

A tecnologia *Enhanced Geothermal System* (EGS) e sua aplicação na exploração de gás de xisto no Brasil – uma revisão



Vitor Mascarenhas Péres ^[1], Leonardo Almeida da Silva ^[2], Tássia Cristina Bastos de Jesus ^[3], Thamires de Oliveira Barreto ^[4]

[1] vitormascarenhas@ifba.edu.br, [2] lleonardo.as@gmail.com, [3] tassiabastos@hotmail.com.br, [4] th4myb@gmail.com - ¹UFBA - BA; ²IFBA - BA.

RESUMO

À medida que a demanda por energia se torna cada vez maior, faz-se necessário explorar novas alternativas para supri-la. Nesse contexto, estão o gás de xisto – que revolucionou o mercado energético americano e que é extraído por meio do fraturamento hidráulico (fracking) – e a tecnologia *Enhanced Geothermal System* (EGS) – sistemas geotérmicos que geram energia elétrica e que também utilizam o fraturamento hidráulico. Por meio de revisões bibliográficas, dados de sites de notícia e artigos científicos sobre os dois temas, este artigo procurou abordar a possibilidade e a viabilidade de desenvolvê-los, de forma conjunta, no Brasil. O país apresentou, assim, três áreas com potencial para desenvolver as duas tecnologias: a Bacia do Parecis, no Planalto Central; a Bacia do Paraná, na região Sul do país; e a Bacia Sergipe-Alagoas, no Nordeste Setentrional. Entretanto, os impactos ambientais dos fraturamentos hidráulicos ainda têm dimensões desconhecidas, sendo possível citar sismos, contaminação de aquíferos como consequência de um possível vazamento de gás e a captação dos grandes volumes de água necessários para fraturamento do xisto. Concluiu-se, assim, que se faz necessário desenvolver mais estudos sobre a viabilidade de desenvolvimento das duas tecnologias nos locais sugeridos e sobre os possíveis impactos ambientais associados..

Palavras-chave: Brasil. EGS. Energia geotérmica. Fracking. Gás de xisto.

ABSTRACT

*As the energy demand turns increasingly, it become necessary to explore new alternatives. In this context, there are shale gas, which revolutionized the American energy market and which is extracted by hydraulic fracturing (fracking) and the *Enhanced Geothermal System* technology (EGS), geothermal systems that generate electricity and also uses hydraulic fracturing. Through literature reviews and data from the news sites and papers about the two subjects, this article sought to address the possibility and the feasibility of developing these two technologies together in Brazil. Brazil has presented, thereby, three areas with potential to develop both technologies: the Parecis basin, in the Central Plateau, the Paraná Basin, in southern of Brazil and Sergipe-Alagoas Basin, in northern Northeast. However, the environmental impacts of hydraulic fracturing has yet unknown dimensions, it is possible to mention earthquakes, contamination of aquiferous as a result of a possible gas leak and the capture of large volumes of water needed for shale gas fracking. It was concluded, therefore, that it is necessary to develop further studies on the feasibility of the development of both technologies in the suggested sites and possible environmental impacts associated.*

Keywords: Brazil. EGS. Geothermal energy. Fracking. Shale gas.

1 Introdução

1.1 Motivação

O Brasil é um dos países com maior potencial energético do mundo (CREA, 2006; PSC, 2013), onde a eletricidade de origem hídrica, por exemplo, compõe cerca de 62% de toda a energia gerada e distribuída, sendo uma das principais componentes da nação, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Entretanto, essa centralização se constitui um problema, principalmente em regimes de seca, nos quais essas centrais hidrelétricas (a maioria à fio d'água) não podem operar com potência nominal. A grande demanda nesses períodos leva a recorrer a termelétricas (ABIAPE, 2014); porém esta não é uma fonte de energia renovável e também emite resíduos poluentes para a natureza.

Faz-se necessário, portanto, encontrar meios de produzir energia renovável que possuam potencial para suprir permanentemente a demanda de energia elétrica e seu crescimento devido ao aumento demográfico. E esse é o rumo que o Brasil está tomando, pois os investimentos em energia renovável cresceram 88% em 2014, chegando a US\$ 7,9 bilhões (RAMOS, 2015).

