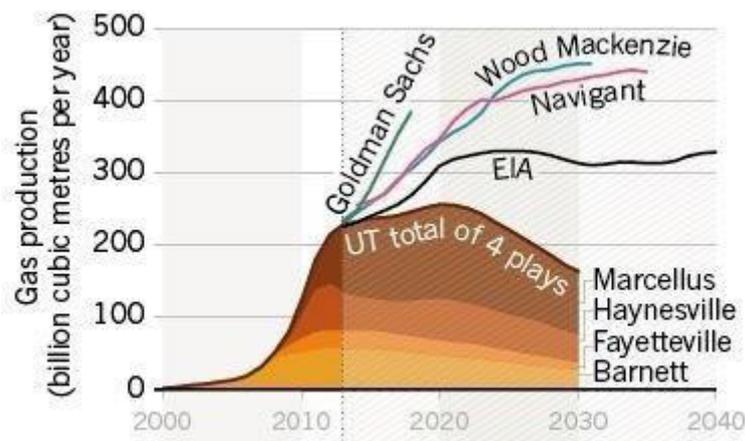
Para Patzek, enquanto a agência de energia dos EUA estuda a produção dos poços em uma área de 1.000 Km², que pode ter milhares de poços perfurados, a equipe da University of Texas analisou áreas de menores de 2,6 Km², com menor número de poços, o que define melhor a produção e gera uma qualidade de dados muito superior, com maiores chances de acerto nas estimativas. Cada poço tem suas características, sendo uns mais produtivos e outros menos. A produção, portanto, não é uniforme. Quando se avaliam grandes áreas de exploração, são geradas informações generalizadas. Na metodologia de grandes áreas conclui-se que, se um poço for produtivo na mesma área, todos os outros poderão ser considerados produtivos, o que induz a resultados otimistas (UNIVERSITY OF TEXAS, 2014).

Patzek faz uma observação: enquanto nós estamos olhando os poços através de um telescópio, a agência estadunidense de energia está olhando a olho nu. Outra informação importante que diferencia os estudos é que a University of Texas exclui as áreas onde a exploração seria de difícil acesso, como lagos ou regiões urbanas com grandes populações. Essa informação não aparece, por sua vez, no estudo da agência de energia dos EUA, criando dúvidas sobre se essas áreas foram avaliadas como possíveis áreas de exploração, aumentando potencialmente suas reservas (UNIVERSITY OF TEXAS, 2014).

Segundo INMAN (2014), declarações dos pesquisadores da United States Energy Information Administration, afirmam que os dados coletos pela University of Texas são mais apurados e a metodologia usada mais rigorosa, o que gera dados mais precisos, comparando com os dados coletados da agência de energia estadunidense.

A Figura 3 mostra as diferentes previsões de produção feitas por 3 consultorias privadas e um órgão governamental, a United States Energy Information Administration (EIA, na sigla em inglês) e uma universidade, a University of Texas (UT), sobre 4 formações produtoras nos EUA em bilhões de metros cúbicos por dia (Bcm/d) no período do ano de 2000 até 2030.

Figura 3 - Previsões da produção de *shale gas*



Fonte: Inman (2014)

A Figura 3 mostra quatro importantes formações produtoras de *shale gas* & *oil* que são Marcellus, com reservas de 10,5 trilhões de m³; Haynesville, com 4,5 trilhões de m³; Fayetteville,

com 1,3 trilhões de m³ e Barnett, com 2 trilhões de m³ de *shale gas & oil* (UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015).

A Goldman Sachs faz estudo da produção de *shale* crescente, porém limita-se a um curto espaço de tempo, com previsão de crescimento pujante até próximo o ano de 2018, com produção estimada de 380 bilhões de metros cúbicos por dia. Os estudos Wood Mackenzie e a Navigant são otimistas, mostrando produção crescente a partir de 2005, até adiante do ano de 2030, quando há possível estabilização da produção em torno de 450 bilhões de metros cúbicos por ano. A Agência de Energia dos Estados Unidos (EIA), que é um órgão governamental, mostra uma produção estimada de 320 bilhões de metros cúbicos por dia menor que as outras consultorias, mais otimista e crescente até por volta de 2025, quando a produção se estabiliza (platô) e há um modesto declínio por volta de 2030, com pouca oscilação até 2040.

A University of Texas mostra um resultado mais comedido, com um período crescente de produção até 2020, estimado em 250 bilhões de metros cúbicos por ano, entrando em um estágio de estabilização, passando rapidamente para o período de declínio de produção a partir de 2025.

Segundo Berman, há outro fator importante que gera incerteza e deve ser analisado para expansão contínua da produção do *shale gas & oil*. A superprodução resultou em baixos preços de comercialização do gás e não paga os custos de produção, fazendo com que operadores trabalhem com prejuízo. Há necessidade de elevação no preço de venda para equilíbrio financeiro dos operadores a fim de darem continuidade na manutenção e aumento da produção (BERMAN, 2016).

A taxa de declínio é outro fator preocupante, pois a produção dos poços se esgota rapidamente, havendo necessidade de perfuração de número cada vez maior de poços para manter o mesmo nível de produção. Os poços têm características diferentes, o que gera dúvidas nos custos, ficando difícil de avaliar rentabilidade, aumentando as incertezas da sua viabilidade econômica. O setor financeiro com as baixas taxas de juros e a oferta de hedge e o mercado de comercialização a vista (spot) é estão equalizando as finanças dos operadores de *shale gas & oil* nos Estados Unidos (BERMAN; PITTINGER, 2011).

