

ARTIGO REF: 6992

PANORAMA DA EXPLORAÇÃO DE GÁS NATURAL NÃO CONVENCIONAL (*SHALE GAS*) NO MUNDO

Daniele Costa^{1,2 (*)}, Joaquim Góis^{1,2}, David Castelo Branco³, Anthony Danko^{1,2}, António Fiúza^{1,2}

¹Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Dep. de Engenharia de Minas, Porto, Portugal

²Centro de Recursos Naturais e Ambiente - CERENA

³Programa de Planeamento Energético (PPE/COPPE), Universidade Federal do RJ, Brasil

(*)*E-mail*: daniele.costa@fe.up.pt

RESUMO

O desenvolvimento da exploração de gás natural (GN) a partir de folhelho, ou shale gas, foi impulsionado, sobretudo, pelo avanço das técnicas de exploração, levando a uma importante substituição da tecnologia existente. Como consequência, o aumento da produção permitiu a diminuição da dependência energética dos Estados Unidos da América (EUA) assim como a redução do preço do GN, despertando o interesse mundial para a exploração deste recurso. Entretanto, devido aos impactos ambientais associados, a exploração de shale gas está fortemente condicionada ao ambiente regulatório e à política ambiental dos países que possuem reservas.

Este trabalho realiza uma breve revisão do processo de extração do shale gas, sendo também discutidos os principais impactos ambientais das etapas de produção. São ainda apresentadas as reservas mundiais de shale gas, o conceito de recursos não convencionais, além do panorama mundial da exploração deste recurso. Finalmente, são discutidas as perspectivas futuras para sua exploração, destacando dificuldades técnicas e aspectos económicos existentes para sua a viabilização da sua exploração.

INTRODUÇÃO

O gás natural (GN) é uma fonte de energia não renovável consumida como fonte de calor, combustível e eletricidade em muitos países e é considerado um combustível confiável, eficiente e limpo. O GN desempenha um papel importante no fornecimento mundial de energia: em 2012, representou 21% da demanda global de energia primária (IEA 2014). Para além disso, a *International Energy Agency Energy* (IEA), prevê um aumento de 63% na demanda mundial de GN entre 2008 e 2035 (IEA 2011). Nesse mesmo estudo, está também previsto que a participação do *shale gas* no total de GN produzido será de 11%, representando o maior aumento entre as categorias de produção ao longo dos anos.

Atualmente a produção de *shale gas* encontra-se principalmente concentrada nos Estados Unidos da América (EUA) e no Canadá. Contudo, prevê-se que até 2035 haverá um expressivo aumento da produção de GN através de fontes não convencionais em diferentes países (IEA 2011, EIA 2016b). Dada esta previsão de um maior número de iniciativas de exploração no mundo, diferentes estudos apontam para a necessidade de que se realizem mais avaliações dos riscos ambientais associados à exploração, sobretudo às etapas de perfuração e fratura hidráulica (ou fracturamento hidráulico) (Vengosh et al. 2013).

No entanto, atualmente, ainda são poucos os estudos que retratam os impactos socioambientais e os aspectos regulatórios da exploração do *shale gas*. Por este motivo, este

trabalho tem como objectivo apresentar brevemente a tecnologia de fratura hidráulica e os seus impactos ambientais. Além disso, o trabalho apresenta um panorama do estado atual da exploração mundial e discute as perspectivas futuras para a exploração deste recurso.

FRACTURA HIDRÁULICA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Os recursos "não convencionais" são assim denominados porque certos parâmetros, como a porosidade, permeabilidade, o mecanismo de retenção de fluidos, as características do reservatório ou da formação de rocha da qual o gás é extraído, diferem bastante do arenito convencional e dos reservatórios carbonáticos considerados tradicionais (Broomfield 2012). São recursos não convencionais o shale gas, o shale oil, o tight gas e o coalbed methane, entre outros. Além do shale gas, os EUA também exploram outros recursos não convencionais, como o tight gas e o coalbed methane.

O folhelho é a rocha sedimentar mais abundante no mundo e é encontrado em dois terços do registro estratigráfico (Trabucho-Alexandre 2015). Shale gas refere-se ao GN presente em depósitos de folhelhos, rochas ricas em matéria orgânica que possuem granulometria muito fina, baixa permeabilidade e são ricas em matéria orgânica (Rezaee & Rothwell 2015). Tanto o gás biogénico como o termogénico, estão presentes em duas componentes, adsorvidos no querogénio ou em partículas de argilas, ou presente como gás livre em poros e fraturas naturais. (Curtis 2002).