Só o projeto de expansão da geração eólica, em capacidade instalada, ultrapassa o da Alemanha (PAC, 2014). A previsão de produção de energia em tonelada equivalente de petróleo para o ano de 2016 é de 286 tep, sendo 43,9% desse valor componente de energias renováveis (BRASIL, 2016). Com projetos inovadores para a América latina, como a usina de ondas em Pecém, no Ceará (PENSAMENTO VERDE, 2014), e com reconhecimento internacional do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o Brasil se destaca como um dos dez maiores investidores em energia renovável no mundo (ONUBR; MME, 2016).

Nesse contexto, este artigo apresenta uma proposta para solucionar o problema da demanda de energia por outra perspectiva renovável: explorando o aproveitamento nacional da energia geotérmica.

1.2 Contribuições

A energia Geotérmica (do grego 'geo' – terra e 'thérmos' – calor) consiste em uma energia renovável produzida continuamente dentro da terra pela lenta decomposição de partículas radioativas que

é natural em todas as rochas (COLORADO, 1998). Arboit et al. (2013) condiciona o aproveitamento de energia geotermal a: i) a existência de uma fonte de calor (corpos magmáticos ou rochas quentes); ii) um fluido transportador, a exemplo da água; iii) um reservatório, composto de rochas permeáveis e iv) uma formação geológica de cobertura não permeável, para reter o calor.

Alguns lugares do planeta possuem essa liberação de calor de forma mais significativa, por se localizarem em regiões tectonicamente ativas do globo, onde existem atividades vulcânicas e/ou regiões com proximidade do manto litosférico, a exemplo dos EUA, México, Japão, Nova Zelândia, entre outros (PRESS et al., 2006; ARBOIT et al., 2013). Esses países podem, assim, fazer uso dessa energia de maneira mais eficiente. O Brasil, por sua vez, está localizado no centro da placa Sul-americana e apresenta um regime térmico considerado como estacionário, devido à ausência de atividades tectono-magmáticas recentes. Assim, seu potencial geotérmico é de baixa entalpia, destinado, basicamente, ao uso residencial, recreacional, na agricultura e na indústria (ARBOIT et al., 2013).

Contudo, recentemente, a energia geotérmica tem sido aproveitada nos Estados Unidos em um processo chamado de Coprodução, em que se aproveita essa fonte de energia durante a produção de petróleo *on shore*. Sabe-se que há uma produção de barris de água pela indústria petrolífera (água produzida ou água de produção) em volume exorbitante (chegando a superar a produção de hidrocarbonetos) (CODAY et al., 2014) e em temperaturas relativamente elevadas, o que se torna interessante para este tipo de aproveitamento (PINI, 2015). A água produzida se constitui um contaminante, uma vez que possui características diferentes das águas com as quais geralmente se misturam (do oceano ou rio) quando são dispostas (GOMES, 2014), em razão do longo período de represamento, no qual acumularam sais, íons e outras substâncias em que estiveram em contato (FIGUEIREDO et al., 2014). O método da coprodução de energia com petróleo e gás a baixas entalpias, além de ser um processo eficiente, que está dando retorno em curto prazo (BAPTISTA; CARDOSO, 2013), pode fornecer uma finalidade a essa água produzida, reduzindo sua temperatura e tornando realidade o uso da energia geotérmica no Brasil.

2 Metodologia

O método escolhido para a abordagem do tema que será discutido no desenvolvimento do trabalho foi o da revisão bibliográfica, cujo corpo, produzido como uma sugestão de aplicação, adotou as seguintes determinações:

2.1 Tipo de delineamento

Estudo observacional descritivo (série de casos e de prevalência) e método hipotético-dedutivo, no que diz respeito à aplicação de ambas as tecnologias (EGS e fraturamento hidráulico), por serem necessários mais estudos aplicados nesse termo.

2.2 População selecionada

Estrangeiras (principalmente Alemanha e Estados Unidos), com o propósito de identificar sua forma de lidar com as duas tecnologias e realizar comparações com dados nacionais, bem como conseguir informações importantes, de aspecto técnico ou funcional.

2.3 Fontes de pesquisa

Dados de Institutos (Cefet-MG, *Pacific Institute* etc.), sites de notícias e atualidades, artigos científicos, teses de doutorado, além de outras estatísticas disponíveis.

3 Tecnologia EGS e fraturamento hidráulico

3.1 Fraturamento hidráulico

À medida que novas fontes de energias vêm se tornando cada vez mais necessárias, a discussão sobre a extração do gás de xisto se torna cada vez mais presente ao redor do globo e na sociedade brasileira, visto a inegável mudança que provocou no mercado energético americano, reduzindo os preços de gás no mercado (EPE, 2013).