A crescente preocupação com as consequências ambientais negativas da exploração e a oposição das comunidades locais e ONGs com a Lei de Energia de 2005, que excluiu explicitamente a técnica de fraturamento hidráulico da Lei da Água Limpa e da fiscalização da Agência de Proteção Ambiental (EPA), vem colocando parte das sociedades próximas às áreas operacionais contra o desenvolvimento do *shale gas & oil*, pressionando os governantes a decretar moratória, proibindo a produção. Tais fatos possivelmente resultarão na elevação dos custos de produção (BERMAN; PITTINGER, 2011).

O desenvolvimento tecnológico e o ganho de conhecimento com a exploração de diferentes formações geológicas de *shale gas & oil* tornaram as práticas de perfuração mais econômicas e eficientes com redução dos impactos ambientais. A produção continua crescendo rapidamente sendo que o número de sondas de gás em operação em 2011 foi a metade daquelas usadas no pico da exploração em 2008. O aumento da produção com menor número de equipamentos leva a concluir que a taxa de declínio e a eficiência na produção de petróleo e gás não convencional está melhorando significativamente em função do desenvolvimento tecnológico (BERMAN; PITTINGER, 2011).

A diminuição no tempo de perfuração é outro fator que vem colaborando para a redução dos custos na exploração. O aperfeiçoamento tecnológico reduziu o prazo de 30 dias para colocar um poço em operação para cerca de 10 dias, isso significa que é necessário um menor número de equipamentos e que se pode perfurar maior quantidade de poços, tornando o desenvolvimento mais rentável (BERMAN; PITTINGER, 2011).

Outro fator importante que vem colaborando para o aumento da rentabilidade dos operadores é que muitos poços produzem líquidos associados que são mais valiosos que o gás para indústria petroquímica. Isso significa que os poços estão produzindo produtos que reduzem o custo, agregando valor e aumentando a rentabilidade (EPRINC, 2011).

Alguns aspectos importantes devem ser analisados minuciosamente na tão propagada “Revolução do *Shale gas & oil*”. É fato que os operadores tornaram a exploração economicamente viável, atingindo a escala comercial. A partir de 2005, a produção vem crescendo substancialmente,

beneficiando a indústria do petróleo e gás e a economia dos EUA. Porém, a expansão e a manutenção dos volumes futuros a serem extraídos sugerem uma avaliação cautelosa. O desenvolvimento da exploração implica aumento das perfurações de poços, induzindo o aumento dos impactos ambientais. Isso pode reduzir a aceitação pelos habitantes do entorno das áreas operacionais, podendo haver movimentos populares como já vem acontecendo contra a exploração, tendo como consequência a possível elevação dos custos de extração, inviabilizando os projetos de expansão. Como pode se verificar, há uma série de desafios a serem enfrentados desde as duvidosas estimativas das reservas, às importantes questões socioambientais, trazendo incerteza para o futuro desenvolvimento dessas reservas.

Riscos Ambientais

Uso Intensivo da Água

As atividades de extração de *shale gas* & *Oil* são crescentes nos EUA e vêm causando preocupações na sociedade acadêmica e da população em geral com os possíveis impactos ambientais, causando divergências nas argumentações a favor e contra ao desenvolvimento desse energético. Os defensores argumentam que é uma energia com baixa emissão de gás carbônico, colaborando para a redução dos gases de efeito estufa, e que faz uso moderado de água em relação a outros energéticos reduzindo os impactos relacionados ao uso de água, bem como colabora para o desenvolvimento econômico que é uma meta dos EUA. Por outro lado, organizações ambientais alegam que a exploração emite expressivas quantidades de poluentes atmosféricos, faz uso de grandes áreas de superfície, desmatando e contaminando o solo, usa uma quantidade significativa de água, competindo com áreas essenciais para a vida humana.

Além disso, argumentam que impacta negativamente as fontes de águas doces, lagos e rios no entorno das áreas operacionais trazendo riscos importantes para a saúde pública e meio ambiente, sendo que os benefícios da exploração não compensariam os prejuízos ambientais causados no processo (BENG ONG, 2014).

A água está se tornando cada vez mais importante em vários aspectos da produção de energia. O uso da água e da energia são dois itens primordiais na sociedade moderna e estão intimamente ligadas. Ambas são indústrias energo intensivas, como por exemplo, na geração de energia e no tratamento de águas (MIELKE; ANADON; NARAYANAMURTI, 2010). Na Figura 4, pode-se observar o uso da água por categoria nos EUA.

Figura 4 - Uso da água em porcentagem por categoria nos EUA



Fonte: FRACFOCUS ORG (2017).

Comparando a intensidade do uso da água na produção da maioria de outros combustíveis fósseis, como a mineração do carvão, por exemplo, que usa em média 120 L a 140 L/MmBtu, a

produção de não convencionais como *Shale gas & oil* é menos intensiva, usando 20 L a 40 L / MMBtu de água. Portanto, a produção de não convencional usa menor quantidade de água por quantidade de energia gerada (SCALON; REEDY; NICOT, 2014).

Cada área de exploração tem uma geologia única e a quantidade de água requerida depende de vários fatores tais como: a quantidade de gás ou óleo recuperável, o número de vezes que o fluido de fraturamento é injetado. É importante destacar que o volume de água necessária no poço vem diminuindo à medida que tecnologias e métodos vêm se aperfeiçoando ao longo do tempo (KUWAYAMA; KRUPNICK; OLMSTEAD, 2013).