O desenvolvimento da exploração de gás não convencional, impulsionada, sobretudo, pelo avanço das técnicas de exploração do shale gas representou uma importante substituição tecnológica para a redução da dependência energética dos EUA. Este país, que nos anos 2000 era um grande importador de gás, deve tornar-se um exportador de GN até o ano de 2021; como resultado de uma combinação do aumento da demanda por gás natural liquefeito (GNL), do aumento da produção doméstica e aumento do custo do gás no exterior em relação ao doméstico (Blohm et al. 2012).

Um relatório norte americano, por sua vez, destaca que a produção de shale gas tornou-se economicamente viável devido a três fatores principais: (i) avanços na tecnologia de perfuração horizontal, (ii) os avanços na tecnologia de fratura hidráulica, e, sobretudo, (iii) o rápido aumento dos preços do GN, que criaram pressões significativas no equilíbrio entre a oferta e a demanda (GWPC 2009). Além destes fatores, também é possível acrescentar que a já existente extensa malha de gasodutos do país, bem como a existência de experiência técnica consolidada na indústria de óleo de gás, também foram aspectos favoráveis.

Reservas de shale gas no mundo

A agência norte-americana de energia (*U.S. Energy Information Administration - EIA*) analisou 137 formações *shale* em 41 países, de entre os quais Brasil e EUA, e estimou as reservas de *shale gas* em 7.299 trilhões de pés cúbicos, um aumento de 10% em relação à estimativa desta agência em 2010 (EIA 2013). A Figura 1 apresenta as regiões analisadas neste relatório, diferenciando onde foi realizada ou não a estimativa dos recursos das formações das bacias e demonstra a interiorização destes recursos no mundo.

Na Tabela 1, apresenta-se um ranking dos países com as maiores estimativas de recursos não convencionais no mundo. Contudo, é importante diferenciar os recursos tecnicamente recuperáveis dos recursos economicamente recuperáveis: a primeira categoria corresponde aos volumes que podem ser produzidos com as tecnologias existentes, independentemente dos

preços do GN e petróleo e dos custos de produção, enquanto a segunda representa os recursos que podem ser lucrativamente produzidos dentro das condições de mercado da produção.

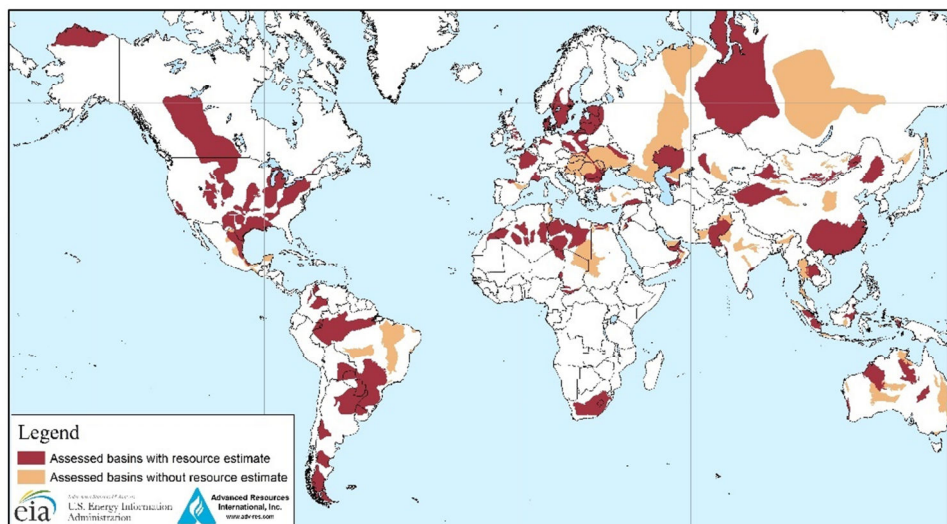


Fig. 1 - Mapa de bacias com formações de *shale oil* e *shale gas* avaliadas. Fonte: EIA (2015).