Apesar do desenvolvimento dessa alternativa no mercado norte-americano, outros mercados não se mostraram tão adeptos ao desenvolvimento do gás de xisto pela inevitabilidade de utilizar na extração a técnica denominada por *fracking* ou fraturamento hidráulico. Enquanto países como Inglaterra, Canadá e Argentina passaram a incentivar a produção do gás

a partir desta técnica, nações como França e Bulgária, bem como algumas regiões da Irlanda, Holanda, Espanha e Alemanha, a proibiram (ABREU, 2014).

O *fracking* é realizado no folhelho, rocha sedimentar de origem argilosa com grande quantidade de matéria orgânica. O termo "gás de xisto" é, assim, do ponto de vista técnico, um equívoco, já que o xisto não tem condições de conter ou formar o gás como consequência das transformações metamórficas as quais foi submetido.

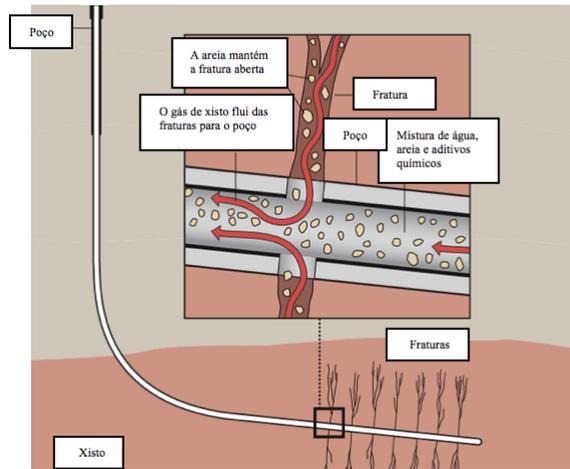
O folhelho, por sua vez, possui baixa porosidade, de modo que armazena o óleo entre suas lâminas finas paralelas e esfoliáveis que dão forma a sua fissilidade. A localização do gás é atípica, de modo que este é denominado por não-convencional e exige extração diferenciada por meio do fraturamento hidráulico. A primeira fase da perfuração é inicialmente vertical, em ângulo próximo de 90° com a superfície, como ocorre em poços comuns de petróleo ou água. Após a perfuração vertical, ocorre o revestimento do poço antes que se inicie a segunda fase de perfuração, na qual a camada de folhelho será perfurada em ângulo próximo a 0°, quase que horizontalmente. A perfuração horizontal é realizada por meio da inserção de um sistema de cápsulas responsáveis por promover detonações que produzirão pequenas fraturas, em sua maioria no sentido vertical, que abrirão caminho para o escapamento do gás (DICKSON, 2004).

Para que a passagem do gás continue constante e não seja interrompida, faz-se necessário que as fraturas permaneçam abertas, o que ocorre a partir do fraturamento hidráulico. Para isso, injeta-se um fluido n com alta pressão – entre 1,5 e 150 Mpa (ISENMANN, 2014) – composto de forma majoritária – aproximadamente 98% – por água, material arenoso e alguns aditivos químicos, como biocida e poliacrilamida, que se infiltrarão nas fraturas, mantendo-as abertas.

Como há a necessidade constante de manter as fraturas abertas, o consumo de água em uma perfuração, na qual há a utilização de *fracking*, apresenta valores altos. O fraturamento hidráulico requer entre 2,3 milhões e 3,8 milhões de galões de água (EPA US apud COOLEY; DONNELLY, 2012), que equivalem a aproximadamente 8,7 milhões e 14,3 milhões de litros de água, enquanto ainda há um valor adicional para o poço vertical, da primeira fase de perfuração, entre 40 mil galões e 1.000.000 de galões (GWPC; ALL CONSULTING apud COOLEY; DONNELLY, 2012). A quantidade de água é um fator muito dependente das condições geológicas de cada região, como porosi

dade e permeabilidade do extrato rochoso.

Figura 1 – Ilustração do processo de fraturamento hidráulico



Fonte: UK (2012).

Uma vez reduzida a pressão, entre 9% e 35%, o fluido residual reflui para a superfície (SUMI apud ENVI, 2011). Há regiões específicas nas quais refluem valores maiores, que variam de acordo com os fatores já mencionados. Visto o grande volume de água, sua eliminação e seu possível tratamento foram problemas constatados na experiência americana. O *backflow*, como também é denominado o fluido residual, contém água, aditivos químicos, sais dissolvidos e podem conter ou não íons de metais pesados em elevada concentração (ISENMANN, 2014). O fato de que o fluido volta impuro também impossibilita o tratamento dele em estações comuns de água ou esgotos.