A água utilizada no processo de fraturamento hidráulico é basicamente usada para transportar um fluido composto de água, areia e produtos químicos para fraturar hidráulicamente as camadas de rochas liberando o petróleo e gás não convencionais que estavam presos. É fundamental que a água esteja disponível em grandes quantidades porque o processo de perfuração e fraturamento usam em média de 15.000 m³ a 25.000 m³ (1m³=1.000L). A água precisa ser de boa qualidade, porque as impurezas podem reduzir a eficiência do processo. A captação de água é feita através de fonte superficial como lagos, rios e suprimentos locais podendo ser captadas águas subterrâneas (FRACFOCUS ORG, 2017).

No Quadro 2, é possível observar os volumes médios usados de água em m³, para perfuração e fraturamento hidráulico de poços nas principais bacias dos EUA.

Quadro 2 - Volumes médios usados de água

Reservatórios de Shale gas	Vol. Médio de Água potável para perfuração.	Vol. Médio de Água potável para fraturamento.
Barnett	900 m ³	16.560 m ³
Eagle Ford	450 m ³	18.000 m ³
Haynesville	2160 m ³	18.000 m ³
Marcellus	306 m ³	20.160 m ³
Niobrara	1080 m ³	10.800 m ³
Horn River (Apache)	900 m ³	insignificante

Fonte: King (2011)

A organização global de pesquisa do meio ambiente, a World Resources Institute, desenvolveu uma tabela de classificação de estresse em porcentagem para medir a intensidade do uso das águas superficiais e subterrâneas alocadas para uso domésticos, industriais e agrícolas. A escassez é definida como a demanda de água excedendo o abastecimento de água. O estresse com uso das águas tende a ser maior em regiões de alta densidade populacional ou de desenvolvimento agrícola intenso (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2013).

O Quadro 3, identifica o nível de estresse hídrico através de porcentagem do uso das águas superficiais e subterrâneas do município.

Quadro 3 - Classificação do estresse hídrico em % de uso

<10%	Baixo Nível de Estresse.
10 – 20%	Baixo para Médio Nível de Estresse.
20 – 40%	Médio para Alto Nível de Estresse.
40 – 80%	Alto Nível de Estresse.
> 80%	Extremamente Alto Nível de Estresse.

Fonte: World Resources Institute (2013)

Segundo estudo realizado pela IHS (2014), de 2011 a 2013, 50 % dos 39 mil poços de petróleo e gás que foram fraturados hidráulicamente nos EUA consumiram 380 bilhões de litros de água, sendo que encontravam-se em regiões onde faziam uso de mais de 80% das águas superficiais e subterrâneas, portanto consideradas áreas áridas ou semiáridas com estresse extremamente elevado, aumentando potencialmente os riscos de escassez de água no longo prazo para as comunidades agrícolas e empresas locais. Em muitos municípios dos EUA, o uso de água para a operação de fraturamento hidráulico ultrapassa a quantidade de água utilizada para o uso residencial, destacando que, muitas dessas áreas, estão em regiões consideradas com estresse hídrico alto ou extremamente alto, colocando em risco o abastecimento da população (FREYMAN, 2014).

Segundo estimativas da agência reguladora de petróleo e gás do Estado do Texas, a Water Use in Association with Oil and Gas Activities, o estado produziu em 2011, 441 milhões de barris de petróleo não convencional e gastou cerca de 632 milhões de barris de água, com a operação de fraturamento hidráulico (GALBRAITH, K, 2013).

Embora o uso da água para exploração de *shale gas & oil* não seja em quantidades expressivas, se comparado com a exploração de outros combustíveis fósseis, há preocupações com o líquido de fraturamento hidráulico, que é carregado de produtos químicos que podem ocasionar danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Riscos do Fraturamento Hidráulico

A água que é misturada aos produtos químicos tóxicos usados no fraturamento hidráulico é motivo de preocupação, e pode causar possíveis danos aos lençóis freáticos e curso de água local. Há potencial risco de contaminação de água potável devido às infiltrações do líquido em poços de água próximos à exploração. Estudo elaborado pela (COMMUNITY SCIENCE INSTITUTE, 2007), investigou 200 poços de água potável no entorno de áreas operacionais. A análise demonstra que apesar de não haver estudos sistêmicos para fazer comparação, há elementos substanciais que evidenciam a existência de 1 a 5% de probabilidade de poços serem contaminados. O nível de metano da água dos poços nas áreas próximas a 1 km da produção de gás é dezessete vezes maior do que de poços distantes mais de 1 Km da área de produção (OSBORN et al, 2011).

Devido às grandes pressões em que o líquido de fraturamento é bombeado para dentro do subsolo, pode causar rachaduras nas rochas, induzindo a migração do líquido ou mesmo vazamento nas junções defeituosas das tubulações, como também na cimentação precária, afetando a integridade do poço, provocando contaminações do solo e das águas subterrâneas (MIT, 2014). Poços de exploração *shale gas & oil*, encontram-se entre 2.500 e 4.000 metros de profundidade, já os aquíferos são encontrados entre 10 a 300 metros de profundidade tendo poucos riscos de contaminação devido à distância que separa a reserva de gás do aquífero (MIT, 2014). Segundo Jackson, muitos estados dos Estados Unidos não possuem legislação regulamentando a profundidade mínima para realizar a operação de fraturamento hidráulico. Muitos poços estão sendo fraturado em profundidades rasas com menos de 1.000 m abaixo da superfície trazendo riscos eminentes de contaminação dos aquíferos (JACKSON et al, 2011).