Embora a avaliação global dos recursos de folhelho realizados pela EIA não tenha avaliado os recursos em Portugal, a zona emersa da bacia Lusitaniana é relatada como possível área com gás de xisto (IEA 2012, Baptista 2011). Alguns esforços têm sido feitos para caracterizar a existência de gás de xisto nesta área (Barberes et al. 2014, Baptista 2011, Sousa 2015). No entanto, os resultados encontrados são inconclusivos na apresentação de estimativas dos recursos existentes e todos os estudos avaliados indicam a necessidade de realizar mais perspectivas e pesquisas nesta área.

Tabela 1: Estimativa de recursos tecnicamente recuperáveis (em GN úmido). Fonte: EIA (2015).

Posição	Estimativa de recursos ($\times 10^{12} \text{ m}^3$)	País
1	31.58	China
2	22.70	Argentina
3	20.02	Argélia
4	17.63	Estados Unidos da América
5	16.22	Canadá
6	15.44	México
7	12.16	Austrália
8	11.04	África do Sul
9	8.06	Rússia
10	6.93	Brasil

Fratura hidráulica de alto volume

A conjunção das técnicas de perfuração direcional e fatura hidráulica, somadas, aliadas a um ambiente regulatório favorável, tornou a produção de gás de folhelho viável nos EUA em

termos técnicos e económicos. A perfuração horizontal permite uma maior exposição a uma formação em comparação com um poço vertical. Um dos aspectos positivos da técnica de perfuração horizontal é a redução do número de poços requeridos, minimizando a área de exploração e os impactos sobre o uso do solo e a fragmentação do habitat, quando comparada à perfuração de um poço vertical (GWPC 2009).

A fratura hidráulica é uma técnica que consiste na injeção de fluidos de fratura a alta pressão. Estes fluidos podem ser soluções, emulsões e também gases liquefeitos, incluindo espumas e óleos e são utilizados para gerar fraturas em formações geológicas subterrâneas, estimular o fluxo de GN ou óleo, e assim favorecendo a recuperação de hidrocarbonetos (EPA 2004, Gandossi 2013, EPA 2010).

O primeiro registro da exploração de gás de folhelho é de 1857, quando uma explosão utilizando pólvora foi realizada num poço em Canadaway Creek (EUA), causando um posterior fluxo de gás (Morton 2013). Contudo, a primeira utilização industrial desta tecnologia data de 1949 e o primeiro fratura hidráulica em larga escala ocorreu apenas em 1968 (Gandossi 2013).

Impactos ambientais da exploração

Tipicamente, o processo de desenvolvimento de gás de xisto compreende as seguintes etapas: (i) leasing, (ii) obtenção de licenças, (iii) construção de estradas e do site, (iv) perfuração e completação de poço, (v) fratura hidráulica, (vi) produção, (vii) workovers¹ e (viii) abandono de poço e recuperação da área (Spellman 2012). Os impactos ambientais associados à estas etapas de produção podem ser subdivididos nas categorias: uso do solo, recursos hídricos, qualidade do ar e alterações climáticas, sismicidade induzida, bem como segurança, saúde ocupacional e pública.

Após uma identificação bem sucedida de áreas potenciais suportadas por investigação sísmica, o estabelecimento das zonas de exploração requer a remoção da vegetação, o transporte de produtos químicos e equipamentos, a execução de obras para a construção das instalações e melhorias rodoviária, que geram impactos de uso da terra e provocam perturbações de habitat (Moran et al. 2015). Efeitos similares são também causados pela construção de dutos e estruturas de captação de água.

Estas atividades podem aumentar a erosão e, conseqüentemente, a descarga de sedimentos para rios e córregos, resultando em um aumento dos sólidos suspensos totais (TSS). Além disso, estas atividades criam um tráfego intenso de camiões nas áreas afetadas, que têm o potencial de aumentar os acidentes nas áreas de exploração, assim como aumento dos níveis de ruído (Graham et al. 2015).

O ciclo do uso da água para o fratura hidráulica tem início na aquisição da água de corpos hídricos superficiais ou subterrâneas, águas de abastecimento público e também água de reuso. A água é maioritariamente utilizada para as atividades de perfuração do poço (utilizada para composição das lamas de perfuração) e para a fratura hidráulica em si.

Para a etapa de fratura hidráulica, são adicionados produtos químicos para a formação do fluido de fratura, que posteriormente é injetado no poço de produção. As águas residuais consistem nas águas de retorno (*flowback water*) e em águas produzidas pela formação

¹ *Workovers* são operações e intervenções para manutenção ou ações corretivas, também conduzidas para limpeza de poços.