Desse modo, há uma necessidade de reutilizar a água residual em outros processos, e este mercado tem se mostrado bastante emergente (SIDER; GOLD; LEFEBVRE, 2012). O tratamento da água, a partir de processos de limpeza, ajuste de pH e filtragem não a tornam potável, mas possibilitam a reutilização dela no *fracking* de um novo poço. É, todavia, um processo oneroso, visto que hoje o fluido residual geralmente é transportado em caminhões por longas distâncias até grandes instalações de tratamento de água ou poços de descarte. Com a necessidade de utilizar o fluido residual e com a demanda por energia cada vez maior, uma possibilidade que não deve ser desconsiderada é a utilização da água em sistemas Enhanced Geothermal System (EGS).

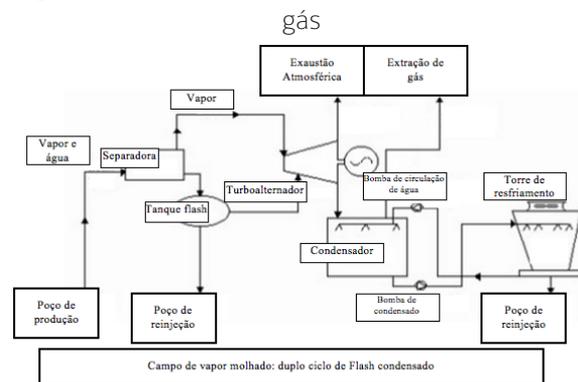
3.2 EGS

O *Enhanced Geothermal System* detém a perspectiva de extração de energia em rochas quentes (geralmente profundas), que podem ser de baixa permeabilidade (USDOE, 2015). Pode ter bom aproveitamento energético, com retorno financeiro breve, a depender da quantidade de perfurações de injeção e recolhimento da substância de trabalho. Ocorre, a princípio, uma injeção de água fria em rochas fraturadas pelo método *fracking* (OLIVEIRA, 2014). Ao passar pelas fraturas, a água absorve calor em contato com a rocha e, aquecida, sobe por uma segunda tubulação, que a conduzirá para a superfície da usina geotermelétrica, a qual, no caso aqui abordado, adota o sistema Flash (Figura 2).

O fluido é transportado à alta pressão para um reservatório *flash* de baixa pressão, o que leva a parte ainda líquida da água a se vaporizar rapidamente (BEASLEY et al, 2010). A produção se mantém em condições de pressão e temperatura específicas, o que é bom para uma produção elétrica estável.

Em caso de uma temperatura muito elevada, podem ser utilizados dois reservatórios *flash*. Para aumento da geração elétrica, aplicam-se ainda recuperadores de calor ou acréscimo da quantidade de turbinas e de água extraída. Um sistema híbrido (combinando *flash* e binário, com a integração de uma fonte energética externa) também pode aumentar a eficiência do processo (NICOT, 2012). A figura 3 denota as vantagens de utilizar duas fontes energéticas (geotérmica e de outra variável renovável) em uma planta de produção única.

Figura 2 – Ciclo flash condensado, com extração de gás



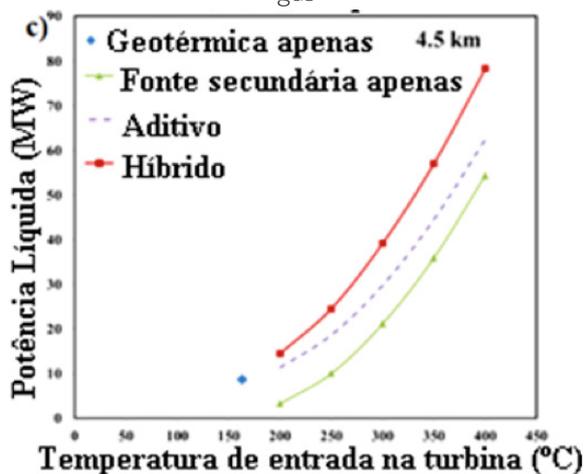
Fonte: Mitraco-Surya, *sine datum*.

Assim, é possível explorar energia em altos níveis de profundidade, e é preferencial que a injeção ocorra em rochas com temperaturas acima de 182°C, para melhorar o rendimento de toda a cadeia. O Quadro

1 mostra os principais detalhes em poços de EGS encontrados nos Estados Unidos.