No Quadro 4, pode-se verificar as bacias prolíferas de *shale* nos EUA e as profundidades das reservas de gás e dos aquíferos em metros.

Quadro 4 - Profundidade das reservas de *shale* e dos aquíferos.

Bacia	Profundidade do <i>Shale</i> (m)	Profundidade do Aquífero(m)
Barnett	2.000 – 2,600	400
Fayetteville	305 – 2.134	154
Marcellus	1.220 – 2.590	259
Woodford	1.830 – 3550	122
Haynesville	3.200 – 4115	122

Fonte: MIT, 2014

De 2005 a 2009, foram documentados 43 incidentes envolvendo a operação de perfuração de poços nos EUA. Ressalta-se que 20 desses incidentes estavam relacionados com contaminação de aquíferos por gás natural (MIT, 2014). A maioria dos casos de contaminação era proveniente de poços mal construídos. Há evidências de que a operação de cimentação, que é feita para evitar vazamento na tubulação, estava sendo realizada de forma precária, atingindo a integridade do poço. Conforme Jackson, o gás metano não é regulamentado na água potável porque não é conhecido por afetar a potabilidade, a cor, gosto ou odor. O metano, no entanto, é liberado a partir da água para a atmosfera, onde pode provocar explosões, fogo, asfixia, e outros problemas de saúde e de segurança (JACKSON et al 2011).

No processo de exploração das reservas de *shale gas & oil*, existe uma ampla preocupação das pessoas que habitam o entorno das áreas operacionais com a gestão das águas residuais, especialmente no tratamento e eliminação adequada dos líquidos residuais do fraturamento hidráulico, que retornam para a superfície em forma de refluxo, sendo potencialmente tóxicos (JACKSON et al, 2011).

O Quadro 5 mostra os principais produtos e a porcentagem utilizada no líquido de fraturamento hidráulico antes de haver o refluxo para a superfície, sendo que pode haver variações na formação e porcentagem usada. A composição do líquido depende das condições geológicas dos poços.

Quadro 5 - Composição do líquido de Fraturamento Hidráulico

Tipo de Aditivo	Vol. Em %	Principais Componentes	Utilização
Água	90%	----- -----	Expande a fratura e transporta os componentes
Propante	8,95% - 13%	Sílica ou Areia	Permite que a Fratura permaneça aberta para que o gás possa escapar
Sufactante	0,08%	Isopropanol	Aumenta a viscosidade do fluido de fraturamento.
KCL	0,05%	Cloreto de potássio	Cria um fluido transportador de salmoura.
Agente Gelificante	0,05%	Goma Hidroximetil Celulose	Serve para manter o propante em suspensão.
Inibidor de Escala	0,04%	Etilenoglicol	Previne depósitos de incrustações no tubo.

Agente de ajuste de pH	0,01%	Carbonato de sódio ou potássio	Mantém a eficácia de outros componentes.
Breaker	0,009%	Perfusulfato de Amônia	Retarda a quebra da cadeia de polímeros de gel.
Crosslinker	0,006%	Sais de Borato	Mantém a viscosidade do fluido à medida que a temperatura aumenta.
Controle de Ferro	0,004%	Ácido Cítrico	Evita a oxidação do metal.
Inibidor de Corrosão	0,001%	N, n Demetilformamida	Evitar corrosão na tubulação.
Biocida	0,001%	Glutaraldeído	Elimina bactérias da água que produzem subprodutos corrosivos.
Ácido diluído	15%	Ácido clorídrico ou muriático	Ajuda a dissolver minerais e iniciar rachaduras na rocha.
Redutor de atrito	0,08%	Poliacrilamida, Óleo mineral	Reduz o atrito entre o fluido e a tubo.

Fonte: United States Energy Information Administration (2013)

Os produtos químicos são componentes importantes na composição do líquido de fraturamento hidráulico. Um estudo realizado por Colborn (2011) demonstra que mais de 75% dos produtos químicos utilizados são agressivos ao meio ambiente e podem afetar a pele, olhos e outros órgãos sensoriais, sistema respiratório e gastrointestinal; Entre 40% a 50% podem afetar o sistema cerebral nervoso, sistema imunológico e cardiovascular e os rins; 37% podem afetar o sistema endócrino; e 25% poderiam causar câncer e mutações. Esses resultados indicam que os produtos químicos utilizados durante os procedimentos operacionais da fratura e perfuração dos poços podem ter efeitos na saúde dos operadores e habitantes dos locais próximos às áreas operacionais (COLBORN et al, 2011).

Estima-se que aproximadamente 25% a 50% da água utilizada durante o processo retorna à superfície como líquido residual, contendo toxinas e metais pesados como, por exemplo, chumbo, arsênico, materiais radioativos naturais como o gás rádio, urânio, cromo, brometo e cloreto (salmoura). O líquido é recolhido para ser tratado em instalação antes do descarte. Muitas vezes, esses líquidos ficam em represamentos (lago de decantação) a céu aberto, sujeitos às intempéries e à evaporação de gases potencialmente tóxicos, por algum tempo antes de ser recolhido e transportado para reciclagem ou tratados. Há casos documentados de vazamentos que contaminaram o solo e recurso hídricos causando a mortandade de peixe e animais (PENNSYLVANIA, 2010).