(*produced water*) (EPA 2015, 2011). Os volumes de água consumidos em diferentes áreas exploratórias nos EUA são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Uso de água em diferentes bacias sedimentares dos EUA. Fonte: GWPC (2009).

Bacia sedimentar	Perfuração (m3)	Faturamento hidráulica (m3)	Total (m3)
Barnett shale	1.514	87.06	10.221
Fayetteville shale	227	10.978	11.583
Haynesville shale	3.785	10.221	14.006
Marcellus shale	303	14.385	14.687

As emissões de contaminantes ocorrem durante várias fases de exploração e exploração de *shale gas*, incluindo perfuração inicial, fratura hidráulica, conclusão de poço e produção. As emissões associadas são constituídas maioritariamente por compostos orgânicos voláteis (COVs), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP); material particulado (PMx), óxidos de nitrogénio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e carbonilos (tais como formaldeído) e ozono (Ahmadi & John 2015, Swarthout et al. 2015, Colborn et al. 2014).

A indústria de GN é particularmente relevante para as mudanças climáticas, considerando que este recurso é constituído maioritariamente por metano (CH₄). Embora estimativas das emissões de gases de efeito estufa durante o ciclo de vida da exploração de gás de folhelho sejam recorrentes (Burnham et al. 2012, Jiang et al. 2011, Jaramillo et al. 2007), e muitas vezes controversas, a realização de medições em campo continua a ser um desafio para uma verificação adequada.

Diversos sismos de intensidade moderada que ocorreram nos EUA nos estados do Colorado, Texas, Oklahoma, Ohio e Arkansas podem estar relacionados à exploração de GN não convencional (USGS 2014). No Reino Unido, a ocorrência de dois eventos sísmicos associados a uma perfuração exploratória levou à interrupção das atividades e fomentou uma maior cautela em relação à exploração de shale gas (Clarke et al. 2014, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering 2012). Embora haja muita controvérsia em relação a este tema, pode-se afirmar que a atividade de exploração pode ativar falhas geológicas existentes.

Estudos sobre os impactos da exploração de shale gas na saúde ocupacional ainda são escassos. Recentemente foi relatada a exposição de trabalhadores envolvidos nestas atividades à sílica cristalina respirável (OSHA 2015). Também são poucos os estudos que avaliam os impactos à saúde pública associados às emissões associadas à extração deste recurso (McKenzie et al. 2012) e os que avaliam às consequências desse recurso para a saúde pública (Hammer & VanBriesen 2012, Finkel & Hays 2013, Werner et al. 2015).

EXPLORAÇÃO DE SHALE GAS NO MUNDO

A extração bruta de gás de folhelho foi primeiro monitorizada pela EIA no início de 2007, quando correspondia a cerca de 8% da produção total. Desde então, esta produção cresceu 506% até dezembro de 2013, alcançando cerca de 40% da produção total de GN nos EUA ao final de 2013 (EIA 2016a). O aumento da produção de GN permitiu a redução significativa das importações líquidas de GN pelos EUA a partir de 2007, como pode ser observado na Figura 2.

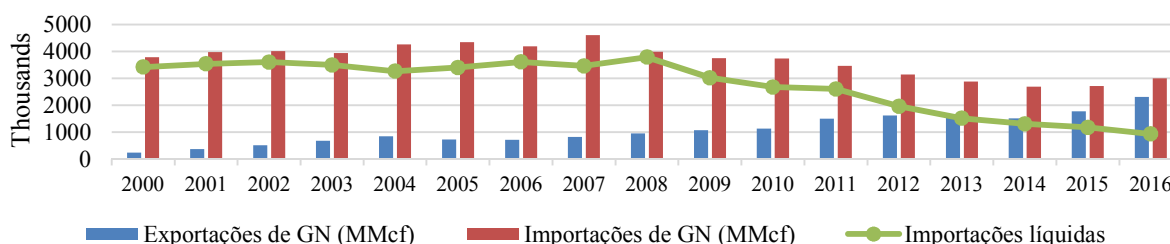


Fig. 2 - Balanço de importações e exportações de GN nos EUA. Fonte: adaptado de EIA (2016a).