Usando estimulação zonal, por exemplo, é possível criar um reservatório, ou vários reservatórios com alguma comunicação (MCLURE, 2014). Uma zona típica EGS, com apenas um poço de injeção e dois poços de produção, pode produzir na ordem de 1,5 MW de potência. Usando estimulação multi-região com três poços resultaria em 10-15 MW de produção de energia (ALTAROCK, 2014). Mais poços de injeção e extração são sinônimos de maior capacidade de produção, com custos de perfuração reduzidos devido ao pequeno diâmetro de perfuração (ZHANG, 2012). A figura 4 ilustra como funciona esse sistema

Figura 3 – Ciclo flash condensado, com extração de gás



Fonte: Garapati et al, (2015).

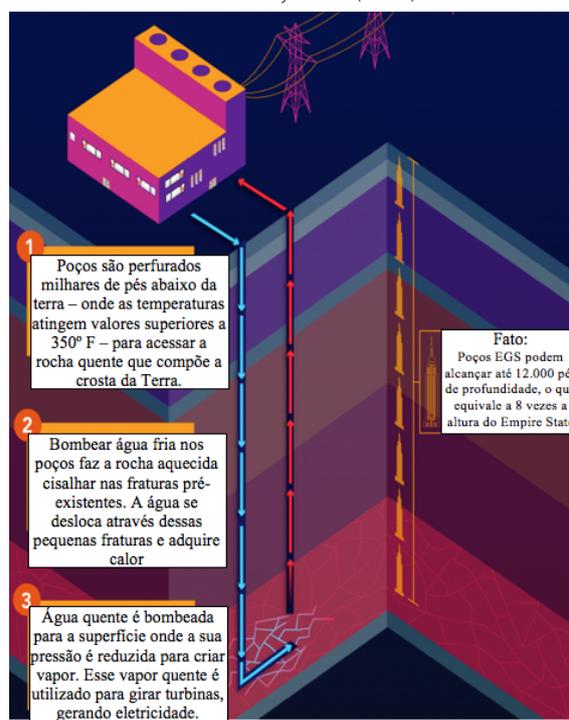
Quadro 1 – Parâmetros empregados em usinas EGS encontradas nos Estados Unidos

Parâmetros, unidades	Valores
Temperatura, °C	150,0–225,0
Resfriamento do reservatório, % ano ⁻¹	0,3
Profundidade de poço, km	4–10*
Distância entre poços, m	600–1.000
Relação entre a vazão de produção e a de injeção	2,0
Vida útil da planta, anos	30

(*) Valor de profundidade teoricamente atingível com as atuais tecnologias de construção de poços

Fonte: Pereira et al. (2013 apud USDOE, 2010).

Figura 4 – Funcionamento de uma *Enhanced Geothermal System* (EGS)



Fonte: USDOE (2015).

3.3 Tecnologias conjuntas no Brasil

Em relação ao EGS, o *fracking* usado para extração do gás de xisto opera com pressões muito mais elevadas para iniciar novas fraturas de tensão. Estes se propagam rapidamente longe do poço e resulta em fendas largas que requerem agentes de escoramento para mantê-las abertas (ALTAROCK, 2014). A junção das duas tecnologias prevê um aproveitamento energético do poço de produção de gás, além de recuperação da água disposta em grande volume a altas profundidades. Há um artigo francês que aborda essa ideia de forma sumária (LEMOINE, 2013).

Considerando-se que a unidade de geração geotérmica deve estar próxima ao centro da carga para a tecnologia EGS (USDOE, 2010) e associando regiões que se adequem a esta imposição com regiões que tenham reservas de gás de xisto no país (BARBOSA, 2014), três locais apresentaram potencial para desenvolver as duas tecnologias: a Bacia do Parecis, no Planalto Central, com estimativas de volume de 124 trilhões de pés cúbicos de gás (ANP, 2012); a Bacia do Paraná, na região Sul do país, com estimativas de volume de 226 trilhões de pés cúbicos de gás (ANP, 2012); e a Bacia Sergipe-Alagoas, no Nordeste Sertentrional. Estas regiões apresentam os maiores fluxos de calor do país e tiveram blocos para exploração