Outro aspecto relevante é a possibilidade do líquido de fraturamento migrar para a superfície, infiltrando-se nos aquíferos. Porém, não há provas evidentes que tal evento possa acontecer. No entanto, observa-se que os estudos sobre os efeitos na saúde das famílias que fazem uso da água de poços próximos de áreas de exploração são limitados, sendo recomendada uma revisão dos estudos para avaliar efetivamente os efeitos do metano na água (JACKSON et al, 2011).

As emissões de poluentes atmosféricos em locais de atividades de exploração são de difícil detecção e mensuração, acarretando significativas preocupações com a saúde pública. Estudos registraram próximos aos poços, a presença de vários poluentes danosos para o meio ambiente e para a saúde humana, indicando a possibilidade de haver emissões de poluentes não contabilizados (furtivos). Emissões furtivas de metano são particularmente preocupantes para a saúde pública, por ser um gás poderoso causador da destruição da camada de Ozônio (OSBORN et al, 2011).

Estudo elaborado na Cornell University descobriu que poços de petróleo e gás que usam técnica de fratura hidráulica e perfuração direcionais para explorar são mais propensos a vazarem gases e líquidos do que poços antigos que utilizavam tecnologias ultrapassadas. Vazamentos provenientes

de defeitos na estrutura do poço projetam óleo e gás para dentro da terra por quilômetros, ocasionando contaminação de águas subterrâneas e da atmosfera (MAGILL; INGRAFFEA, 2014).

A pesquisadora McKenzie centraliza sua pesquisa no risco para a saúde das emissões atmosféricas provenientes de poços no Colorado (EUA). O estudo detectou que os riscos de câncer e outras doenças em áreas inferiores a 1,6 Km de distância do poço são de 10 casos em um milhão, e de 6 casos em um milhão para as residências com distância superior a 1,6 Km de um poço. O benzeno foi o principal produto químico que contribuiu para o risco. Esses resultados indicam que os efeitos das emissões atmosféricas provenientes das áreas operacionais na saúde pública justificam a elaboração de estudos adicionais (MACKENZIE et al, 2012).

Os trabalhadores das áreas próximas às válvulas da cabeça do poço estão expostos a níveis elevados de substâncias inerentemente tóxicas e compostos orgânicos voláteis (COVs), incluindo a poeira de sílica, que, liberada em grandes nuvens, é causadora de várias doenças pulmonares e autoimunes, como a silicose, que se configura progressiva e incapacitante. Estudo mostra que máscaras não retêm a poeira adequadamente, não oferecendo, portanto, proteção suficiente aos trabalhadores das áreas operacionais (WITTER et al, 2014).

Segundo Steingraber (2014), o custo anual do governo dos EUA com asma infantil foi de US \$ 18 bilhões de dólares em 2014. A asma é a principal causa de absenteísmo escolar e cada criança com asma incorre em milhares de dólares de custos médicos diretos e indiretos por ano. Há registro de maior incidência de caso de asma nas áreas próximas à exploração de *shale gas & oil*.

Foi realizada uma pesquisa pelo Departamento de Ciências da Saúde Pública na University of Rochester, utilizando método quase experimental, para estudar os impactos na saúde infantil nas áreas próximas à exploração nos EUA. O estudo demonstra que há uma maior propensão para nascimentos prematuros, com peso reduzido, problema respiratório, anomalia congênita e mortalidade infantil. Esses fatos resultam em significativa preocupação com a pouca distância entre as áreas operacionais e as escolas e hospitais, alertando para que órgãos ambientais regularizem distâncias mínimas com o intuito de melhorar as condições ambientais e, conseqüentemente, de saúde pública (HILL, 2014).

Embora existam poucos relatos e estudos sobre mortes de animais e contaminação de áreas agrícolas próximas às áreas operacionais, esse assunto não pode ser ignorado. Animais selvagens podem servir como sensores ambientais e muitos dos domésticos fazem parte da cadeia alimentar do ser humano, o que causa significativa preocupação com a ingestão de carne ou produtos agrícolas contaminados (BAMBERGER; OSWALD, 2012).

Pesquisa realizada pela American Lung Association conclui que a qualidade do ar em áreas rurais com fraturamento hidráulico é pior do que nas zonas urbanas e podem causar dores de cabeça, queimação no nariz, garganta e olhos, podendo causar vômitos, e diarreias (STATE OF AIR, 2014).

Desde 2009, com o crescimento do uso da tecnologia de fraturamento hidráulico para perfuração de poços de petróleo e gás não convencionais, nos estados de alta produção como o Texas e Oklahoma, vem sendo registrado um aumento de tremores de terra de baixa intensidade de magnitude entre 2,2 a 3,0 na escala Richter, sem registro de danos materiais, e risco para a segurança pública ou meio ambiente. Estudo realizado por pesquisadores da Cornell University (HOWARTH, 2015) concluiu que o problema dos terremotos não está relacionado ao processo de fraturamento, mas sim do armazenamento subterrâneo dos fluidos residuais que o processo produz. Segundo o estudo, há deslocamento subterrâneo dos fluidos residuais, criando uma onda de pressão, induzindo os tremores de terra. Isso mostra que os operadores estão descartando os fluidos residuais possivelmente sem tratamento, em poços sem atividades de exploração (KERANEN et al, 2013).

O ciclo produtivo de *shale gas & oil* faz uso intensivo de máquinas industriais, do sistema de transporte, infraestrutura e da construção civil, consome quantidades substanciais de energia, água e expressivo volume de areia. A areia é o segundo componente mais importante dentro da composição do líquido de fraturamento. Ela serve para manter as fissuras abertas após a operação de fratura da rocha criada pela água. Os grãos devem ser uniformes e capazes de suportar altas pressões em grandes profundidades para garantir o fluxo de gás para a superfície. Atualmente, representa entre 9% a 13% do total do líquido. Perfuradores estão aumentando a produtividade

dos poços de petróleo e gás não convencional adicionando mais areia ao líquido (COCKERHAN, 2014).