Atualmente apenas quatro países têm produção comercial de gás de xisto, nomeadamente, os Estados Unidos da América, Canadá, China e Argentina (EIA 2016b). Entretanto, até 2040 são esperadas melhorias tecnológicas para estimular o desenvolvimento das exploração de gás de folhelho em outros países, sobretudo no México e na Argélia, que em conjunto com os atuais produtores deverão representar 70% da produção mundial (EIA 2016b).

O interesse em recursos não convencionais na Europa ganhou visibilidade devido ao aumento da demanda de GN em relação à limitação da oferta, fortemente influenciada por questões geopolíticas. Diversos países membros da União Europeia demonstraram interesse na exploração do shale gas, dentre os quais se incluem: Polônia, Alemanha, Holanda, Reino Unido, Espanha, Romênia, Lituânia e Dinamarca (Broomfield 2012). Entretanto, em resposta às preocupações levantadas pelo público em geral, diversos países baniram ou impuseram uma moratória na sua exploração, tais como a Bulgária, República Checa, França, Alemanha, Irlanda, Romênia, entre outros (Johnson & Boersma 2013, KTWS 2015).

Por outro lado, a produção de GN não convencional é suportada pelos governos da África do Sul e do Reino Unido. Em ambos os países, o GN não convencional é considerado um recurso energético estratégico para assegurar a segurança energética destes países (DEEC 2015a, b, Roelf et al. 2016). A exploração comercial deste recurso em ambos os países encontra-se na iminência do início de suas atividades (Roelf et al. 2016, GOV.UK 2017).

PERSPECTIVAS FUTURAS

Dentre os desafios para o desenvolvimento do gás não convencional, destaca-se a viabilização da sua oferta. Em muitos casos, as áreas com potencial nesse segmento são remotas, de difícil acesso e longe do mercado de consumo. Além disso, ainda há outras necessidades a serem ultrapassadas, por exemplo: mapear adequadamente o potencial geológico das reservas, obter licenças ambientais para sua exploração e produção, cumprir a legislação local, construção de novos gasodutos ligando as possíveis regiões produtoras com o mercado consumidor e outras infraestruturas, utilização de equipamento adequado para sua exploração, etc.

Contudo, a exploração do *shale gas* apresenta uma vantagem competitiva, uma vez que a interiorização das reservas permitiria a redução dos custos de transporte em certas regiões, visto que os custos de transporte de GN são bastante acentuados com as distâncias percorridas, podendo ser de 3 a 5 vezes superior ao custo do transporte de óleo cru, em base energética (Chandra 2006). Além disso, este tipo de exploração pode reduzir a dependência em importações de GN em alguns países, sobretudo europeus.

Além dos riscos decorrentes de incertezas do lado da demanda, a oferta também apresenta uma série de desafios do ponto de vista regulatório, tecnológico, ambiental e de capital, uma vez que os investimentos são avultados. Nesse sentido, torna-se ainda mais relevante a existência de uma política clara de incentivos ou proibições quanto à produção de GN de cada

país. Também é necessário estabelecer a prioridade para as fontes de gás que se desejam estimular, considerando custo, conhecimento tecnológico e arcabouço regulatório.

Acrescendo a estes fatores, a emergência dos mercados de GNL nos últimos anos permitiu a integração dos mercados de GN, uma vez que sua forma de transporte permite que produtores de GN atinjam os consumidores apesar das limitações geográficas (IGU 2014, Vivoda 2014). Desta maneira, o acesso a recursos de diferentes países aprofundou a discussão sobre a viabilidade da produção de GN não convencional, reduzindo o debate mundial na exploração de shale gas e desacelerando a velocidade esperada do início da sua exploração fora dos EUA.

Outro fator de mercado é o crescimento da participação das energias renováveis na geração de energia elétrica, que está a aumentar significativamente nos EUA e na UE, bem como a sua quota na produção de energia primária nos dois mercados (Eurostat 2016, EIA 2017, Eurostat 2014). Além da geração de energia elétrica, as renováveis ainda têm uma pequena participação nos setores de transporte e aquecimento e o aumento da sua participação pode levar à redução do consumo de GN.