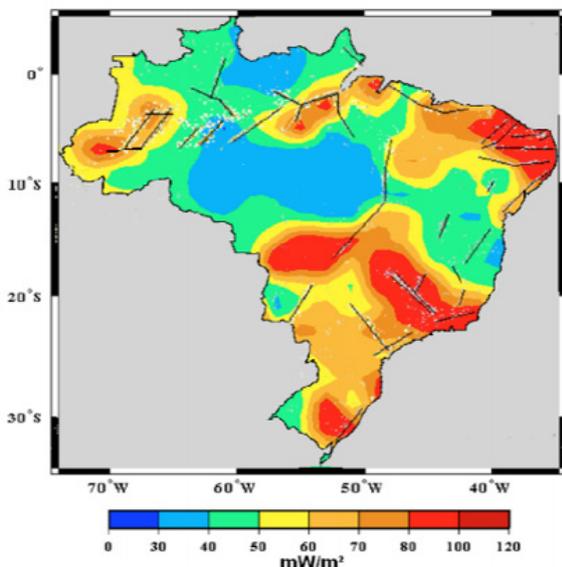
de gás natural leiloados na 12ª rodada de licitações, promovida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis no ano de 2013.

3.4 Impactos ambientais

Há um receio, entretanto, sobre os possíveis impactos ambientais que essas tecnologias poderiam trazer para o Brasil. Um dos principais riscos são os sismos, decorrentes do fraturamento das rochas. Na Suíça, já ocorreram sismos de magnitude 3.6 na escala Richter, e havia o temor de um terremoto de proporções maiores (MEIER et al., 2015). Houve, também, sismicidade induzida associada ao *fracking* em três campos de gás de xisto localizados nos EUA, no Canadá e no Reino Unido. 79 eventos sísmicos atingiriam valores superiores a 1.0 na escala Richter. O maior deles atingiu 3.8 e foi sentido por seres humanos, mas sem provocar danos materiais registrados (DEI, 2013).

Outro risco a considerar é o vazamento de gás e a consequente contaminação dos recursos hídricos (GEOFÍSICA BRASIL, 2013). Um vazamento durante o *fracking* na Bacia do Paraná, por exemplo, poderia afetar todo o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral. Há também o problema da captação do grande volume de água necessário para o *fracking*, frente à crise hídrica que vive o país, apresentando forte concorrência aos usos preferenciais (abastecimento humano e dessedentação de animais), estabelecidos pela Lei 9.433/1997.

Figura 5 – Mapa dos fluxos de calor brasileiros e principais lineamentos e falhas



Fonte: Mitraco-Surya, *sine datum*.

Para redução dos riscos, propõe-se o estudo da forma a partir da qual essas duas tecnologias poderão estar dispostas, em ação conjunta da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

4 Considerações Finais

Tendo postulado todas as condições de estabelecimento das duas tecnologias no Brasil, pode-se asseverar que, embora haja riscos ambientais de magnitudes desconhecidas, a sua integração maximiza a capacidade de produção por *fracking*, incentivando a concepção conjunta de energia e gás (BIELLO, 2013), seguindo possíveis tendências futuras do mercado, além de dar suporte para geração energética do país. Entretanto, visto que este trabalho sugere algo inédito – aliar duas tecnologias complexas, de grande impacto ambiental –, são necessários estudos apurados que abrangem todos os aspectos econômicos, logísticos, operacionais e ambientais, a fim de atestar a validade do que está sendo proposto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem prioritariamente a Deus, aquele que deu a capacidade e a disposição para execução desse trabalho.

Igualmente, aos familiares, amigos e professores que auxiliaram com apoio e sugestões nos momentos necessários.

REFERÊNCIAS

- ABIAPÉ. Usina a fio d'água amplia desafios. Roberto Rockmann. 2014. Disponível em: <<http://www.abiape.com.br/imprensa/noticias-do-setor/139-noticia-energia/554-usina-a-fio-d-agua-amplia-desafios.html>> Acesso em: 11 jul. 2015.
- ABREU, S. M. A exploração do gás de xisto e a ameaça ambiental: Discurso e poder no sistema energético. **REBELA – Revista Brasileira de Estudos Latino-Americanos**, Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 240-249, fev. 2014.
- ALTAROCK. **Enhanced geothermal systems (egs)**. 2014. Disponível em: <<http://altarockenergy.com/technology/enhanced-geothermal-systems/>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

GOMES, A. P. P. **Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais**. 2014. 120 F. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)–Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

ANP. **Reservas Brasileiras de Gás Convencional e Potencial para Gás Não-Convencional**. Rio de Janeiro, 2012. <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Seminario_Gas_Nao_Convencional/olavo_colela_anp.pdf> Acesso em: 15 jul. 2015.