Um poço fraturado usa em média 10.000 toneladas de areia (SIDER, 2014), e segundo o sumário de commodities do United States Geological Survey (2015), foram produzidas 95 milhões de toneladas em 2015 e 110 milhões de toneladas em 2014, sendo que 78 milhões de toneladas, o que representa 71%, foram usados nas operações de fraturamento hidráulico e cimentação de poços de petróleo e gás não convencionais. Comparando-se a produção de 2015 com a de 2014, nota-se que houve um decréscimo de 14%, o que reflete a queda nas cotações internacionais de petróleo, tendo como consequência a diminuição de perfuração de poços e a redução da demanda de areia nas áreas operacionais.

A Figura 5, mostra o crescimento em toneladas do uso de areia nas operações de fraturamento hidráulico nos EUA.



Fonte: USGS (2011)

O crescimento vertiginoso da mineração de areia, para uso nas operações de fraturamento hidráulico e cimentação de poços petróleo de gás não convencional, adiciona novas preocupações na comunidade acadêmica e nas comunidades que habitam próximos a essas áreas operacionais de extração, com os possíveis impactos ambientais e problemas de saúde pública causados no processo.

Após o processo de extração, a areia precisa ser lavada para a separação das impurezas. Esse procedimento utiliza volumes de água significativos, entre 2 milhões a 8 milhões de litros por dia, retirado dos poços de água locais. Em muitos, casos essa quantidade de água supera o sistema de abastecimento de águas das localidades, onde estão instaladas as minas (ENVIROMENTAL WORKING GROUP, 2014).

O procedimento de lavagem faz uso de floculante, denominado poliacrilamida, que incentiva a aglomeração de impureza para a separação, esse produto químico é um conhecido cancerígeno que é misturado na água de lavagem, formando um líquido residual após a operação, que pode atingir os lençóis freáticos ou mesmo as água superficiais através de derramamentos ou infiltrações, que verte para a superfície das enormes pilhas de areia processada e pronta para serem transportadas (ENVIROMENTAL WORKING GROUP, 2014).

A qualidade do ar é outra preocupação importante. A exposição prolongada ao pó de sílica pode causar doenças pulmonares e doenças autoimunes. Nenhum estado onde há exploração de sílica adotou padrões de qualidade de ar, sendo que muitas áreas operacionais de extração de areia estão próximas de escolas e hospitais (ENVIROMENTAL WORKING GROUP, 2014). Não existe um padrão para a exposição do ar ambiente à sílica fora do local de trabalho (CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2011). Poucas pesquisas foram realizadas sobre a exposição da poeira de sílica em regiões próximas às áreas de mineração de areia, não tendo base científica para

relacionar efetivamente os riscos de saúde para os operários e habitantes locais. Porém, constata-se a necessidade de monitoramento do ar, estudos de saúde e adoção de padrões de qualidade do ar. (ENVIRONMENTAL WORKING GROUP, 2014).

Conclusão

O shale gas e shale oil vem tendo grande importância na matriz energética americana. A sua exploração faz com que os EUA fortaleça a sua segurança energética, reduzindo assim a dependência das importações, fazendo com que se tenha mais petróleo disponível no mercado, provocando a queda nos preços internacionais. Outra questão é até quando essa “revolução” irá continuar. A diferentes perspectivas para a sua duração, mostrando que essa oferta de energia possa ser por um período curto. Além das questões econômicas, as questões ambientais geram grandes preocupações principalmente ligada ao uso da água com produtos químicos que podem ocasionar contaminação tanto no solo, quanto nas fontes de água, como também o uso intensivo de areia que podem ocasionar grandes problemas a saúde.

Referências

AHMAD, N.; MATEEN, J.; SHEHZAD CH., K.; MEHMOOD, N.; ARIF, F. *Shale gas* potential of Lower Cretaceous Sembar formation in Middle and Lower Indus Basin, Pakistan. In:

ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 2011, ISLAMABAD, PAKISTAN. **Anais eletrônicos...** [s. l.]: AAPG, 2011. Disponível em: <http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/abstracts/pdf/2012/90138pag/abstracts/ndx_ahmad04.pdf.html>. Acesso em: 30 out. 2016

A. T. KEARNEY. **New A.T. Kearney Study on Shale gas Production in Europe**. 2013. Disponível em: <https://www.atkearney.ru/news-media/news-releases/-/asset_publisher/llbEGnVXt9Ry/content/id/1050056>. Acesso em: 08 out. 2016.

BAMBERGER, M.; OSWALD, R. Impacts of gas drilling on human and animal health. **New Solutions**, v. 22, n. 1, p. 51-77, 2012. Disponível em: <http://psehealthyenergy.org/data/Bamberger_Oswald_NS22_in_press.pdf>. Acesso em: 19 set. 2016.

BENG ONG. The potential impacts of hydraulic fracturing on agriculture. **European Journal of Sustainable Development**, v. 3, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://www.ecsdev.org/ojs/index.php/ejsd/article/view/138>>. Acesso em: 19 set. 2016.