No Brasil, devido às incertezas em relação aos sistemas de produção e das medidas de controlo ambiental da exploração do gás não convencional, discute-se a possibilidade de impor um horizonte de cinco anos para discussão e análise desta modalidade de exploração (Oliveira 2013), embora o primeiro leilão de blocos de gás já tenha ocorrido. Já no Reino Unido, em 2015, 75% dos blocos exploratórios da rodada de licenciamento (*15th Onshore Oil and Gas Licensing Round*) estavam relacionados a recursos não convencionais (seja *shale gas* ou *shale oil*), o que demonstra as perspectivas para a exploração de recursos não convencionais neste país (GOV.UK 2015).

CONCLUSÕES

De uma forma geral, a agenda energética de todas as nações tem como objetivo equilibrar o chamado “trilema” energético, isto é, garantir a segurança energética e a equidade energética, assegurando o uso racional e eficiente dos recursos naturais. O GN não convencional tem o potencial para se tornar uma fonte barata e confiável de combustível, mas que, entretanto, ainda tem impactos ambientais que não podem ser considerados completamente gerenciáveis.

A exploração de gás de folhelho pode ser compreendida como uma alternativa no portfólio de energia, cujo desenvolvimento foi impulsionado por eventos de "alto impacto-baixa frequência" como o acidente da mina de carvão da West Virginia (2009), o acidente na plataforma *Deepwater Horizon* no Golfo do México (2010) e os acidente nuclear em Fukushima, no Japão (2011). Como tal, após estes eventos, o GN e as energias renováveis tornaram-se agentes importantes para garantir a segurança energética no mundo.

Em relação ao mercado mundial de energia, a flexibilidade alcançada pelo crescimento das importações e exportações de GNL permitiu a inserção de novos fornecedores, sobretudo no mercado europeu, ampliando a sua oferta. Ademais, as energias renováveis podem também ser consideradas como fontes de energia substitutas desse combustível e a sua expansão pode reduzir a demanda por GN.

Ainda existem muitas incertezas sobre o futuro da exploração de recursos não convencionais no mundo, sobretudo devido ao desconhecimento acerca dos mecanismos regulatórios que deverão ser aplicados. Contudo, as grandes expectativas para um crescimento similar ao dos EUA são improváveis na maior parte do mundo, uma vez que fora deste país não se encontra

as mesmas condições regulatórias, tecnológicas e econômicas para viabilizar uma rápida expansão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pelo projeto IBRASIL, através do financiamento da bolsa de doutoramento.

REFERÊNCIAS

- [1]-AHMADI, M. & JOHN, K. (2015). Statistical evaluation of the impact of shale gas activities on ozone pollution in North Texas. *Science of The Total Environment*, 536, 457-467. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.114>
- [2]-BAPTISTA, J. P. 2011. Caracterização de Formações da Bacia Lusitaniana (zona emersa) para a produção de gás natural (não convencional), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [3]-BARBERES, G. A., FONSECA, P. E., REIS, R. P. d., PIMENTEL, N. & AZEVEDO, M. (2014). Preliminary assessment of potential for Shale Gas in South Portuguese Zone carboniferous units. *Comunicações Geológicas*, 101(II), 737-741.
- [4]-BLOHM, A., PEICHEL, J., SMITH, C. & KOUGENTAKIS, A. (2012). The significance of regulation and land use patterns on natural gas resource estimates in the Marcellus shale. *Energy Policy*, 50, 358-369. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.031>
- [5]-BROOMFIELD, M. 2012. Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe.
- [6]-BURNHAM, A., HAN, J., CLARK, C. E., WANG, M., DUNN, J. B. & PALOU-RIVERA, I. (2012). Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Shale Gas, Natural Gas, Coal, and Petroleum. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 619-627. doi: 10.1021/es201942m
- [7]-CHANDRA, V. 2006. *Fundamentals of Natural Gas: An International Perspective*. USA: PennWell Corp.
- [8]-CLARKE, H., EISNER, L., STYLES, P. & TURNER, P. (2014). Felt seismicity associated with shale gas hydraulic fracturing: The first documented example in Europe. *Geophysical Research Letters*, 41(23), 8308-8314. doi: 10.1002/2014GL062047
- [9]-COLBORN, T., SCHULTZ, K., HERRICK, L. & KWIATKOWSKI, C. (2014). An Exploratory Study of Air Quality Near Natural Gas Operations. *Human and Ecological Risk Assessment*, 20(1), 86-105. doi: 10.1080/10807039.2012.749447