ARBOIT, N. K. S. et al. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil – uma revisão de literatura. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 26, p. 155-168, dez. 2013.

BAPTISTA, R.; CARDOSO, F. de O. Estudo ambiental da utilização do coque de petróleo na cogeração de energia elétrica em comparação com o carvão mineral. **Revista Científica Integrada da UNAERP**, v. 3, p. 1-11, 2013.

BARBOSA, V. Brasil tem uma das 10 maiores reservas de gás de xisto. **Exame Info**, abr. 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/brasil-tem-uma-das-10-maiores-reservas-de-gas-de-xisto/>>. Acesso em: 10 jul. 2015

BEASLEY, C. et al. Minig Heat – Exploiting Geothermal Energy. **Oilfield Review**, Chester, v. 21, n. 4, winter, 2010.

BIELLO, D. Fracking Could Help Geothermal Become a Power Player. **Scientific American**. 2013. Disponível em: <<http://www.scientificamerican.com/article/fracking-for-renewable-power-geothermal/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

BRASIL. Lei n. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm> Acesso em: 15. jul. 2015.

CODAY, B. D.; XU, P.; BEAUDRY, E. G.; HERRON, J.; LAMPI, K.; HANCOCK, N. T.; CATH, T. Y. **The sweet spot of forward osmosis: Treatment of produced water, drilling wastewater and other complex and difficult liquid streams**. *Desalination*, v. 333, p. 23-35, 2014

COLORADO - **Geothermal. Latent Semantic Analysis**, 1998. Disponível em: <<http://lsa.colorado.edu/essence/texts/geothermal.html>>. Acesso em: 11 jul. 2015

COOLEY, H.; DONNELLY, C. **Hydraulic Fracturing and Water Resources: Separating the Frack from the Fiction**. 1. ed. California: Pacific Institute, 2012.

DEI, THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL SOCIETY OF ENGINEERING/UK. **Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing**. UK, jun. 2012.

DICKSON, M.; FANELLI, M. **What is Geothermal Energy?** International Geothermal Association. Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy, 2004.

ENVI. Public Health and Food Safety. **Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health**. European Union, 2011. Disponível em: <<http://europeecologie.eu/IMG/pdf/shale-gas-pe-464-425-final.pdf>> Acesso em: 15 jul. 2015.

EPA/US – Environmental Protection Agency. **Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources**. Washington, DC: Office of Research and Development, 2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/hfstudy/HF_Study__Plan_110211_FINAL_508.pdf> Acesso em: 15 jul. 2015.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Contexto Mundial e Preço do Petróleo: Uma visão a longo prazo**. Rio de Janeiro: 2013.

FIGUEREDO, K. S. L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; TEIXEIRA, A. B. R.; PINHO, A. L. S.; VIVACQUA, C. A.; SILVA, D. R. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different productions zones of mature fields in the Potiguar Basin – Brazil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 116, p. 109-114, 2014

GARAPATI, N.; RANDOLPH, J. B.; SAAR, M. O. Superheating of Low-Temperature Geothermal Working Fluids to Boost Electricity Production: Comparison between Water and CO2 Systems. **Proceedings, Fortieth workshop on geothermal reservoir engineering**. Stanford University, Stanford, California, 2015

GEOFISICA, BRASIL. Os riscos sísmicos associados à energia geotérmica. 2013. Disponível em: <<http://geofisicabrasil.com/geofisicabasica/5322-os-riscos-sismicos-associados-a-energia-geotermica.html>>. Acesso em: 9 jul. 2015

GOMES 2014 - GOMES, A. P. P. **Gestão Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais**.

Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Março de 2014.

GWPC – Ground Water Protection Council; ALL Consulting. **Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer**, 2009. Disponível em: <<http://www.alllc.com/publicdownloads/ShaleGasPrimer2009.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2015.

ISENMANN, A. **Fracking**. Centro Federal de Educação Tecnológica – Campus Timóteo, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/7378637-Fracking-centro-federal-de-educacao-tecnologica-de-minas-gerais-campus-timoteo-disciplina-processos-industriais-modulo-petroleo-e-gas-natural.html>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

LEMOINE, G. **Approche comparée de fracturation hydraulique pour l'exploitation des hydrocarbures de roche-mère et la stimulation de réservoirs géothermiques**. Kartuzy (POLOGNE), 2013.