BERMAN, A.E.; PITTINGER, L. F. U.S. Shale Gas: Less Abundance, Higher Cost. **The Oil Drum**, 05 ago. 2011. Disponível em: <<http://www.theoil Drum.com/node/8212>>. Acesso em: 11 dez. 2016

BOYER, C.; CLARK, B.; JOCHEN, V.; MILLER, R. L. C. K. *Shale gas*: A Global Resource. **Oilfield Review**, v. 23, n. 3, p. 28-39, 2011. Disponível em: <https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors11/aut11/03_shale_gas>. Acesso em: 29 out. 2016.

BP. **BP Energy Outlook: 2017 edition**. 2017. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Potential environmental considerations associated with shale gas**. 2016. Disponível em: <<http://www.bgs.ac.uk/research/energy/shaleGas/environmentalImpacts.html>>. Acesso em: 08 out. 2016.

COLBORN, T.; KWIATKOWSKI, C.; SCHULTZ, K.; BACHRAN, M. Natural gas operations from a public health perspective. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 17, n. 5, p. 1039-1056, 2011. Disponível em: <http://www.biologicaldiversity.org/campaigns/fracking/pdfs/Colborn_2011_

Natural_Gas_fr om_a_public_health_perspective.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2016.

COMMUNITY SCIENCE INSTITUTE. **Gas Well “Signature Chemicals”**. 2007. Disponível em: <<http://www.communityscience.org/gas-wells/>>. Acesso em: 15 Fev. 2015.

FRACFOCUS.ORG. **Hydraulic Fracturing Water Usage**. 2017. Disponível em: <<https://fracfocus.org/water-protection/hydraulic-fracturing-usage>> Acesso em: 20 maio 2017.

FREYMAN, M. **Hydraulic Fracturing & Water Stress: Water Demand by the Numbers**. Boston:Ceres, 2014. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/class_homepages/geog_4501_s14/ceres_frackwaterbynumbers_021014.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

FUSER, I. **Energia e relações internacionais**. São Paulo: Saraiva, 2013 (Relações Internacionais, v. 2).

GLOBAL ENERGY STATISTICAL YEARBOOK.**Total energy consumption**. 2015. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

HELMS, L **Horizontal Drilling**, 2008. Disponível em: <<http://www.offshorecenter.dk/log/bibliotek/Horizontal%20drilling.PDF>>. Acesso em 06 jul. 2016.

HILL, E. **Shale gas Development and Infant Health: Evidence from Pennsylvania**. 2014. Disponível em: <<http://www.damascuscitizensforsustainability.org/wp-content/uploads/2014/10/Shale-Gas-Development-and-Infant-Health-Elaine-Hill-Aug-2014.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

HOWARTH, Robert W. Methane emissions and climatic warming risk from hydraulic fracturing and shale gas development: implications for policy. **Energy and Emission Control Technologies**, v. 3, p. 45-54, 2015. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1b7e/c62e4ec5fc6ba88912a6169beb4a584f2959.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

HUGHES, D.; MILLER, A. 2015 *Shale gas* Reality Check. **Post Carbon Institute**, 22 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.postcarbon.org/shale-gas-reality-check/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

IHS. **America’s New Energy Future: The Unconventional Oil and Gas Revolution and the US Economy**, v. 1. [s.n.]:IHS, 2012. Disponível em: <http://www.energyxxi.org/sites/default/files/pdf/americas_new_energy_future-unconventional_oil_and_gas.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2011**. Paris: IEA, 2011. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2011_WEB.pdf>. Acesso em: 17 set. 2016.

JACKSON, J. B.; PEARSON, B. R.; OSBORN, S. G.; WARNER, N. R.; VENGOSH, A. **Research and Policy Recommendations for Hydraulic Fracturing and Shale gas Extraction**. Durham, NC:Duke University, 2011. Disponível em: <<https://nicholas.duke.edu/cgc/HydraulicFracturingWhitepaper2011.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

KELSEY, T. W.; SHIELDS, M.; LADLEE, J. R.; WARD, M. **Economic Impacts of Marcellus Shale in Bradford County: Employment and Income in 2010**. Pennsylvania:MSTEC, 2012. Disponível em: <<http://aese.psu.edu/research/centers/cecd/publications/marcellus/economic-impacts-of-marcellus-shale-in-bradford-county-employment-and-income-in-2010>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

KERANEN, K. M.; SAVAGE, H. M.; ABERS, G. A.; COCHRAN, E. S. Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence. **Geology**, v. 41, n. 6, p. 699-702, jun. 2013. Disponível em: <<http://geology.gsapubs.org/content/early/2013/03/26/G34045.1.abstract%22>>. Acesso em: 17

Jun 2017.

KLARE, M. Tomgram: Michael T. Klare, The Problem with Cheap Oil. **TomDispatch.com**, 8 jan. 2009. Disponível em: <http://www.tomdispatch.com/post/175018/michael_t_klare_the_problem_with_cheap_oil>. Acesso em: 04 mar. 2016.

KRUEGER, A. B. **Press Center**. U.S Departamento of the Treasury, 2009. Disponível em: <<https://www.treasury.gov/press-center/press-releases/Pages/tg284.aspx>>. Acesso em: 04 Mar. 2016.

LADISLAW, S. O.; LEED, M.; WALTON, M. A. **New Energy, New Geopolitics: Balancing Stability and Leverage**. Washington, DC:CSIS, 2014. Disponível em: <https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_files/files/publication/140409_Ladislaw_NewEnergyNewGeopolitics_WEB.pdf>. Acesso em: 21 set. 2015.