- [10]-CURTIS, J. B. (2002). Fractured shale-gas systems. AAPG Bulletin, 86(11), 1921-1938.
- [11]-DEEC (Department of Energy and Climate Change). Guidance on fracking: developing shale oil and gas in the UK. UK Government 2015a. Disponível em <https://www.gov.uk/government/publications/about-shale-gas-and-hydraulic-fracturing-fracking/developing-shale-oil-and-gas-in-the-uk>.
- [12]-DEEC (Department of Energy and Climate Change). 2015b. National Statistics. Edited by DECC, Energy: Chapter 1, Digest of United Kingdom Energy Statistics (DUKES). United Kingdom: DECC.
- [13]-EIA (US Energy Information Administration). 2013. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. Edited by USEIA, Independent Statistics & Analysis. USA: EIA.
- [14]-EIA (US Energy Information Administration). 2015. World Shale Resource Assessments. Edited by USEIA. USA.
- [15]-EIA (US Energy Information Administration). Natural Gas. EIA 2016a. Disponível em <http://www.eia.gov/naturalgas/>.
- [16]-EIA (US Energy Information Administration). Shale gas production drives world natural gas production growth. EIA 2016b. Disponível em <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>.
- [17]-EIA (US Energy Information Administration). Renewable generation capacity expected to account for most 2016 capacity additions. EIA 2017. Disponível em <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29492>.
- [18]-EPA (US Environmental Protection Agency). 2004. Evaluation of Impacts to Underground Sources of Drinking Water by Hydraulic Fracturing of Coalbed Methane Reservoirs. Translated by Office of Water. Edited by Office of Ground Water Water and Drinking. USA.
- [19]-EPA (US Environmental Protection Agency). 2010. Potential Relationships Between Hydraulic Fracturing and Drinking Water Resources USA: EPA.
- [20]-EPA (US Environmental Protection Agency). 2011. Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources EUA: EPA.
- [21]-EPA. 2015. The Hydraulic Fracturing Water Cycle. Vol. 2015. USA: EPA.
- [22]-EUROSTAT. 2014. Energy, transport and environment indicators. EU.
- [23]-EUROSTAT. 2016. Renewable energy statistics. EU: European Union.

[24]-FINKEL, M. L. & HAYS, J. (2013). The implications of unconventional drilling for natural gas: a global public health concern. *Public Health*, 127(10), 889-893. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.puhe.2013.07.005>

[25]-GANDOSSI, L. 2013. An overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production, JRC Technical Reports. Luxemburgo: Joint Research Centre of the European Commission.

[26]-GOV.UK (UK Government). New onshore oil and gas licences offered. Oil & Gas Authority 2015. Disponível em <https://www.gov.uk/government/news/new-onshore-oil-and-gas-licences-offered>.

[27]-GOV.UK (UK Government). Guidance on fracking: developing shale gas in the UK. GOV.UK 2017. Disponível em <https://www.gov.uk/government/publications/about-shale-gas-and-hydraulic-fracturing-fracking/developing-shale-oil-and-gas-in-the-uk>.

[28]-GRAHAM, J., IRVING, J., TANG, X., SELLERS, S., CRISP, J., HORWITZ, D., MUEHLENBACHS, L., KRUPNICK, A. & CAREY, D. (2015). Increased traffic accident rates associated with shale gas drilling in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 203-209. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.11.003>

[29]-GWPC (Ground Water Protection Council). 2009. Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer USA: U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory

[30]-HAMMER, R. & VANBRIESEN, J. 2012. In Fracking's Wake: New Rules are Needed to Protect Our Health and Environment from Contaminated Wastewater. USA: Natural Resources Defense Council (NRDC).

[31]-IEA (International Energy Agency). 2011. Are we entering in a golden age of gas? França: IEA.

[32]-IEA (International Energy Agency). 2012. Golden Rules for a Golden Age of Gas. Edited by OECD/IEA, World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas. França.

[33]-IEA (International Energy Agency). 2014. World Energy Outlook 2014. Edited by OECD/IEA. França.

[34]-IGU (International Gas Union). 2014. World LNG Report. 2014 ed. Noruega.