Matriz de Energia Elétrica. ANEEL. sine datum. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em: 11 jul. 2015

Matriz energética de 2016 terá maior participação das energias renováveis. Infraestrutura – **Ministério de Minas e Energia (MME)** – Governo brasileiro. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/05/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

MCCLURE, S. EGS Designs with Horizontal Wells, Multiple Stages, and Proppant. The University of Texas at Austin. Stanford University, Stanford, California, 2014.

MEIER, P. M.; RODRIGUEZ, A. A.; BETHMANN, F. **Lessons Learned from Basel: New EGS Projects in Switzerland Using Multistage Stimulation and a Probabilistic Traffic Light System for the Reduction of Seismic Risk**. Melbourne, Australia. 2015

MITRACO SURYA. **Flash Steam Geothermal Power Plants**. s. d. Disponível em: <<http://mitraco-surya.com/contents/geothermal/techniques/flash-steam-geothermal-power-plants/>> Acesso em: 9 jul. 2015

Ministério do Planejamento. **Brasil é o 4º maior produtor de energia renovável do mundo**, 2014. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/3c67e495>> Acesso em: 10 jul. 2015

pac.gov.br/noticia/3c67e495> Acesso em: 10 jul. 2016.> Acesso em: 11 jul. 2015

NICOT, J.; SCANLON, B. Water Use for Shale-Gas Production in Texas, U.S. Environmental Science & Technology. The University of Texas, Austin, Estados Unidos, 2012.

OLIVEIRA, V. Caracterização de Reservatórios Não Convencionais/ Tight Gas. Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro. 2014

ONUBR. **Brasil é um dos dez maiores investidores em energia renovável do mundo, aponta relatório do PNUMA**, 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/brasil-e-um-dos-dez-maiores-investidores-em-energia-renovavel-do-mundo-aponta-relatorio-do-pnuma/>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

PAC – Ministério do Planejamento. **Brasil é o 4º maior produtor de energia renovável do mundo**, 2014. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/3c67e495>> Acesso em: 10 jul. 2016.

PENSAMENTO VERDE. **Ceará possui a primeira usina de ondas da América Latina**, jun. 2014. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/ceara-possui-primeira-usina-de-ondas-da-america-latina/#>> Acesso em: 10 jul. 2016.

PEREIRA, S. et al. Uso da Água na Geração de Energia Geotérmica no Brasil a partir de Modelo de Aproximação para o Transporte de Calor. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.4, p 125-136, out/dez. 2013.

PINI, **Produção de eletricidade a partir da geotermia: um mercado em transformação**. 2015. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/producao-de-eletricidade-a-partir-da-geotermia-um-mercado-em-356316-1.aspx>>. Acesso em: 9 jul. 2015

PRESS, F. et al. **Para Entender a Terra**. 4. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2006. 656 p.

RAMOS, C. O futuro da energia no Brasil é renovável. ESTADÃO. São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,o-futuro-da-energia-no-brasil-e-renovavel-imp-,1630359>> Acesso em: 10 jul. 2015

Redução do preço da energia elétrica é uma vitória do consumidor, diz Padovani. PSC. 2003. Disponível em: <<http://www.psc.org.br/>>

comunicacao-psc/psc-na-midia/730-partidos-conseguem-adiar-votacao-da-reforma-politica-por-duas-semanas> Acesso em: 11 jul. 2015

SIDER, A.; GOLD, R.; LEFEBVRE, B. Reciclar água do 'fracking' vira bom negócio. **The Wall Street Journal**, nov. 2012. Disponível em: <<http://br.wsj.com/articles/SB10001424127887324851704578135323300690696>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

SUMI, L. **Shale gas**: focus on Marcellus shale. Report for the Oil & Gas Accountability Project/Earthworks, 2008.

UK. Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing. **The royal society & the royal society of engineering/uk**, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/shale-gas-extraction-in-the-uk>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

USDOE. **Electricity Generation**, 2010. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation>> Acesso em: 9 jul. 2015.

USDOE. Top 10 Things You Didn't Know about Enhanced Geothermal Systems. 2015. Disponível em: <<http://energy.gov/articles/top-10-things-you-didnt-know-about-enhanced-geothermal-systems>> Acesso em: 9 jul. 2015

ZHANG, Y. et al. **Microholes for Improved Heat Extraction from Egs Reservoirs**: Numerical Evaluation. Lawrence Berkeley National Laboratory. Stanford University, Stanford, California, 2012