MAGILL, B. Fracked Oil, Gas Well Defects Leading to Methane Leaks. **Climate Central**, jul. 2014. Disponível em: <<http://www.climatecentral.org/news/shale-gas-well-defects-methane-leaks-17701>>. Acesso em: 13 Jul. 2016.

MAUGERI, L. **Oil: The Next Revolution: the unprecedented upsurge of oil production capacity and what it means for the world**. Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs, 2012. Disponível em: <<http://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Oil%20The%20Next%20Revolution.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.

MIT. **The future of natural gas**. 2014. Disponível em: <http://www.mit.edu/~jparsons/publications/NaturalGas_Report_Final.pdf>. Acesso em: 22 set.2016.

MACKENZIE, L. M.; WITTER, R. Z.; NEWMAN, L. S.; ADGATE, J. L. Human health risk assessment of air emissions from development of unconventional natural gas resources. **Science of The Total Environment**, v. 424, n. 1, pages 79-87, May 2012. Disponível em: <<http://www.bouldercounty.org/doc/landuse/mckenzie2012study.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.

MIELKE, E.; ANADON, L. D.; NARAYANAMURTI, V. **Water Consumption of Energy Resource Extraction, Processing, and Conversion**. Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs, 2010. Disponível em: <<http://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/ETIP-DP-2010-15-final-4.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2017.

NATURAL GAS RESOURCE CENTER. **"Profund" Impact of Shale Gas on Farming**. 2015. Disponível em: <<http://naturalgasresourcecenter.com/2015/12/profound-impact-of-shale-gas-on-farming/>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

OSBORN, S. G.; VENGOSH, A.; WARNER, N. R.; JACKSON, R. B. Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 20, p. 8172-8176, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3100993/>>. Acesso em: 16 fev. 2016

PARRY, I. W. H.; DARMSTADER, J. **The Costs of US Oil Dependency**. 2004. Disponível em: <http://bipartisanpolicy.org/wpcontent/uploads/sites/default/files/i.1.a_-_Cost_of_Oil_Dependency_44ce6838a8cd5.pdf>. Acesso em: 01 out. 2016.

PENNSYLVANIA. Department of Environmental Protection. **Pennsylvania hydraulic fracturing review**. 2010. Disponível em: <<http://www.bfenvironmental.com/pdfs/stronghydrofracturereport.pdf>>. Acesso em:15 fev. 2016.

PENN STATE EXTENSION. **Pennsylvania Dairy Farms and Marcellus Shale, 2007– 2010.** 2012. Disponível em: <http://extension.psu.edu/publications/ee0020/extension_publication_file>. Acesso em: 21 nov. 2016.

PETROLEUM ECONOMIST. 2013. Disponível em: <<http://www.petroleum-economist.com/>>. Acesso em: 04 out. 2016

REGISTER LARKIN SHALE REPORT. **Shale and the Middle East.** 2014. Disponível em:<https://www.registerlarkin.com/wp-content/uploads/RL_Shale_Report_February_20141.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SCALON, R. B.; REEDY, R. C.; NICOT, J. P. Comparison of Water Use for Hydraulic Fracturing for Unconventional Oil and Gas versus Conventional Oil. **Environmental Science Technology**, v. 48, n. 20, p. 12386-12393, 2014. Disponível em:<<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es502506v>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

SIDER, A. Demand for sand takes off thanks to fracking. **Wall Street Journal**, 4 ago. 2014. Business. Disponível em: <<https://www.wsj.com/articles/demand-for-sand-takes-off-thanks-to-fracking-1407193760>>. Acesso em: 18 Jun. 2017.

STEINGRABER, S. **Prepared Remarks for Cornell Forensic Society Debate on Fracking.** 2014. Disponível em: <<http://steingraber.com/prepared-remarks-for-cornell-forensic-society-debate-on-fracking/>>. Acesso em: 23 set. 2015.

THE NATURE CONSERVANCY. **Pennsylvania Energy Impacts Assessment: Report 1: Marcellus Shale Natural Gas and Wind.** 2010. Disponível em: <http://www.nature.org/media/pa/pa_energy_assessment_report.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

THOMPSON, G.; COLLINS, E. A. **Report on the potential impact to Pennsylvania farms of shale gas development and proposed solutions.** Pittsburg: University Pittsburg, 2012. Disponível em: <<https://blackberrymeadows.files.wordpress.com/2012/06/risk-to-farmers-who-frack.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Frac Sand in the United States: A Geological and Industry Overview.** Virginia: USGS, 2015. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/of/2015/1107/pdf/ofr20151107.pdf>> Acesso em: 19 jun. 2017

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Why is Shale gas Important?** Washington, DC: U. S. Department of Energy, 2013. Disponível em:<http://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/why_is_shale_gas_important.pdf> Acesso em: 12 nov. 2016.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2014. **International Energy Outlook** Washington DC: EIA, 2014. Disponível em: <[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2014\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2014).pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2017

WANG, Z.; KRUPNIC, A. A Retrospective Review of Shale Gas Development in the United States. What Led to the Boom? **Resources for the Future**, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.rff.org/research/publications/retrospective-review-shale-gas-development-united-states-what-led-boom>>. Acesso em: 24 set. 2016.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Global Shale Gas Development: Water Availability and Business Risks.** 2013. Disponível em:<http://www.wri.org/sites/default/files/wri14_report_shalegas.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2017.

YERGIN, D. **The prize**: the epic quest for oil, money & power. New York: Simon & Schuster, 2014.
Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt->

Recebido em 15 de maio de 2019.

Aceito em 16 de agosto de 2019.