[35]-JARAMILLO, P., GRIFFIN, W. M. & MATTHEWS, H. S. (2007). Comparative Life-Cycle Air Emissions of Coal, Domestic Natural Gas, LNG, and SNG for Electricity Generation. *Environmental Science & Technology*, 41(17), 6290-6296. doi: 10.1021/es063031o

- [36]-JIANG, M., GRIFFIN, M., HENDRICKSON, C., JARAMILLO, P., VANBRIESEN, J. & VENKATESH, A. (2011). Life cycle greenhouse gas emissions of Marcellus shale gas. *Environmental Research Letters* Email alert RSS feed, 6(3).
- [37]-JOHNSON, C. & BOERSMA, T. (2013). Energy (in)security in Poland the case of shale gas. *Energy Policy*, 53(0), 389-399. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.068>
- [38]-KTWS (Keep Tap Water Safe). List of bans worldwide 2015. Disponível em <http://keeptapwatersafe.org/global-bans-on-fracking/>.
- [39]-MCKENZIE, L. M., WITTER, R. Z., NEWMAN, L. S. & ADGATE, J. L. (2012). Human health risk assessment of air emissions from development of unconventional natural gas resources. *Science of The Total Environment*, 424, 79-87. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.018>
- [40]-MORAN, M., COX, A. B., WELLS, R., BENICHO, C. & MCCLUNG, M. (2015). Habitat Loss and Modification Due to Gas Development in the Fayetteville Shale. *Environmental Management*, 55(6), 1276-1284. doi: 10.1007/s00267-014-0440-6
- [41]-MORTON, M. Q. 2013. *Unlocking the Earth - A Short History of Hydraulic Fracturing. Geoscience & Technology Explained.*
- [42]-OLIVEIRA, J. C. Deputados e cientista alertam para riscos na exploração de gás de xisto. Câmara dos Deputados 2013. Disponível em <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/444297-DEPUTADOS-E-CIENTISTA-ALERTAM-PARA-RISCOS-NA-EXPLORACAO-DE-GAS-DE-XISTO.html>.
- [43]-OSHA (Occupational Safety & Health Administration). 2015. *Worker Exposure to Silica during Hydraulic Fracturing.* USA: DOL, Department of Labor.
- [44]-REZAEI, R. & ROTHWELL, M. 2015. "Gas shale: global significance, distribution and challenges." In *Fundamentals of shale gas reservoirs*, edited by Reza Rezaei. USA: Wiley.
- [45]-ROELF, W., CROPLEY, E., BROCK, J. & EVANS, D. 2016. "South Africa to start shale gas exploration in next year." Reuters.
- [46]-SOUSA, J. S., C.; Guerreiro, L.; Barberes, G.; Azevêdo, M.; Pena dos Reis, R.; Fonseca, P.; Pimentel, N., Barreto, P. 2015. *Looking for a New Player in Old Terranes - is there any shale gas potential in*
- [47]-Southern Portugal? In *European Regional Conference and Exhibition.* Portugal.
- [48]-SPELLMAN, F. R. 2012. *Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing.* USA: CRC Press.
- [49]-SWARTHOUT, R. F., RUSSO, R. S., ZHOU, Y., MILLER, B. M., MITCHELL, B., HORSMAN, E., LIPSKY, E., MCCABE, D. C., BAUM, E. & SIVE, B. C. (2015). *Impact of*

marcellus shale natural gas development in southwest Pennsylvania on volatile organic compound emissions and regional air quality. *Environmental Science and Technology*, 49(5), 3175-3184. doi: 10.1021/es504315f

[50]-THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. 2012. Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing.

[51]-TRABUCHO-ALEXANDRE, J. 2015. "Organic matter-rich shale depositional environments." In *Fundamentals of shale gas reservoirs*, edited by Reza Rezaee, 21-45. USA: Wiley.

[52]-USGS (US Geological Survey). 2014. 2011 Oklahoma Induced Earthquake May Have Triggered Larger Quake. USA: USGS.

[53]-VENGOSH, A., WARNER, N., JACKSON, R. & DARRAH, T. (2013). The Effects of Shale Gas Exploration and Hydraulic Fracturing on the Quality of Water Resources in the United States. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 863-866. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.213>

[54]-VIVODA, V. (2014). LNG import diversification in Asia. *Energy Strategy Reviews*, 2(3-4), 289-297. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2013.11.002>

[55]-WERNER, A. K., VINK, S., WATT, K. & JAGALS, P. (2015). Environmental health impacts of unconventional natural gas development: A review of the current strength of evidence. *Science of The Total Environment*, 505(0), 1127-1141. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.084>.